

---

---

---

---

Pautas de diseño bioclimático  
para optimizar condiciones de  
confort y uso de energía en el  
sector residencial financiado por  
organismos públicos, para  
Uruguay, caso de clima  
complejo

*Departamento de Clima y Confort en Arquitectura – Instituto de la Construcción  
Facultad de Arquitectura UDELAR  
Proyecto de Investigación financiado por el PDT – DICyT – MEC. 2006 / 2008.*

## **INFORME FINAL**

Responsable: Picción, Alicia

Autores:  
Camacho, Magdalena  
López Salgado, María Noel  
Milicua, Sara

Junio, 2009



## Índice general

### Capítulo 1: Introducción

1.1. Fundamentación.....	pág 4
1.2. Objetivos.....	pág 6

### Capítulo 2: Marco teórico

2.1. Clima en Montevideo y Salto .....	pág 7
2.1.1. Ciudades de referencia .....	pág 7
2.1.2. Cartas bioclimáticas .....	pág 9
2.2. Matriz energética de Uruguay .....	pág 16
2.2.1. Oferta energética.....	pág 16
2.2.2. Demanda de energía: comportamiento del sector residencial .....	pág 18
2.3. Características del sector residencial público en la década de estudio .....	pág 20
2.4. Diseño arquitectónico bioclimático .....	pág 22
2.4.1. Definición.....	pág 22
2.4.2. Conceptos energéticos involucrados.....	pág 22
2.4.3. Eficiencia y ahorro energético .....	pág 23
2.4.3. Evaluación bioclimática para las ciudades elegidas.....	pág 25

### Capítulo 3: Materiales y métodos

3.1. Métodos de estudio utilizados .....	pág 26
3.2. Selección de los casos a estudiar .....	pág 26
3.2.1. Relevamiento del parque edilicio .....	pág 26
3.2.2. Clasificación de las tipologías .....	pág 30
3.2.3. Casos monitoreados en Montevideo y Salto .....	pág 33
3.2.4. Protocolo de monitoreo .....	pág 36
3.3. Período de mediciones.....	pág 37
3.4. Procesamiento de datos medidos .....	pág 39
3.4.1. Distribución de temperaturas de bulbo seco .....	pág 39
3.4.3. Consumo de energía eléctrica para el período caluroso y frío .....	pág 44
3.4.4. Evaluación de las encuestas de confort térmico y uso de las viviendas .....	pág 44
3.5. Aplicación de los programas de simulación.....	pág 46
3.5.1. Programas estudiados: SIMEDIF y ENERGY PLUS .....	pág 47
3.5.2. Protocolo de simulación (modificaciones de la base climática) .....	pág 47
3.5.3. Definición de modelos a simular .....	pág 48
3.5.4. Correlación entre los programas seleccionados y el monitoreo .....	pág 53
3.6. Selección de variables de diseño a modificar.....	pág 54
3.7. Predicción de la temperatura interior a partir de regresiones de temperatura .....	pág 56

### Capítulo 4: Resultados

4.1. Análisis de datos monitoreados para viviendas mono-orientadas y doblemente orientadas.....	pág 61
4.2. Evaluación del consumo de energía eléctrica según estrategias de diseño [obtenido mediante simulación] .....	pág 66
4.3. Análisis de la evolución de la temperatura interior en las viviendas, según distintos patrones de uso y estrategias utilizadas [obtenido mediante simulación] .....	pág 79
4.4. Aplicación de las estrategias más eficientes a un modelo ajustado.....	pág 82



Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo

*Departamento de Clima y Confort en Arquitectura – Instituto de la Construcción  
Facultad de Arquitectura UDELAR  
Proyecto de Investigación financiado por el PDT – DICYT – MEC. 2006 / 2008.*

## **Capítulo 5: Conclusiones**

5.1. La eficiencia y el ahorro energético en el parque habitacional estudiado .....	pág 86
5.2. Pautas de diseño más eficientes para Salto y Montevideo .....	pág 87
5.3. Recomendaciones para futuras investigaciones .....	pág 88

## **Capítulo 6: Bibliografía**

6.1. Bibliografía .....	pág 89
-------------------------	--------

## **Capítulo 7: Anexos**

7.I. Encuestas de confort invierno y verano .....	
7.II. Pautas de relevamiento .....	
7.III. Cuadros síntesis de simulación de energía para las distintas estrategias .....	
7.IV. Simulaciones semanales de temperatura .....	



## Capítulo 1: Introducción

Cada edificio debiera ser el resultado de procesos locales que combinen diversas pautas climáticas, culturales y tecnológicas sin depender de referentes en modelos foráneos. Es fundamental el rol del profesional arquitecto y/o ingeniero, ya que en su área de decisión y acción está involucrado un porcentaje alto del consumo energético del país y de las condiciones interiores a que serán sometidos los usuarios. En los últimos años en Uruguay se están dando pasos hacia la construcción de una normativa de eficiencia energética. Mientras tanto el crecimiento de la urbanización se ha realizado sin pautas de economía de energía lo que crea situaciones críticas que obligan a inversiones de capital. El sector residencial genera el 28% de la demanda energética según el informe 2007 de la Dirección Nacional de Energía y Tecnología Nuclear. El trabajo que aquí se presenta culmina en la elaboración de pautas para lograr una arquitectura bioclimática desde la concepción del edificio, contribuyendo al confort de los usuarios, la economía energética y la preservación del medio ambiente. Asimismo presenta insumos que los organismos públicos necesitan para discutir las normativas energéticas en el sector residencial.

### 1.1. Fundamentación

Cada clima posee características propias que generan distintos estilos de vida y de vivienda. Cada edificio debiera ser el resultado de procesos locales que combinen diversas pautas climáticas, culturales y tecnológicas sin depender de referentes en modelos foráneos. La arquitectura vernácula brinda un excelente ejemplo de adaptación al lugar mediante la utilización de recursos regionales y un proceso de cambios y mejoras del diseño a través del tiempo, que logra obtener condiciones interiores confortables con la sola interposición de la envolvente y el tratamiento del espacio exterior inmediato. La arquitectura bioclimática retoma estos conceptos por ser aquella en que la calidad ambiental y la economía de energía son obtenidos mediante el aprovechamiento racional de recursos naturales, contribuyendo al equilibrio del ecosistema donde está inserta, (Rivero, 1988).

La incorporación del concepto bioclimático en la arquitectura actual no debe necesariamente estar divorciado de los conceptos de diseño arquitectónicos propios de la región donde se realice el proyecto, de hecho dependerá del punto de vista del proyectista, del grado de optimización que quiera obtener. Estos principios se retoman a partir de la crisis energética de los '70 y evolucionan con los conceptos relacionados a calidad del ambiente y sustentabilidad. En consecuencia, en diversos países se han implementado programas, normas y proyectos demostrativos cuyo objetivo es promover tecnologías de climatización de los edificios integrando eficiencia energética y energías renovables. Estas acciones han llevado a modificar, por lo menos en parte, la práctica proyectual y constructiva creando una conciencia de la necesidad de integrar el edificio con el ambiente y el clima de su entorno. Asimismo, han avanzado significativamente en propuestas que rescatan los principios de la arquitectura bioclimática y el uso de energías renovables tanto en el ámbito de la investigación como de la praxis. (Altener Programme, Unión europea 1997-2002).

Desde la década de los noventa diversas investigaciones han dado como resultado guías de diseño bioclimático (Givoni, 1992) o guías de diseño específicas para vivienda, por ejemplo Grecia, cuyas recomendaciones y normativas resultan en tipologías que en verano no requieren uso energía para refrigeración para condiciones climáticas medias y en el invierno los requerimientos de calefacción son menores que en una casa típica. (Kolokotroini M y Young A, 1990).

En lo que concierne a Latinoamérica son varios los países que han avanzado con relación a este tema. En la Facultad de Arquitectura de Universidad Central de Venezuela, se realizó una guía de diseño que recopila pautas de diseño bioclimática para el trópico. En ese país también se han desarrollado investigaciones de campo sobre confort térmico, sobre ahorro energético e influencia del clima en las ordenanzas de diseño urbano. Pautas para paisajismo bioclimático, vivienda bioclimática para sectores



de menores recursos son el soporte de actuaciones concretas (Universidad de Zulia, 1996-2000). También grupos de varias universidades argentinas han desarrollado investigaciones en el tema como por ejemplo la Universidad Nacional de Tucumán que ha desarrollado un proyecto sobre estrategias

bioclimáticas para viviendas rurales (J. Negrete et al, 2002). En la Universidad Nacional de la Plata se realizaron estudios en el área metropolitana de Buenos Aires sobre el consumo energético por tipología, su funcionamiento energético y bioclimático. Mientras, en la Universidad Federal de Rio de Janeiro, se investigó sobre la influencia de la inercia térmica y su capacidad de modular la fluctuación de la temperatura exterior, en edificios de distintas épocas. En Méjico también se publica una guía de diseño bioclimática para mejorar la eficiencia energética de las viviendas, que está disponible en Internet.

### Antecedentes

En el Uruguay desde el año 1965, cuando el Prof. Roberto Rivero funda el Servicio de Climatología Aplicada a la Arquitectura (actual Departamento de Clima y Confort en Arquitectura, DECCA) en la Facultad de Arquitectura, se desarrollan estudios en este campo. Algunos de los principales trabajos teóricos de la primera época tienen que ver con: Estudios comparativos de la eficacia de los parasoles fijos (1967), Especificaciones, normas de cálculo y nociones sobre acondicionamiento térmico de Viviendas (1970 a la fecha), Influencia de la forma, la orientación y otras variables del edificio en su relación térmica con el medio exterior (1988), Pautas de diseño para la prevención de condensaciones en los cerramientos (1990 en adelante), Previsión del desempeño térmico del edificio desde las primeras decisiones de proyecto (1993), La calidad de la vivienda de interés social. Hacia una percepción ambiental del diseño (2001). El libro 'Arquitectura y clima' de R. Rivero (1988) es referencia en varios países.

En 1998 el DECCA realiza un asesoramiento al Banco Hipotecario del Uruguay BHU titulado "Proyecto de exigencias mínimas y recomendaciones para mejorar la calidad higrotérmica de las viviendas financiadas por el BHU". En base a las investigaciones y trabajos ya realizados se formulan exigencias mínimas para la envolvente opaca de los edificios fijando una transmitancia máxima  $U$  de  $0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$  y la necesidad de verificar el riesgo de condensaciones. Se desarrolla un programa de cálculo en Visual Basic (HTERM) para el estudio del comportamiento de cualquier cerramiento opaco en régimen estacionario: transmitancia, masa/ $\text{m}^2$  y posibilidad de ocurrencia de condensaciones. Esta norma rige en todo el país para viviendas construidas en base a préstamos concedidos por el BHU y significa la incorporación de aislamiento térmico en la envolvente opaca y por tanto ahorro de energía. En 2003 se realiza el asesoramiento al BHU sobre comportamiento higrotérmico de techos livianos, formulando exigencias y pautas para el mejoramiento de su desempeño. A partir de estos trabajos, los resultados de las investigaciones del DECCA se aplican y difunden en el sector productivo y profesional y por lo tanto influyen, aunque de forma parcial, en el mejoramiento de procesos y tecnologías. Pero aún los organismos de gestión y contralor siguen sin encarar específicamente el confort del usuario y el uso eficiente de energía aprovechando la energía solar y la ventilación natural.

La realidad en Uruguay muestra que no existen aplicaciones sistemáticas de los principios de la arquitectura bioclimática en la producción arquitectónica actual, cada vez más separada del clima.

### Complementación del presente proyecto

Este proyecto se propuso reelaborar criterios más ajustados para la aplicación de las estrategias bioclimáticas, que constituyan herramientas de diseño y evaluación para el proyectista. A partir de estudios experimentales se obtuvieron datos de partida reales, importantes para establecer comparaciones y correlaciones en el campo de la investigación. Luego se avanzó en la utilización de herramientas de simulación para el estudio del desempeño térmico y energético de las alternativas posibles para un clima templado-complejo.

Los resultados muestran la importancia de profundizar en el peso relativo que tienen las distintas estrategias de diseño en el uso eficiente de la energía y en las variaciones del clima interior; establecer la relación entre variable de diseño y estrategia bioclimática de confort, ponderando su desempeño; determinar criterios de evaluación.



Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo

*Departamento de Clima y Confort en Arquitectura – Instituto de la Construcción  
Facultad de Arquitectura UDELAR  
Proyecto de Investigación financiado por el PDT – DICYT – MEC. 2006 / 2008.*

## 1.2. Objetivos

### General

Establecer pautas precisas que permitan lograr una arquitectura bioclimática desde la misma concepción del edificio y a lo largo de toda su vida útil, mediante una correcta adaptación al medio y adecuada materialización, preservando el medio ambiente y mejorando la calidad de vida de los usuarios.

### Específicos

1. Determinar la influencia de las principales estrategias de diseño sobre el desempeño térmico de la vivienda.
2. Determinar y evaluar las condiciones de confort térmico en viviendas existentes y en alternativas propuestas.
3. Determinar el potencial del ahorro energético en viviendas de acuerdo a las alternativas propuestas.
4. Desarrollar pautas de diseño bioclimático con criterios precisos con el propósito de aportar herramientas de evaluación y conceptos acerca del manejo de las variables y estrategias de diseño para optimizar energéticamente el proyecto.
5. Desarrollar propuestas de transferencia de los conocimientos generados para fomentar cambios en la actitud proyectual y capacitación en el aprovechamiento de los recursos de diseño y de los recursos naturales.



## Capítulo 2: Marco teórico

El análisis de los datos meteorológicos del lugar constituye la primera etapa del proceso de diseño bioclimático, que tiene como uno de sus objetivos establecer las relaciones entre las variables climáticas, las necesidades humanas y las estrategias de diseño arquitectónico a adoptar para alcanzar el bienestar. Estas estrategias deberán aprovechar los aspectos favorables del clima y protegerse de los perjudiciales.

### 2.1. Clima en Montevideo y Salto

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 y a porque la temperatura del mes más cálido es superior a 22°C. Sobre la base de la norma de Zonificación Climática UNIT 1026:99, desarrollada por el Instituto Uruguayo de Normas Técnicas el territorio del Uruguay se divide el territorio de Uruguay en tres zonas climáticas a saber: Zona II b Cálida, Zona III b Templada cálida y Zona IV Templada fría. Para este trabajo se seleccionaron dos ciudades de Uruguay representativas cada una de ellas de una zona climática extrema: Montevideo que pertenece a la zona templada fría y Salto a la zona cálida.

#### 2.1.1. Ciudades de referencia

#### Clima de Montevideo

Montevideo se localiza en la zona sur del país, latitud -34°50', longitud 56°12W y altitud 16.27 sobre el nivel del mar (snm).

Montevideo-enero	tx	txm	tm	tnm	tn	A	HR prom	Viento dir-vel	Lluvia (mm)	Nubosidad décimos cielo cubierto
(1) DNM	42.8	28.5	22.5	16.8	7.6	11.7	67	ESE 4.0	1010	4.7
(2) Energy Plus <sup>1</sup>	28.9	24.9	21.6	18.1	10.2	6.8	78	ESE 6.1	-	-
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 m/s				

Fig.II. 1: Datos climáticos para un mes representativo del período caluroso

(1) DNM Dirección nacional de Meteorología

(2) Base de datos Energy Plus Año de referencia para simulaciones

Montevideo-julio	tx	txm	tm	tnm	tn	A	HR prom	Viento dir-vel	Lluvia (mm)	Nubosidad décimos cielo cubierto
(1) DNM	29.8	15	10.7	6.8	-0.5	8.3	82	NE 5.6	1019	6.2
(2) Energy Plus	24.8	13.9	9.9	6.2	-1	7.7	82.3	NE 5.5	-	-

Fig.II. 2: Datos climáticos para un mes representativo del período frío

#### Temperaturas

Montevideo, de influencia marítima, presenta un período caluroso corto, de 127 días, con amplitudes térmicas mayores a las del período frío. Las temperaturas medias presentan variaciones, alcanzando en enero una temperatura media de 22.5°C y en julio de 10.7°C. La amplitud media anual es de aproximadamente 9°C y su variación de 3°C, valores característicos de climas de humedades altas. Si tomamos los meses más representativos para cada período, observamos que el período frío es la época

<sup>1</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 Milicua, 2005).



del año en que la temperatura exterior se aleja más de las temperaturas de confort (rango entre 18 a 26°C)<sup>2</sup> (ver fig. 1 y 2).

### Humedad relativa

El índice medio de humedad relativa mensual en Montevideo es mayor en invierno que en verano (ver fig. 1 y 2), alcanzando en julio un promedio de 82% y se registran valores máximos medios de hasta 97% determinando inviernos húmedos. Para el período caluroso la humedad relativa promedio es 67% debido a las mayores temperaturas del aire que incrementan su capacidad de contener vapor de agua. Estos valores se explican en parte por la cercanía 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

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

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

### Clima de Salto

Salto se localiza en el norte del país, latitud -31°38', longitud 57° 95W y altitud 33.57m.

Salto-enero	tx	txm	tm	tnm	tn	A	HR prom	Viento dir-vel	Lluvia prom	Nubosidad décimos cielo cubierto
(1) DNM	42.2	31.5	25.0	18.7	8.4	12.8	63	NE 3.6	1009	3.5
(2) Energy Plus	38.2	31.9	25.8	19.6	13.9	12.2	65.8	NE 2.8	-	-

Fig.II.3: Datos climáticos para un mes representativo del período caluroso

(1) DNM Dirección Nacional de Meteorología

(2) Base de datos Energy Plus, Año de referencia para simulaciones

Salto-julio	tx	txm	tm	tnm	tn	A	HR prom	Viento dir-vel	Lluvia prom	Nubosidad décimos cielo cubierto
(1) DNM	31.6	17.3	12.0	7.3	-3.9	10	78	NE 3.5	1018	4.1
(2) Energy Plus	26.3	18.3	12.1	7.0	-0.8	11.2	78.3	NE 3.0	-	-

Fig.II.4: Datos climáticos para un mes representativo del período frío

### Temperaturas

Salto, de influencia continental, no cuenta con el efecto regulador de la humedad lo que afecta las amplitudes diarias anuales que son superiores a las de Montevideo, alcanzado los 11°C en promedio.

<sup>2</sup> Rango de confort propuesto para Montevideo (Chauvie, 2005).

<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





Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo

Departamento de Clima y Confort en Arquitectura – Instituto de la Construcción  
Facultad de Arquitectura UDELAR  
Proyecto de Investigación financiado por el PDT – DICyT – MEC. 2006 / 2008.

Para el período caluroso la temperatura máxima media es de 31.5°C, la mínima media de 18.7°C y la temperatura media del orden de los 25 °C. Presenta un período caluroso más extenso, de 173 días, con amplitudes térmicas mayores a las del período frío. Es una ciudad más cálida que Montevideo, que corresponde a la distribución descendente de temperaturas en sentido norte – sur. La temperatura máxima absoluta para la verano se registró en la Estación Meteorológica de Salto con 42.2 °C, el día 15 de enero de 1986. Las temperaturas medias en invierno para esta zona según la norma UNIT 1026:99 oscilan entre 8°C y 12°C. En esta zona, el período climático más comprometido es el caluroso.

#### *Humedad relativa*

La humedad relativa media para la verano es del orden de 63% y presenta una disminución del orden del 15% respecto al invierno. El valor medio más bajo del país se registra en esta zona.

#### *Radiación- Período 1979 - 2003*

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 2500 Wh/m<sup>2</sup>.

#### *Nubosidad - Período 1946 - 1980*

El promedio para todo el país el estado del cielo es nuboso, con una media de 4.7 décimos de cielo cubierto (donde 10 significa cielo cubierto), aunque a esta zona le corresponde el mayor número de días con cielo despejado (17 días) y por tanto el menor número de días con cielo cubierto (4 días).

#### *Viento*

La dirección más frecuente del viento es de componente Noreste, y su velocidad media de 3.5 m/s.

#### *Precipitación - Período 1971 - 1980*

La precipitación media estacional calculada a partir de las estaciones meteorológicas es del orden de los 1000 mm. Según los datos más recientes aportados en el Informe de Cambio Climático<sup>5</sup> el promedio anual de lluvias es del orden de los 1200mm.

### **2.1.2. Cartas bioclimáticas**

Las cartas bioclimáticas o diagramas bioclimáticos son sistemas de representación gráfica de las relaciones entre variables que influyen en la sensación de confort térmico. Representan una zona de confort térmico según la temperatura y la humedad e indican los recursos de diseño bioclimático aplicables en las distintas condiciones.

#### *Carta Bioclimática de Olgay:*

Es una de las cartas bioclimáticas más habituales. Consiste en un diagrama de condiciones básicas climáticas donde en el eje de las abscisas se representa la humedad relativa y en el de las ordenadas la temperatura bulbo seco. Dentro del diagrama se localiza una *zona denominada de confort* en la que los valores de temperatura-humedad determinan en el cuerpo humano una sensación térmica de bienestar térmico.

Esta representación supone determinadas condiciones: una persona con actividad ligera (caminando), vestida con ropa ligera (1 clo), sin viento y a la sombra (ver fig. II.5).

En la fig II. 5, aparece en gris la zona que corresponde al confort. Esta zona está limitada por la temperatura del aire entre los 21°C y los 27°C y la humedad relativa entre 20% y 75%, con una zona de exclusión para el aire demasiado cálido y húmedo. Además, el gráfico muestra: las sensaciones

<sup>5</sup> Según G. Nagy et al. 2002



fisiológicas de las zonas periféricas; los límites de la actividad o el riesgo en función de las condiciones de calor y humedad; la tolerancia a las bajas temperaturas cuando aumenta el arropamiento (en clo).

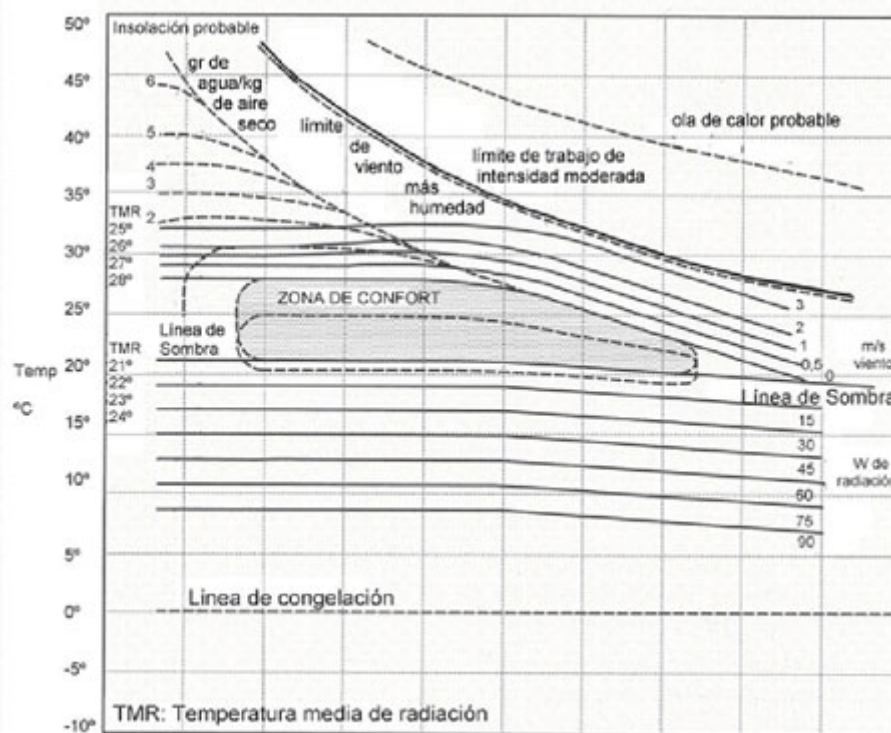


Fig. II. 5. Diagrama Olgay. Fuente: [http://www.construmatica.com/construpedia/Imagen:Carta\\_Bioclim%C3%A1tica.jpg](http://www.construmatica.com/construpedia/Imagen:Carta_Bioclim%C3%A1tica.jpg)

Se muestra además como la utilización de determinadas estrategias puede mejorar las condiciones de bienestar, como ser: aprovechar la radiación incidente o asoleamiento para aumentar las ganancias en el período frío; aprovechar la velocidad del viento (m/s) contra el exceso de calor y humedad para aumentar las pérdidas en el período caluroso, lo mismo que la evaporación adiabática (g agua/Kg aire) contra el exceso de calor y sequedad.

Es una herramienta útil para el estudio de ambientes exteriores, ya que se le puede incorporar los datos de temperatura y humedad del clima de una localidad, en diferentes meses y horas del día. También es un indicativo de las estrategias bioclimáticas para aumentar las condiciones de confort. Se ha discutido su aplicación en ambientes interiores, por lo que existen otros métodos que evalúan este aspecto más eficientemente.

### Tablas de Mahoney

Como obviamente lo dice su nombre, esta no es una carta bioclimática pero sí, al igual que los otros métodos, busca determinar cuáles son los recursos arquitectónicos que se disponen para aumentar los porcentajes de las horas de confort a partir de las condiciones climáticas exteriores

Es un método diseñado por Carl Mahoney para el diseño del hábitat en países tropicales. A partir de una tabla con los datos climáticos de una localidad, mes a mes y siguiendo un conjunto de reglas, se generan otras tablas que proveen recomendaciones sobre las estrategias de diseño bioambientales a aplicar. No obstante, vamos a describir sólo las principales tablas que se consideran en este método:

#### Datos que son necesarios introducir:

Para cada mes es necesario introducir los siguientes datos:

- media mensual de las temperaturas diarias máxima y mínima



- media mensual de las humedades relativas máxima y mínima (o un valor medio)
- precipitación media en mm

### Indicadores

Mes a mes se activan seis posibles indicadores que nos servirán en nuestro diseño bioclimático

- H1: Debido a la humedad y el calor es necesaria la ventilación
- H2: Debido a la humedad y el calor es recomendable la ventilación
- H3: Debido a la intensidad de las precipitaciones, es necesario prever protección para la lluvia
- A1: La utilización de la inercia térmica para aumentar el confort interior del edificio
- A2: Puede ser necesario dormir en el exterior
- A3: Frío; es necesario disponer de mecanismos naturales o artificiales de climatización

### Recomendaciones de diseño

Las tablas de Mahoney dan recomendaciones a nivel general y algunas de detalle. A partir de un conjunto de reglas se permiten deducir, tomando los indicadores anteriores, un conjunto de recomendaciones de diseño arquitectónico clasificadas en 9 temas:

- **Ubicación de la vivienda respecto al sol ó consideración de la orientación.** Disposición de la casa, partido con eje este-oeste para disminuir la exposición al sol, o bien una planta compacta con patio interior (indicadores A1, A3). La última opción se dará en los casos donde la inercia térmica es necesaria todo el año y los meses de frío no superen los 4.
- **Implantación: espacio entre edificios.** Básicamente se trata de decidir si se van a dejar espacios para la circulación del aire o no (indicador H1)
- **Movimiento del aire: ventilación natural.** Se pretende evaluar el diseño del edificio para permitir la circulación interior del aire. Se trata básicamente de decidir si se requiere una circulación de aire permanente, intermitente o nula (indicadores H1, H2, A1). Es un compromiso entre el grado de humedad (que requiere la circulación del aire), y la inercia térmica (que requiere la conservación del clima interior).
- **Dimensiones de las aberturas: factor de hueco.** Tamaño de las aberturas del edificio para la circulación interior del aire (indicadores A1, A3). De nuevo, la necesidad de conservar el clima interior determina el tamaño de estas aberturas. Es así que en las especificaciones se recomendará los siguientes tamaños: grandes, medianos, pequeños y muy pequeños.
- **Orientación de las aberturas.** Nuevamente se toma como indicador a la orientación de las aberturas (indicadores H1, H2, A1). La necesidad de ventilación y de inercia térmica vuelven a determinar este parámetro.
- **Protección solar en las aberturas.** Se indica si es necesaria la protección contra la radiación solar directa (cuando los meses de frío no superan los dos) y contra la lluvia (cuando los meses de fuertes lluvias superan los dos). Indicadores H3, A3.
- **Inercia térmica en los cerramientos verticales.** Se decide si es necesario disponer de construcciones ligeras o construcciones masivas de fuerte inercia térmica (indicador A1).
- **Inercia térmica en el cerramiento horizontal.** Tres posibilidades: construcción ligera y reflectante con cámara de aire, construcción ligera y aislada, y construcción masiva de fuerte inercia térmica (indicadores H1, A1).
- **Espacios exteriores.** Se indica si es necesario disponer de un emplazamiento exterior para dormir, si es necesario drenar apropiadamente el agua de lluvia, y si es necesario la protección contra las lluvias violentas. Recordemos que son herramientas para el diseño en climas tropicales



Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo

Departamento de Clima y Confort en Arquitectura – Instituto de la Construcción  
Facultad de Arquitectura UDELAR

Proyecto de Investigación financiado por el PDT – DICyT – MEC. 2006 / 2008.

Utilizando el programa del Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, CEMA<sup>6</sup>, se presenta a modo de ejemplo las tablas de Mahoney aplicadas a Montevideo (ver fig. 6 y 7). Como puede verse alguna de las estrategias requieren estudios más detallados, como ser la necesidad de disponer inercia térmica ya sea en los cerramientos verticales y/o horizontales.

**CENTRO DE ESTUDIOS ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE - IAA - FAU - UNT**

ESTACIÓN: carrasco

FUENTE:

S.M.N. (1961-1990)

MÉTODO MAHONEY  
PAUTAS GENERALES

DISTRIBUCIÓN 1

Se recomienda orientar los edificios según un eje Este-Oeste, dando al Norte y Sur las alturas mayores, para reducir la exposición al sol.

SEPARACIÓN 5

Se recomienda un planteo compacto si es poca la necesidad de movimiento del aire.

MOV. DEL AIRE 7

Las habitaciones pueden estar en dos filas, pero se debe permitir la ventilación cruzada temporal (por ejemplo puertas de comunicación grandes).

Si el viento no es seguro de obtener se aconseja poner ventiladores en techos y alturas mayores a 2,7 m.

ABERTURAS 11

Deben tener un tamaño medio, entre el 20% y el 40% de la superficie de la pared. Las aberturas en la pared Este son aconsejables cuando la temporada fría es larga. En paredes Oeste se aconsejan para climas fríos o frescos, en el trópico no se admiten.

PAREDES 12

Paredes externas ligeras con capacidad térmica baja, con dos subtipos: a.) Paredes internas ligeras donde se den condiciones cálidas secas y diferencia de temperatura media anual mayor de 20 °C. b.) Paredes internas pesadas con condiciones cálidas secas y diferencia de temperatura media anual mayor de 20 °C.

TECHOS 14

Se recomienda un techo liviano pero bien aislado con capacidad térmica baja.

DORMITORIOS EXT.

n/a

RESGUARDO DE LLUVIA

n/a

Fig. II. 6. Tablas de Mahoney generales para Montevideo, elaboradas con el programa del CEMA

**CENTRO DE ESTUDIOS ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE - IAA - FAU - UNT**

ESTACIÓN: carrasco

FUENTE:

S.M.N. (1961-1990)

MÉTODO MAHONEY  
PAUTAS DE DETALLES

TAMAÑO DE ABERTURAS 2

Medio, 25 a 40% área de pared. Aplicable cuando el almacenamiento térmico se necesita no más de un mes y hay estación fría o si se necesita almacenamiento térmico de 2 a 5 meses.

POSICIÓN DE ABERTURAS 6

Las aberturas deben estar colocadas de modo que la brisa incida directamente sobre los ocupantes y orientadas preferentemente al Norte y Sur, pero en este caso la dirección del viento predomina sobre la orientación solar.

PROTECCIÓN DE ABERTURAS

Se necesita protección de las aberturas contra la penetración de la lluvia, debiendo tener cuidado en que estas protecciones no dificulten la ventilación natural deseable.

PAREDES Y SUELOS 10

Cuando A1 = 2 meses o menos se recomienda estructura liviana, mediante paredes delgadas o con huecos mayores al 40% y superficies exteriores reflejantes.

TECHOS 13

Se aconseja un techo liviano con muy buen aislamiento y K menor de 0.8 W/m2.°C (por ej. cubierta reflejante y cámara aire con cielorraso con 50 mm de aislación y superficie reflectora superior).

ESPACIOS EXTERIORES PARA DORMIR

n/a

Fig. II. 7. Tablas de Mahoney específicas para Montevideo

<sup>6</sup> Instituto de Acondicionamiento Ambiental, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán.



### **Carta bioclimática de Givoni, 1969 - Climogramas de Givoni o Building bioclimatic chart**

Sobre un Diagrama psicrométrico, Givoni traza una zona de confort higrotérmico para invierno y otra para verano. Luego define otras zonas donde es posible alcanzar el confort mediante la incorporación y/o aplicación de estrategias de diseño pasivo. Fuera de estas zonas se vuelve necesario el uso de sistemas mecánicos activos para acondicionamiento ambiental ya sea para calefacción como para refrigeración.

Es una representación tal que cada punto del mismo define determinadas condiciones atmosféricas exteriores dadas por la temperatura ambiente (T) y las condiciones de humedad (H).

*En la carta se muestran dos tipos de humedad:*

Humedad absoluta: se expresa como la presión parcial de vapor de agua (en mm de Hg) y se representa en el eje de ordenadas del diagrama (líneas horizontales).

Humedad relativa: expresada como el porcentaje de humedad respecto al máximo que admite la atmósfera a esta temperatura, que se representa por un conjunto de curvas.

*En cuanto a la Temperatura, se diferencia:*

Temperatura seca: temperatura medida por un bulbo termométrico seco y se representa en el eje de abscisas del diagrama.

Temperatura húmeda: es la temperatura que tendría un bulbo termométrico permanentemente humedecido y se representa como líneas oblicuas. Como la evaporación del agua provoca el enfriamiento del bulbo, la temperatura húmeda es siempre menor que la temperatura seca. En condiciones de atmósfera muy seca la evaporación es más rápida por lo que la temperatura húmeda es menor, mientras que en una atmósfera saturada de agua no es posible la evaporación y la temperatura húmeda iguala a la temperatura seca. La medida se realiza con viento en calma para no acelerar la evaporación.

Área de confort (representada con el número 1): son el conjuntos de puntos (T,H) del diagrama en el cual un individuo (de metabolismo medio, vestido con ropa ligera de verano, en reposo o realizando una actividad sedentaria, con el aire en reposo y sin recibir radiación solar) se encontrará en condiciones confortables. Estas condiciones se dan para temperaturas comprendidas entre los 20°C y 27°C, y humedades relativas entre el 20-80%, exceptuando el triángulo de temperaturas y humedades más altas ( $H > 50\%$ ,  $T > 24^\circ$ ) (ver fig. 8). Esta área de confort debe ser verificada para cada localidad.

En nuestro país se realizaron las cartas bioclimáticas para distintas ciudades (Picción y Milicua, 2005), que se presentan en el punto 2.4 para las ciudades de Montevideo y Salto. Para este proyecto se trabajó con esta metodología que resultó adecuada para el análisis del clima en nuestro país, tomando en consideración la revisión que propone Givoni en 1992 para países en desarrollo.

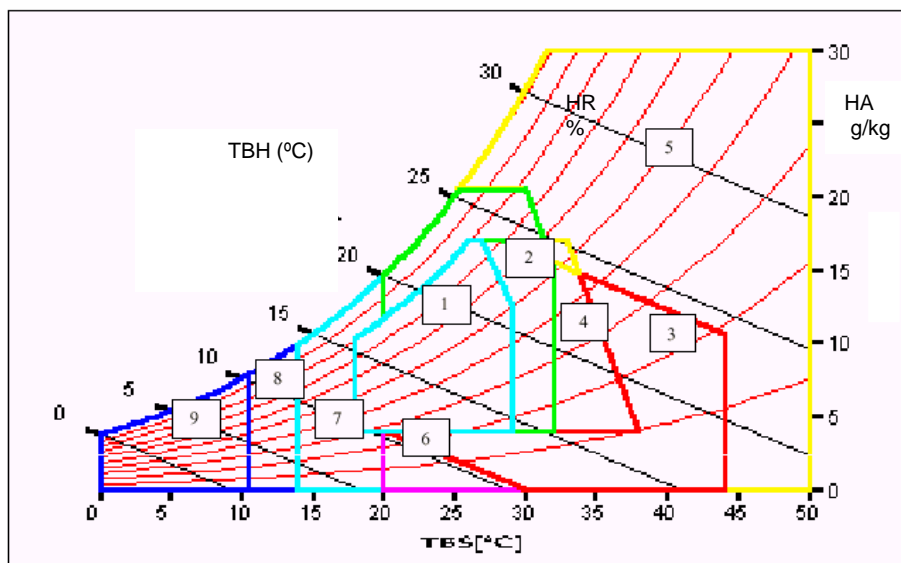


Fig. II. 8. Carta bioclimática adoptada en este estudio



En la carta se distinguen nueve zonas e intersecciones:

1. zona de confort térmico
2. zona de ventilación
3. zona de refrescamiento evaporativo
4. zona de masa para refrescamiento
5. zona de aire acondicionado
6. zona de humidificación
7. zona de masa térmica aislada para calefacción
8. zona de calentamiento solar pasivo
9. zona de calefacción artificial.

#### Intersección entre ventilación masa y refrescamiento evaporativo

A partir del ploteo de datos climáticos de una localidad se obtiene el porcentaje de horas en que cada una de estas estrategias es aplicable para los principales períodos del año (ver fig. II.16 y II.17).

**Zona 1: Zona de confort térmico-** en las condiciones delimitadas por esta zona habrá una gran probabilidad de que las personas se sientan en confort térmico en el ambiente interior. Esta zona es delimitada por una humedad entre un 20% y un 80% y por una temperatura entre 18°C y 28°C<sup>7</sup>. Cuando la temperatura se aproxima a los 18°C se debe evitar el impacto del viento, que puede producir disconfort. Según estudios de Fanger, al aproximarse a los 28°C es importante controlar la incidencia de la radiación solar directa y favorecer la ventilación natural en una pequeña cantidad.

**Zona 2: Ventilación-** Cuando la temperatura supera los 29°C o la humedad relativa supera el 80%, estas condiciones ambientales se pueden mejorar utilizando la estrategia de ventilación lo que determina que la sensación térmica de las personas tienda al bienestar.

En climas calientes y húmedos la ventilación cruzada es la estrategia más simple a ser adoptada. Suponiendo que la máxima velocidad del aire interior para garantizar condiciones de confort es de 2m/s, esta estrategia es aplicable hasta los 32°C, porque a partir de ahí las ganancias térmicas internas se vuelven indeseables. En regiones donde la temperatura diurna es mayor a los 29°C y la humedad relativa es inferior a 60%, el refrescamiento convectivo nocturno es la estrategia ambiental más adecuada.

**Zona 3: Refrescamiento evaporativo-** La evaporación del agua puede reducir la temperatura y simultáneamente aumentar la humedad relativa de un ambiente. Con el refrescamiento directo de los espacios interiores se requiere una buena tasa de ventilación para evitar que se acumule el vapor de agua. Teniendo en cuenta este factor, esta estrategia es aconsejable sólo cuando la temperatura de bulbo húmedo no excede los 24°C y la temperatura de bulbo seco no supere los 44°C para países en desarrollo. Algunos ejemplos de estrategias bioclimáticas aplicables en esta estrategia son: el uso de vegetales o fuentes de agua.

**Zona 4: Masa térmica para refrescamiento-** El uso de la inercia térmica de una edificación puede disminuir la amplitud térmica interior en relación a la exterior, evitando los picos de temperatura. Esta estrategia permite ampliar las condiciones de confort cuando los límites de la humedad absoluta están entre 4 y 17 g/kg y de la temperatura entre los 29°C y los 38°C. Se podría usar además la inercia térmica del suelo.

**Zona 5: Aire acondicionado-** En algunas regiones el clima puede ser muy severo, pasando los límites de temperatura y humedad relativa que imposibilitan la aplicación de algún sistema pasivo de refrescamiento. En los casos en que la temperatura de bulbo seco fuera mayor a los 44°C y la de bulbo húmedo superior a los 24°C sería necesario aplicar sistemas complementarios de aire acondicionado.

**Zona 6: Humidificación-** Cuando la humedad relativa del aire es muy baja y la temperatura es menor a los 27°C, habría disconfort porque el aire está muy seco. En estos casos la humidificación mejoraría la sensación de confort, aunque pueda producir una sensación de refrescamiento evaporativo indeseable. Las bajas tasas de renovación del aire permiten mantener el vapor de agua en niveles confortables con

<sup>7</sup> Estos valores surgen de estudios precedentes del DECCA en el área del confort térmico



mínima evaporación y refrescamiento. Algunos recursos pueden ser utilizar recipientes con agua en el interior de los locales y la hermeticidad de las aberturas que ayuda a conservar el vapor de agua proveniente de las plantas o de las actividades domésticas.

**Zona 7: Masa térmica aislada y calentamiento solar-** En la zona de la carta situada entre los 14°C y los 20°C, se puede utilizar masa térmica aislada conjuntamente con el calentamiento solar pasivo. La alternativa de utilizar masa térmica aislada puede compensar las bajas temperaturas a través del almacenamiento de la energía solar en los cerramientos, que puede ser cedido a los ambientes en los horarios de menores temperaturas, generalmente en la noche. El uso de aislación garantiza que se eviten las pérdidas de energía al exterior por la envolvente (pérdidas mayores por el cerramiento horizontal) y por el otro lado aprovechar las ganancias internas aumentando así la temperatura interior.

**Zona 8: Calentamiento solar pasivo-** Entre los 10.5°C y los 14°C el uso de calentamiento solar pasivo es lo más indicado. El disponer de cerramientos aislados térmicamente en esta zona es más riguroso, porque las pérdidas de calor tenderán a ser mayores. El edificio deberá incorporar superficies vidriadas adecuadamente orientadas (orientación N o más menos 30º para esta zona del globo). Las aberturas deben tener proporciones reducidas en las orientaciones menos favorables y se deben diseñar adecuadamente los espacios exteriores de modo que no generen sombras cuando no son requeridas en nuestro proyecto.

**Zona 9: Calentamiento artificial-** En localidades muy frías con temperaturas inferiores a los 10.5°C, el calentamiento solar pasivo puede no ser suficiente. Por esta razón se recomienda utilizar sistemas complementarios, aunque se debe recordar que el consumo de energía puede disminuir si se combina esta estrategia con la de la zona 8.

**Intersecciones entre ventilación, masa y refrescamiento evaporativo-** Existen tres zonas de intersección. En la zona que vincula ventilación con masa térmica para refrescamiento se puede usar cualquiera de las dos estrategias, inclusive simultáneamente. En la zona de intersección entre masa y refrescamiento evaporativo se utiliza el mismo razonamiento que el anteriormente expuesto. En la zona que se intersectan todas las estrategias cualquiera de ellas puede ser aplicadas separadamente o en su conjunto.

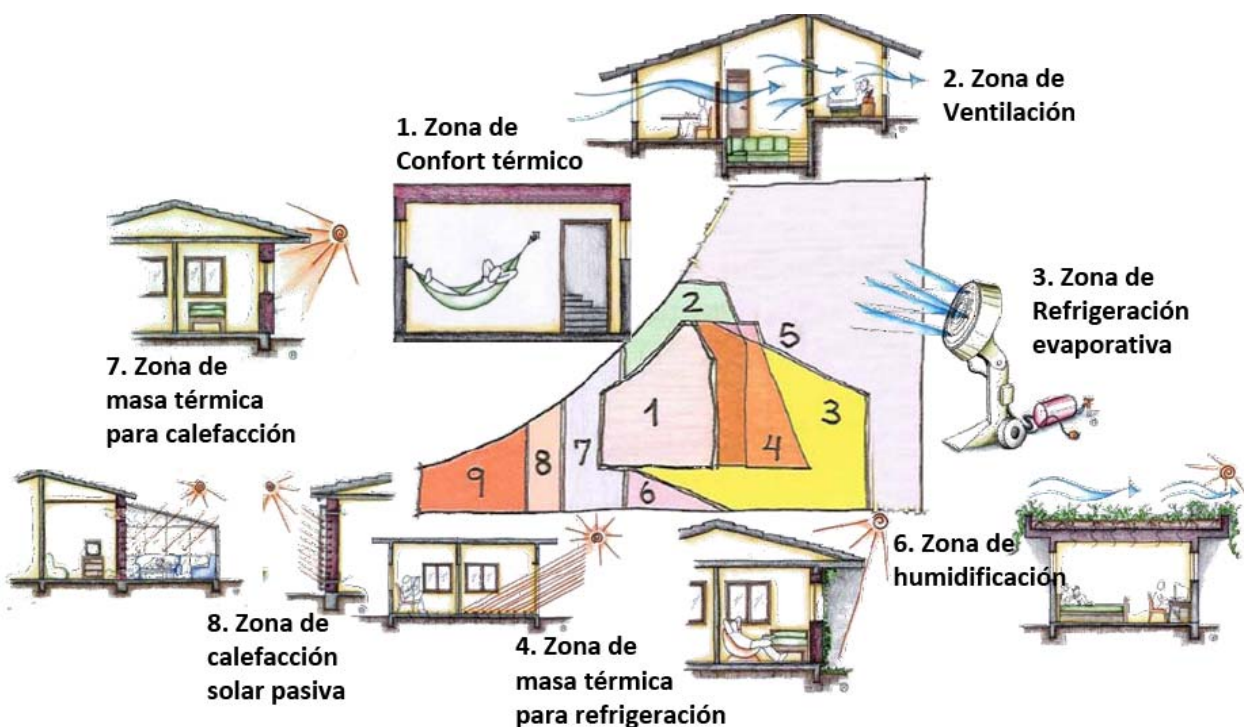


Fig. II.9. Estrategias de diseño (Lamberts, 2008 presentación en power point)





## 2.2. Matriz energética de Uruguay

El Uruguay se caracteriza por una fuerte presencia de dos empresas estatales en el sector energía, la Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas (UTE) y la Administración Nacional de Cemento Alcohol y Pórtland (ANCAP), que son a su vez empresas monopólicas en la mayor parte del mercado energético.

La política energética la fija el Poder Ejecutivo a través del Ministerio de Industria y Energía y Minería (MIEM) en coordinación con la Oficina de Planeamiento y Presupuesto (OPP) de la Presidencia de la República en lo que tiene que ver con inversión, tarifas y endeudamiento de las empresas públicas.

Varias empresas privadas participan en el transporte y distribución de gas natural (argentino), supergas y derivados del petróleo. Existen además dos unidades, una que controla y regula los servicios de Energía y Agua (URSEA) y otra que administra el mercado eléctrico mayorista (ADME, ley 16.832 de 17 de junio de 2002); esta última cuenta con participación pública y privada.

Según el Informe Geo Uruguay 2008 las mayores presiones en el sector energético uruguayo provienen del aumento de los consumos residenciales y de servicios de transporte, siendo fundamental la utilización de electricidad en el sector residencial y los derivados del petróleo en el caso del transporte. *Esta es una de las razones por lo que a efectos de evaluar el consumo energético residencial para obtener un determinado rango de confort térmico, en este proyecto se supone que todo el consumo es en energía eléctrica.*

“La matriz energética (o balance energético) nacional sintetiza la información anual sobre oferta y demanda de energía a nivel nacional, desagregada por fuente y sector de consumo” (Dirección Nacional de Energía y Tecnología Nuclear, DNETN, en [www.dnetn.gub.uy](http://www.dnetn.gub.uy), consultado en 08/2008). Según el balance energético anual correspondiente al año 2006 la energía consumida en nuestro país era provista en 60 % promedio por petróleo y derivados, 14 % por biomasa, 12 % por hidroelectricidad, 4 % por gas natural, siendo nulo el aprovisionamiento a partir del carbón (DNETN, Sector energético en Uruguay diagnósticos y perspectivas).

Según muestra un estudio (Caldes, 2007) que analiza la matriz energética de nuestro país entre los años (1965-2005), se observa en primer término una constante e importante dependencia de los derivados del petróleo y en segundo lugar de la generación hidráulica que básicamente depende de la ocurrencia de lluvias en el país. Cuando la generación falla se recurre a la producción de las centrales térmicas o a la importación de electricidad desde Argentina y / o Brasil, que no siempre es posible y que en ambos caso supone siempre un aumento del costo de la energía. Al mismo tiempo, el consumo eléctrico de la población fue estimulado hasta mediados del año 2005, por ejemplo a través de la financiación por parte de UTE de la compra de electrodomésticos o de las campañas publicitarias que favorecían que el confort fuera eléctrico. Esta acción asociada al crecimiento de la economía ha aumentado el consumo energético del país, estimándose un aumento en los últimos 40 años de un 70%, (PNUD, 2008). Recién a partir del 2005 el país ha empezando a dar sus primeros pasos en materia de política energética y de eficiencia energética.

### 2.2.1. Oferta energética

Según varios informes (Caldes, 2007; PNUD, 2008) el país es *energéticamente vulnerable*, ya que no se cuenta con petróleo y debemos importarlo, y cuando la hidroelectricidad no es suficiente para satisfacer la demanda eléctrica de los distintos sectores de consumo del país, se debe recurrir a la generación térmica, es decir, nuevamente al petróleo. La oferta primaria de energía en el 2006 fue de 2901 Ktep (kilo toneladas equivalentes de petróleo, unidad energética asociada al poder calorífico de la fuente, DNETN, 2006), pero la oferta bruta total fue de 3283 Ktep debido a la necesidad de importar energía para cubrir la demanda.





Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo

Departamento de Clima y Confort en Arquitectura – Instituto de la Construcción  
Facultad de Arquitectura UDELAR  
Proyecto de Investigación financiado por el PDT – DICyT – MEC. 2006 / 2008.

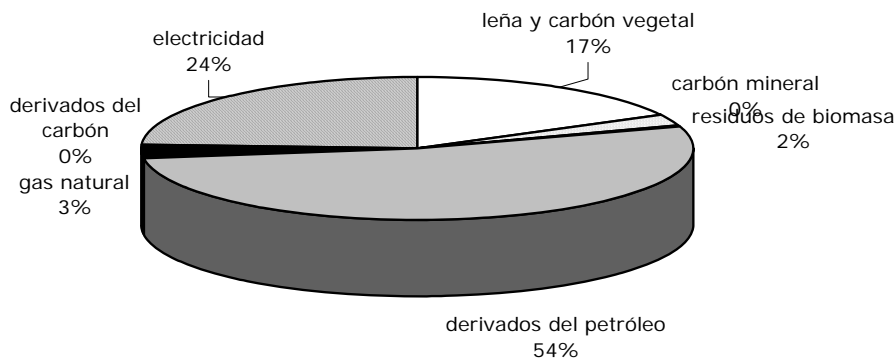


Fig. II.10. Estructura primaria de energía por fuente 2007, Fuente: DNETN, 2007

### **Petróleo**

Representa la mayor parte de la matriz energética (ver fig.II.10). Uruguay ha estado importando entre dos y tres millones de petróleo crudo en la última década, (PNUD, 2008). Este producto ANCAP lo recibe en la boya petrolera de José Ignacio y desde allí se bombea a la refinería de la Teja.

### **Leña**

El aporte de la leña en la matriz energética, según varios estudios (PNUD, 2008 y Vuan B, 2009) se encuentra en decrecimiento en términos absolutos en su participación en la matriz energética, en función de las complicaciones tecnológicas de su uso, y la competencia que ejerce la industrialización de la madera. No existen datos confiables según la DNETN de su efectiva utilización, aunque según datos del MIEM ocupa el 18% de la matriz energética nacional siendo su mayor consumo por parte del sector residencial. Según varios autores sería necesario un estudio más particularizado para evaluar los consumos específicos.

### **Gas natural**

El país cuenta con tres gasoductos que lo conectan con Argentina. Los tres gaseoductos son:

- Cruz del Sur- une la provincia de Buenos Aires con Montevideo: de 2 a 400 000 m<sup>3</sup> al día
- Colón- Paysandú - con capacidad de traslado de 700 000 m<sup>3</sup>.
- Gasoducto entrerriano-Paysandú (Casablanca) – puede transportar hasta 2 000 000 m<sup>3</sup> al día, pero se ha inutilizado.

Actualmente se consumen unos 150 000 000 m<sup>3</sup> de gas natural al año (PNUD, 2008), lo que supone una sub utilización de la infraestructura instalada.

### **Carbón mineral**

El país no dispone de yacimientos de carbono, por lo que es muy marginal su utilización en el país.

### **Electricidad**

La hidroenergía es uno de los componentes fundamentales para la producción eléctrica, representando en los últimos 10 años, en promedio, el 75% de la generación de energía (UTE, 2008). En cuanto a la potencia instalada en Uruguay según el mismo informe se cuenta con 1538 MW hidráulicos y 789 MW térmicos, totalizando 2377 MW (ver figura II.11).

La producción anual de las centrales hidráulicas es muy aleatoria, con un valor promedio de alrededor de 6500 GWh/año. No se espera un desarrollo muy importante de la generación hidráulica de gran escala, ya que se entiende que ha llegado a su máxima explotación. Las turbinas de gasoil y fuel oil cumplen la función de respaldar al sistema ante situaciones de escasez de agua y de dificultades para obtener energía en los países vecinos. Las turbinas de vapor tienen costos variables algo menores, y funcionan con más frecuencia.



	Potencia (MW)
<b>HIDRÁULICA</b>	
Terra (Rincón del Bonete)	152
Baygorria	108
Constitución (Palmar)	333
Salto Grande Uruguay	945
<i>Total</i>	<i>1538</i>
<b>TÉRMICA</b>	
Central Batlle (Sala B, 5ª, 6ª – TV Fuel-Oil)	263
Central Térmica de respaldo (TG gasoil)	226
Central Punta del Tigre (TG gasoil o gas natural)	300
<b>Total</b>	<b>789</b>
Otros	50 (aprox.)
<b>Total del sistema</b>	<b>2377</b>

Fig. II.11 Potencia instalada del parque generador Uruguayo (TV: turbinas de vapor, TG: turbinas de gas) Fuente: Boins, et al representando a UTE 2008

#### Otras fuentes: energías renovables

Existe una política estatal de diversificación de la matriz energética. A continuación se enumeran una serie de propuestas que van en este sentido:

Citando el informe de UTE en “El año 2005 el Poder Ejecutivo dispuso mediante dos decretos<sup>8</sup> que UTE promoviera contratos de compraventa de energía eléctrica con proveedores instalados en territorio nacional. Sobre la base de los resultados obtenidos con dichos decretos, el Poder Ejecutivo estableció los decretos 77/006 y 397/007 que se detallan a continuación...

**Decreto 77/006**, del 13 de marzo del 2006. En el mismo el Poder Ejecutivo encomienda a la UTE promover la celebración de contratos de compraventa de energía eléctrica con proveedores a instalarse en territorio nacional, que produzcan dicha energía a partir de la fuente eólica, de biomasa, o de pequeñas centrales hidráulicas. Como elementos relevantes del mencionado decreto podemos mencionar los siguientes aspectos...**Decreto 397/007**, del 26 de octubre de 2007. En el mismo el Poder Ejecutivo sustituye el artículo 1° del Decreto 77/006 e introduce complementos y modificaciones al mencionado Decreto...Se habilita la celebración de contratos de compraventa con centrales generadoras con potencia instalada no superior a 20 MW, limitando la potencia total contratada por UTE con cada central en el marco del Decreto 77/006 a 10 MW”. Por lo tanto a partir de estos decretos se realizaron llamados a licitación lo que derivó en que se firmaran cinco contratos de compraventa de energía eléctrica por una potencia contratada de 33,8 MW (UTE, 2008).

Además se propuso en el parlamento un proyecto de ley de promoción de la tecnología solar, presentado el 29 de diciembre de 2008, que está en estudio.

El Programa de Energía Eólica es una iniciativa conjunta del Gobierno Nacional con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), ejecutado por el Ministerio de Industria y Energía y Minería (MIEM) a través de la Dirección de Energía y Tecnología Nuclear (DNETN) y financiado por el Fondo Global Para el Medio Ambiente (GEF). Por su intermedio se trata de incentivar el proceso de inserción de la energía eólica en el país, con un abordaje completo y multidisciplinario.

#### 2.2.2. Demanda de energía: comportamiento del sector residencial

El crecimiento económico y la ausencia de medidas de eficiencia energética son algunas de las causas principales del aumento del consumo energético. Este consumo en Uruguay ha crecido de manera sostenida en los últimos cuarenta años y sólo presenta una caída derivada de la crisis financiera (1999-

<sup>8</sup> Decretos 267/2005 y 389/2005



2003). Una vez superada la crisis el consumo de energía retomó su curva de crecimiento aunque aún no se han llegado a los niveles previos a 1999.

El comportamiento no ha sido igual para todas las fuentes y sectores (ver figura II.12). La curva de crecimiento del consumo de electricidad ha sido menos sensible a la crisis que la de los derivados del petróleo. Mientras que el consumo de energía en el sector transporte ha sido el más sensible a la crisis económica y el sector residencia es el que ha mantenido un crecimiento sostenido del consumo (PNUD, 2008).

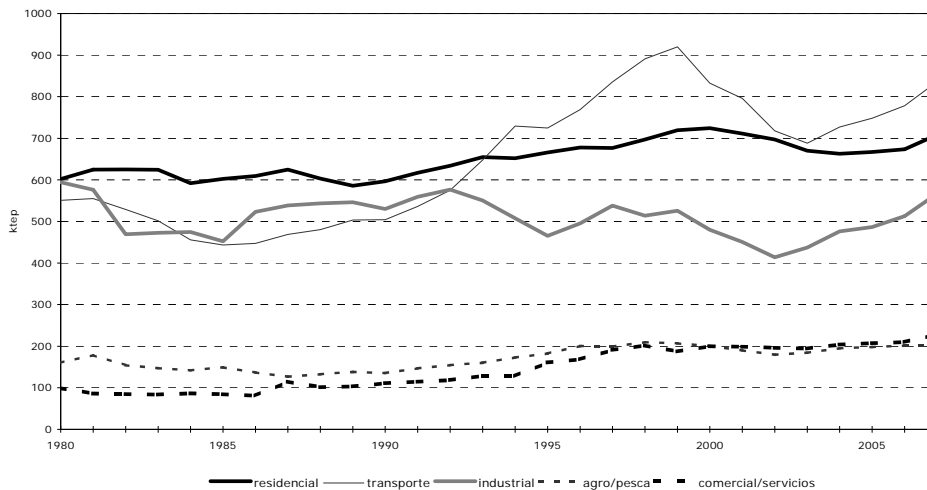


Fig. II. 12. Evolución del consumo final por sector. Fuente: DNETN, 2007

El sistema interconectado uruguayo tiene una demanda de energía anual de alrededor de 9000 GWh, cuya evolución estimada en los próximos años se presenta en la fig. II.13. La demanda máxima anual de potencia del sistema Uruguayo en 2007 fue de 1654 MW.

Año	Energía (GWh)
2008	8934
2009	9233
2010	9529
2011	9864
2012	10201
2013	10540
2014	10864
2015	11191
2016	11523
2017	11860
2018	12203

Fig. II. 13. Demanda estimada de energía tota . Fuente: UTE

La tendencia hacia el futuro es que en el país seguirá creciendo el consumo de energía en un segmento importante.

Del consumo actual de energía, según el informe 2007 de la Dirección Nacional de Energía y Tecnología Nuclear, el sector residencial genera el 28% de la demanda energética. El sector en su conjunto, parece no sentir los efectos de las crisis económicas, en lo que refiere a consumo de energía. El mayor consumo por fuente en el sector residencial es el de leña. La segunda fuente consumida en el sector es la electricidad que representa un 35% y ha crecido en forma sostenida (ver fig II.14). El consumo de electricidad per cápita creció un 25% en los últimos 10 años (DNETN, 2007).



Se requiere por lo tanto introducir políticas en el uso eficiente de la energía, la promoción de fuentes renovables y el sistema de control de las emisiones de gases. Y particularmente en lo que refiere al tema de este informe es necesario llevar adelante políticas energéticas en el sector residencial, que combine las posibilidades de ahorro de energía con la eficiencia energética.

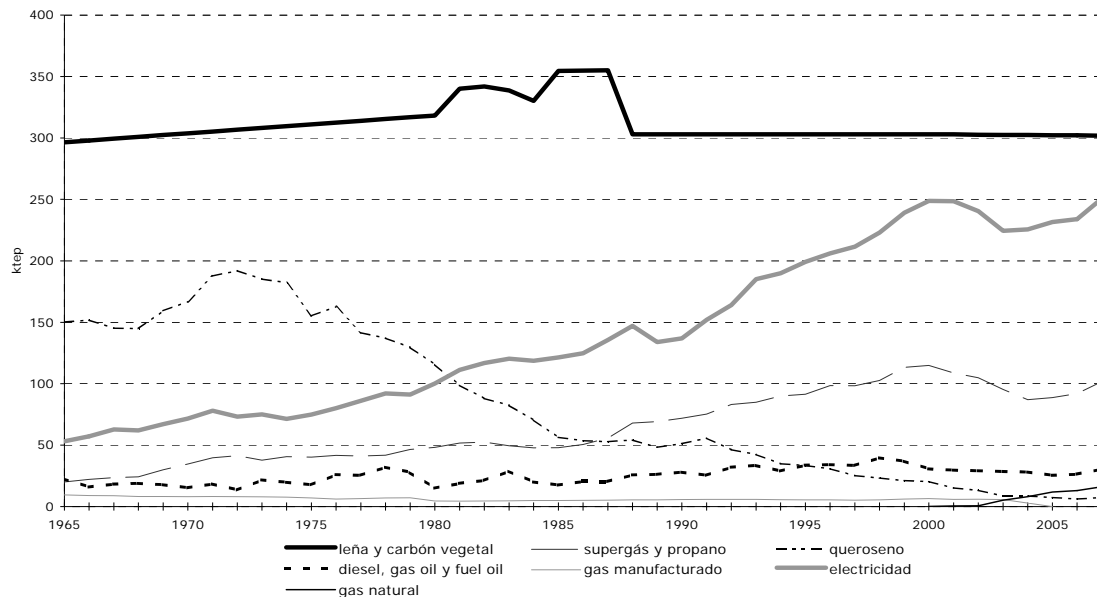


Fig. II. 14. Fuentes de energía utilizadas en el sector residencial. Fuente: DNETN, 2007

### 2.3. Características del sector residencial público en la década de estudio.

El sector residencial que se estudia presenta características constructivas similares. Se analizó las construcciones de la década 1990-2000 financiadas por el BHU<sup>9</sup> y el MVOTMA<sup>10</sup> en su programa de viviendas para Jubilados y Pensionistas.

#### *Viviendas del Banco Hipotecario del Uruguay*

A partir de llamados a licitación a empresas constructoras mediante las modalidades precio, proyecto y terreno (PPT) o administración directa, el banco financió conjuntos habitacionales. De este modo se construyeron en la década en Montevideo 1471 viviendas y en el interior 5048, en su mayoría bajo el régimen de PPT. Cada llamado estuvo regido por su propia serie de normativas.

#### *Viviendas para Jubilados y pensionistas*

En el año 1987 el BPS<sup>11</sup> pone en funcionamiento la ley 15900 que crea un fondo en base al aporte del 1% de los haberes de los jubilados y pensionistas, para la construcción de vivienda para los más pobres. Por medio de este fondo se han construido más de 4500 viviendas, de las cuales 963 corresponden a la década estudiada en todo el país, según datos procesados a partir de la información suministrada por la consultora Proingo, encargada del asesoramiento al MVOTMA para estos llamados. El BPS realiza la inscripción, selección y adjudicación de viviendas construidas por el MVOTMA a jubilados y pensionistas que no superen las 12 Unidades Reajustables (UR), autoválidos, con residencia permanente en Uruguay.

#### *Características térmicas*

Cada llamado a licitación establece sus propias exigencias térmicas debido a que no existe una normativa particular. Se debe aclarar que para las licitaciones del BHU posteriores a 1999 se han

<sup>9</sup> Banco Hipotecario del Uruguay.

<sup>10</sup> Ministerio de Viviendas, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

<sup>11</sup> Banco de Previsión Social



establecido las exigencias mínimas para mejorar la calidad higrotérmica de las viviendas recomendadas por asesoramiento de la Facultad de Arquitectura, UDELAR.

Del análisis de recaudos y relevamientos se constata que no hay diferencias de diseño que contemplen las características climáticas del lugar donde se ubican. Las tipologías presentan características similares en su envolvente: las paredes exteriores con una transmitancia térmica (U) promedio de  $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ , el techo una transmitancia (U) promedio de  $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; protecciones exteriores tipo cortinas de enrollar en las ventanas de los dormitorios y algunos casos en los estares.



Fig. II. 15. Imágenes de alguno de los conjuntos construidos en la década del 90 por parte del BHU y el MVOTMA



## 2.4 Diseño arquitectónico bioclimático

### 2.4.1. Definición

El edificio, entendido como sistema, interactúa con el entorno donde está inserto estableciendo una serie de relaciones que modifican tanto las condiciones del entorno como las condiciones interiores que brinda el edificio. Es así que desde el punto de vista térmico el edificio responde a las condiciones exteriores independientemente de que esté implícito en el diseño o no, siendo la envolvente uno de los elementos principales en la regulación del comportamiento térmico y energético del edificio.

La arquitectura bioclimática se entiende como una arquitectura adaptada al medio ambiente, que tiene en cuenta el impacto visual y la alteración que provoca en la naturaleza (Neila y Bedoya, 2004). Por lo tanto el diseño bioclimático hace referencia a una concepción del proyecto arquitectónico que trata de utilizar al máximo el beneficio de los recursos naturales con el fin de lograr condiciones ambientales interiores que promuevan el bienestar térmico de los ocupantes, minimizando el uso de energía para tal fin. Para ello es necesario conocer con detenimiento el clima en el cual se está trabajando, identificar aquellos elementos de los cuales el edificio se puede beneficiar y de cuáles se debe proteger o reducir el impacto negativo en el edificio; esto significa interpretar las condiciones ambientales del entorno e incorporarlas en el proyecto para el lograr el confort de los usuarios.

Las principales herramientas de diseño bioclimático son la implantación, la orientación (la posición relativa del edificio al movimiento aparente del sol y a la dirección del viento), la forma del edificio y la composición de su envolvente. Esta última comprende distintos aspectos ya que hace referencia tanto a los materiales utilizados en su conformación constructiva como a la relación entre área opaca y área transparente de la envolvente. El diseño bioclimático incorpora también el diseño de los dispositivos de control solar y su integración en el proyecto, transformándolos de simples dispositivos técnicos en dispositivos arquitectónicos de control de los ambientes (Lavinge et al, 2003).

### 2.4.2 Conceptos energéticos involucrados

El ser humano necesita energía para desarrollar las actividades, que la obtiene a partir del consumo de alimentos. Por medio de procesos metabólicos el organismo transforma la energía química almacenada en otros tipos de energía, que finalmente terminan en forma de calor. Al mismo tiempo, el cuerpo humano se relaciona con su entorno intercambiando energía (calor) mediante procesos de transferencia: conducción, convección, radiación y evapotranspiración.

El confort térmico, según ASHRAE<sup>12</sup> “es la condición de la mente que expresa la satisfacción con el entorno térmico”. El equilibrio térmico es la condición necesaria para que se cumpla el confort térmico, y significa que la producción de calor del cuerpo humano es igual a la emisión de calor hacia el entorno.. Es decir que el balance energético tiene que ser cero, sin que se activen los mecanismos de termorregulación del cuerpo (vasodilatación y vasoconstricción). Si bien el equilibrio térmico es una condición necesaria, no es suficiente para lograr el confort térmico ya que también es necesario que se cumplan condiciones de uniformidad térmica: gradientes de temperatura adecuados, una determinada relación entre la temperatura del aire y de las superficies, entre temperatura del aire y su velocidad, entre otras.

Estas últimas condiciones hacen referencia a los intercambios de energía (calor) entre los distintos materiales que componen el entorno mediante las distintas formas de transferencia de calor (convección, conducción y radiación). Es así que el entorno caracterizado por los parámetros ambientales (temperatura, velocidad y humedad relativa del aire y temperatura radiante de las superficies), condiciona el bienestar de las personas ya que está involucrado el intercambio energético que éstas realizan con el aire y las superficies que las rodean. Es por esta razón que importa estudiar la forma del espacio, los elementos que lo componen y sus propiedades:

---

<sup>12</sup> The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, USA



- El tipo y características de la envolvente está relacionada a la posibilidad de utilizar los recursos naturales de acuerdo a la época del año, tales como viento (aumentar las pérdidas – disipar el calor) y radiación solar (aumentar las ganancias – acumular calor) para lograr el bienestar térmico.
- Los elementos del entorno son entendidos como dispositivos de control de estos recursos, ya que debido a las características de nuestro clima las energías naturales se deben manejar de diferente manera según las necesidades de cada período. Por ejemplo, en el período frío se busca evitar las pérdidas innecesarias de calor por convección, es el caso de las infiltraciones por los cerramientos móviles. Mientras que en el período caluroso es importante conseguir pérdidas por convección a través de la ventilación que se genera al abrir dichos cerramientos.
- Las propiedades de los materiales y componentes están directamente relacionadas con la cantidad de energía que pueden emitir, absorber, transmitir y reflejar al ambiente, así como también con la posibilidad de almacenarla y controlar los flujos de energía por conducción.

Debido a que la arquitectura bioclimática se identifica con los edificios de bajo consumo energético (Neila y Bedoya, 2004) es necesario conocer la relación entre el entorno y el ser humano en cuanto a intercambios energéticos, para comprender la importancia que tiene el control de la energía utilizada para lograr el bienestar de las personas con el mínimo de energía posible.

### 2.4.3. Eficiencia y ahorro energético.

Los conceptos de eficiencia y ahorro energético hacen referencia a la disminución de consumo de energía para un determinado fin. La diferencia radica en que el ahorro simplemente reduce la cantidad de energía utilizada sin vincularse con los resultados obtenidos. Mientras que eficiencia es, en cambio, la reducción de la cantidad de energía que se consume para tal fin pero manteniendo los niveles de aceptabilidad en los resultados logrados.

En otras palabras eficiencia energética en arquitectura significa mantener los niveles de confort utilizando la menor cantidad de energía posible y aprovechando los recursos naturales para disminuir el consumo de *energía no renovable*.

Desde el año 2004 existe el Proyecto de Eficiencia Energética desarrollado por el MIEM<sup>13</sup>, a través de la DNETN<sup>14</sup> y UTE y financiado con capitales del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (Banco Mundial). Uno de los objetivos de dicho proyecto es generar una cultura de uso eficiente de la energía.

Para que un edificio sea energéticamente eficiente, se debe considerar todo su ciclo de vida, es decir evaluar diversos aspectos en las etapas de extracción-producción, construcción, uso, mantenimiento, reciclaje y demolición. Por ejemplo la elección de los materiales adecuados, tanto por la energía incorporada en su fabricación y puesta en obra (*embodied energy*) como por su desempeño térmico posterior, entre otros aspectos. En la etapa de anteproyecto, prever una correcta implantación y orientación del edificio, una adecuada proporción de llenos-vacíos de su envolvente y la posibilidad de aprovechar los recursos naturales redundará en un menor consumo de energía eléctrica por parte de los usuarios.

Por eso el proyecto tiene como objetivo brindar pautas de diseño arquitectónico para lograr minimizar el uso de energía no renovable y beneficiarse de los recursos naturales, logrando un uso eficiente de la energía.

<sup>13</sup> Ministerio de Industria, Energía y Minería

<sup>14</sup> Dirección Nacional de Energía y Tecnología Nuclear



#### 2.4.4. Evaluación bioclimática para las ciudades elegidas

Según lo indicado en la sección 2.1.2, a cada ciudad seleccionada le corresponde una carta bioclimática debido a que se encuentran ubicadas en diferentes zonas climáticas. Para este proyecto se trabajó con las cartas bioclimáticas de Givoni (ver fig. II. 16y 17) y las tablas de estrategias bioclimáticas que de ellas se desprenden (ver fig. II. 18.), obteniendo para cada ciudad diferentes porcentajes de horas anuales de aplicación para cada estrategia.

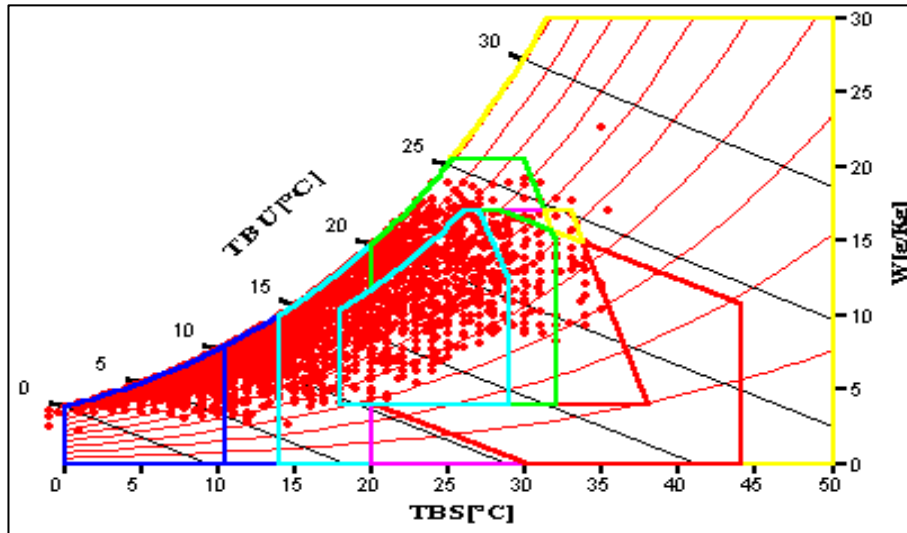


Fig. II. 16. Representación en la Carta Bioclimática de las Temperaturas Horarias de todo el Año Típico de Referencia de Montevideo (1993), Picción y Milicua, 2005.

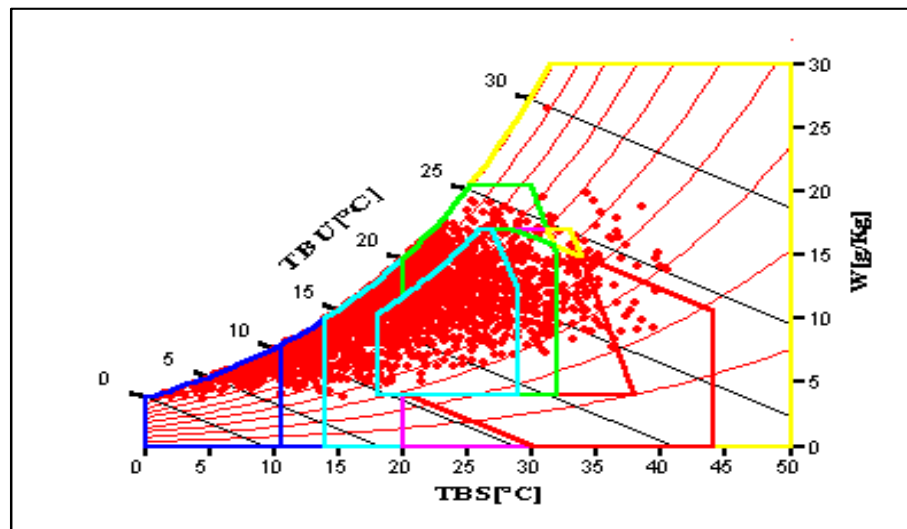


Fig. II. 17. Representación en la Carta Bioclimática de las Temperaturas Horarias de todo el Año Típico de Referencia de Salto (1986), Picción y Milicua, 2005.





### Montevideo

Para la ciudad de Montevideo, según los datos analizados, se concluye que la colocación de masa térmica aislada es una estrategia bioclimática que se debe aplicar durante todo el año para conseguir niveles de confort requeridos. En el período caluroso, esta estrategia debe estar asociada a otras dos principales: el sombreadamiento y la ventilación natural. En el período frío, la masa térmica aislada debe complementarse con las estrategias de calentamiento solar pasivo y calentamiento artificial. El sombreadamiento es necesario la tercera parte del año aproximadamente (ver fig. II. 18.)

### Salto

Si bien las estrategias a aplicar son las mismas que para Montevideo, varían los porcentajes de horas de aplicación de cada una de ellas. Por tratarse de una zona climática cálida, las estrategias aplicables en el período caluroso aumentan los valores en comparación con Montevideo (ventilación, masa térmica para refrescamiento, refrescamiento evaporativo), y las correspondientes al período frío presentan valores menores (calentamiento solar pasivo, calentamiento artificial). En cuanto al sombreadamiento también se incrementan las horas de aplicación, alcanzando prácticamente el 50% de las horas año (ver fig. II. 18).

Ciudad	Montevideo	Salto
Confort	<b>20,90%</b>	<b>29,80%</b>
Disconfort	<b>79,10%</b>	<b>70,20%</b>
<i>Disconfort por calor</i>	<i>14,50%</i>	<i>21,10%</i>
ventilación	14,00%	17,30%
alta inercia p/refrescamiento	2,30%	7,30%
refrescamiento evaporativo	2,30%	7,50%
aire acondicionado	0,10%	1,20%
<i>Disconfort por frío</i>	<i>64,60%</i>	<i>49,10%</i>
masa térmica	29,20%	29,10%
calentamiento solar pasivo	15,60%	11,60%
calentamiento artificial	19,90%	8,40%
humidificación	0,00%	0,00%
sombreadamiento	31,10%	46,00%

Fig. II. 18. Tabla de estrategias recomendadas para restablecer el confort utilizando temperaturas medias horarias para todo el año, Picción y Milicua, 2005

En el proyecto se analizaron las distintas estrategias aplicadas en los edificios relevados. Posteriormente se sugirieron modificaciones de diseño en función de las distintas estrategias bioclimáticas aplicables y se constataron mediante programas de simulación su relación con las horas de confort alcanzadas y el consumo energético obtenido.



## Capítulo 3: Materiales y métodos

### 3.1. Métodos de estudio utilizados

El proyecto se desarrolla en distintas etapas. En una primera instancia se realiza el relevamiento del parque edificado de las construcciones correspondientes a la década seleccionada. El estudio abarca 85 edificios en total y para cada edificio se realiza una ficha de relevamiento. La sistematización de los datos obtenidos permite definir cuatro tipos edificatorios básicos: torre, tira, torre tira y vivienda individual aislada. Luego se procesa el análisis tipológico de las viviendas (apartamentos) en cada tipo edificatorio y se seleccionan ocho apartamentos (cuatro en cada ciudad de referencia) que por una serie de características representan los distintos casos encontrados. Esta sistematización sirve de base a los estudios desarrollados en las sucesivas etapas del proyecto.

En estos apartamentos se registran los parámetros interiores de temperatura de bulbo seco y humedad relativa y los parámetros climáticos exteriores de temperatura de bulbo seco del aire, humedad relativa y velocidad del viento. Además se efectúan encuestas sobre confort térmico y pautas de uso de las viviendas a los usuarios. Estas tareas se realizan en dos momentos del año, período frío y período caluroso.

A partir de la sistematización de los parámetros energéticos de las tipologías de vivienda se desarrollan dos modelos teóricos en los que se aplica análisis térmico y energético mediante simulación computacional. Si bien se prueban dos programas de licencia libre: Energy Plus y Simedif, se continúa sólo con el primero que resulta más amigable para introducir variantes. Finalmente, se estudian variantes a los modelos virtuales originales para contrastar los efectos de distintas decisiones de diseño en la aplicación de estrategias bioclimáticas sobre el comportamiento térmico y energético de las viviendas. De cada una de las simulaciones se registran datos de consumo de energía y de temperatura del aire interior para cada modelo. Se procesan y se analizan estos datos para obtener porcentajes de ahorro energético y cantidad de horas de confort.

Con estos estudios se verifican y proponen las pautas de diseño bioclimático que se deben aplicar a las viviendas en un clima complejo según las dos ciudades de referencia: Salto y Montevideo.

### 3.2. Selección de los casos a estudiar

#### 3.2.1. Relevamiento del parque edilicio

En función de anteriores estudios y de acuerdo a la zonificación climática de nuestro país se seleccionan dos ciudades representativas para analizar el clima complejo de Uruguay: Montevideo y Salto como se expuso en 2.1.

Para estas dos ciudades se recopilaron datos de las viviendas estatales construidas por el BHU y MVOTMA-BPS en la década del noventa. Se trata de 85 conjuntos ó edificios que comprenden unas 4000 viviendas; 82 conjuntos ubicados en Montevideo y 3 en Salto. Se fotografían todos los edificios seleccionados (figuras III.1 a III.3) y para cada uno se completa una ficha de relevamiento (ver anexo 7.1).

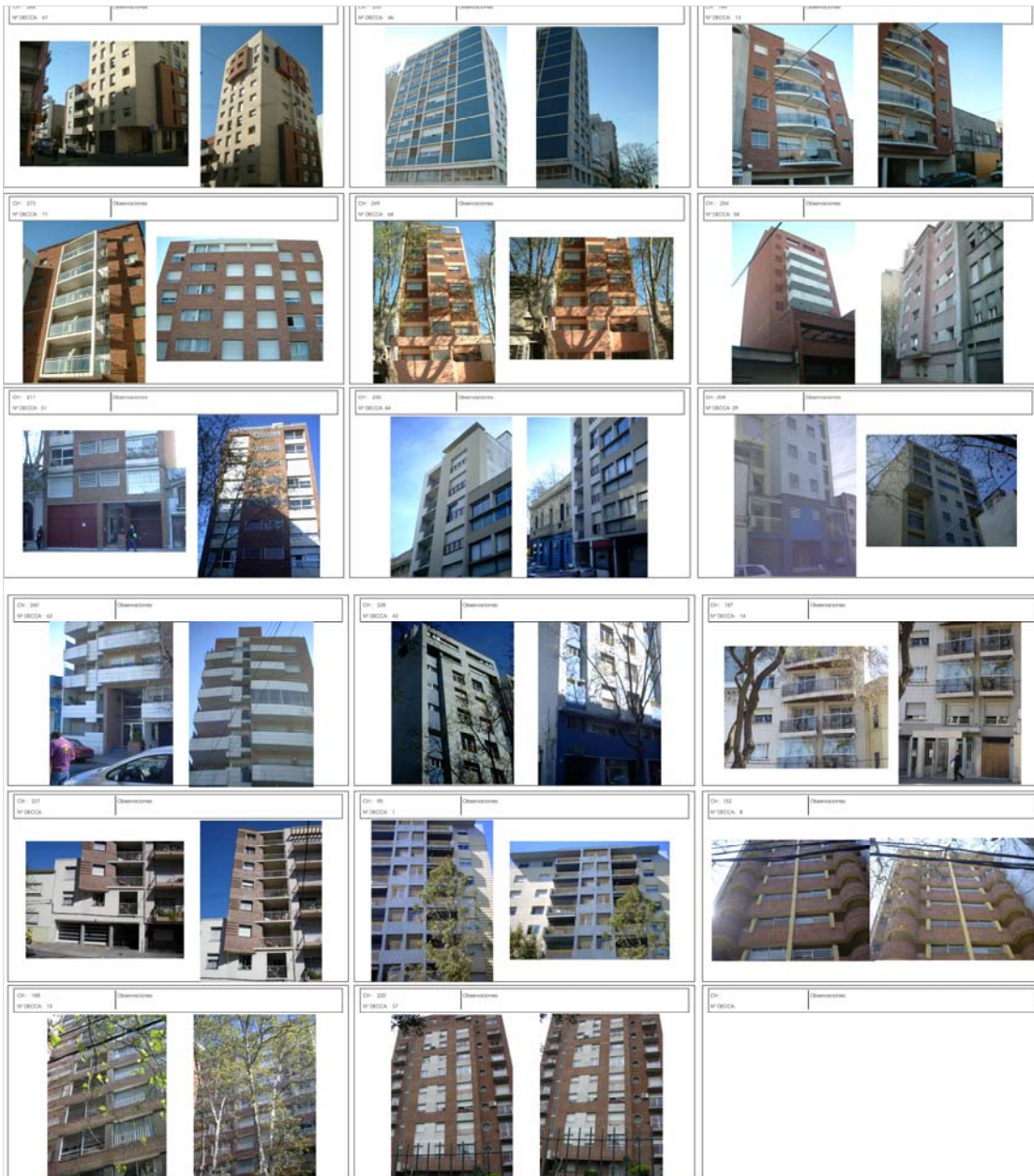


Fig. III.1. Relevamiento fotográfico de los conjuntos BHU en estudio, década 1990-2000.

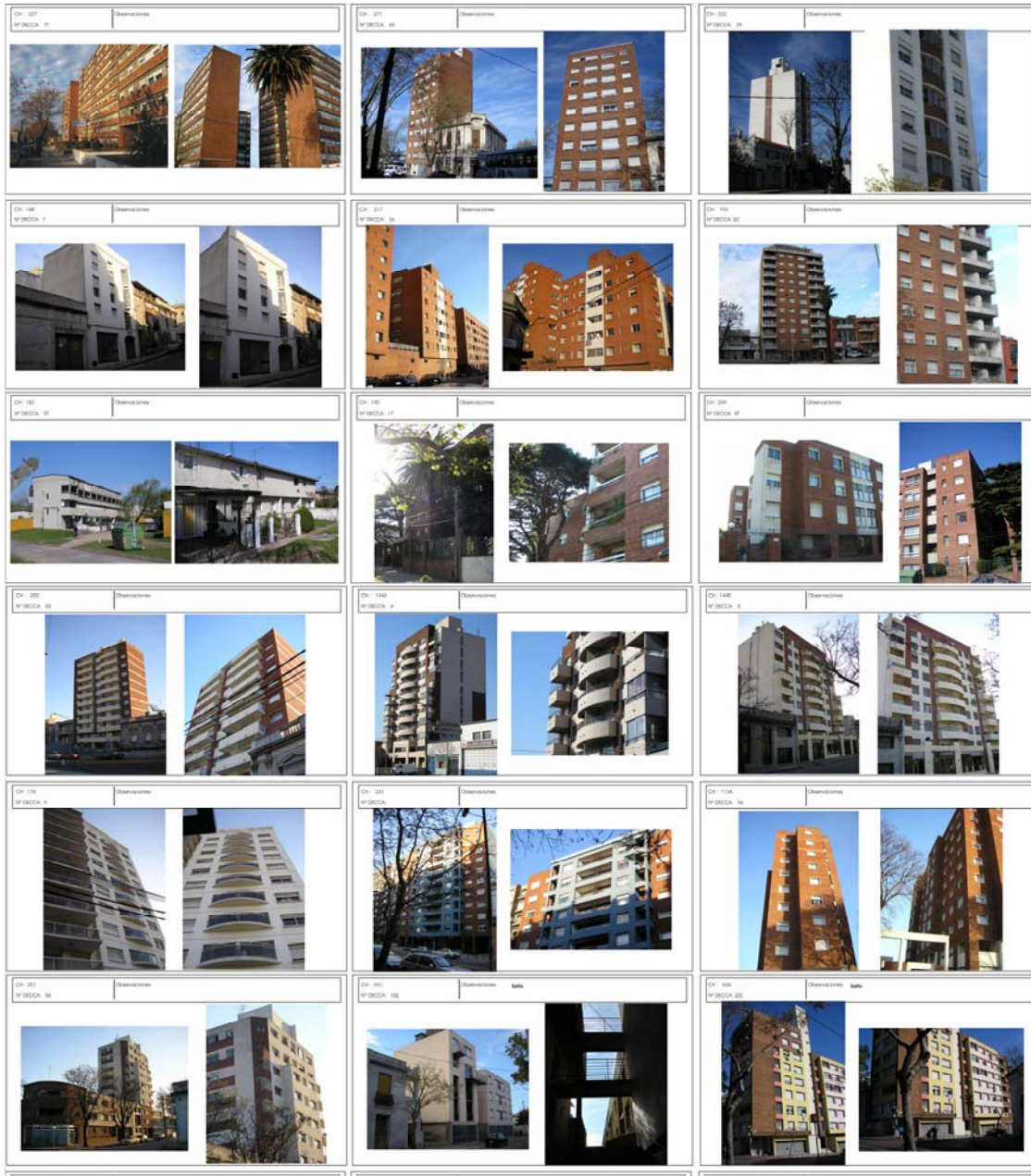


Fig. III.2. Relevamiento fotográfico de los conjuntos BHU en estudio, década 1990-2000.





Fig. III.3. . Relevamiento fotográfico de los conjuntos BPS-MVOTMA en estudio, década 1990-2000.

Los datos sistematizados son: dimensiones del terreno y el edificio, tipología, implantación, factor de ocupación del suelo, número de pisos, número de viviendas por piso, espacios de transición (balcones, galerías y porches), transmitancia térmica de la envolvente, orientación de las fachadas, área de huecos, tipo de protecciones solares y terminación exterior, tipo de calefacción y refrigeración, combustible utilizado (ver fig. III. 4).



### 3.2.2. Clasificación de las tipologías

A partir del análisis de los datos se definieron cuatro tipos edificatorios básicos que reúnen parámetros energéticos diferenciados: torre (edificios de más de 4 pisos con ascensor, donde predomina la altura sobre las demás dimensiones); torre tira (edificios de más de 4 pisos con ascensor en donde la altura y la longitud predominan); tira (edificios de hasta 4 niveles en donde predomina la longitud sobre las otras dimensiones) y viviendas individuales aisladas (ver fig. III.4).

Los tipos edificatorios tienen el siguiente porcentaje de representación: Torre (73%); Tira (13%); Torre-tira (13%); individual-aislada (1%). Como se desprende de los porcentajes, el tipo torre tiene mayor representatividad en la producción de viviendas de esta década, presenta un porcentaje de huecos cercano al 40%, siendo la orientación predominante de los conjuntos la NO. La vivienda individual como tipo fue desechado por su baja representatividad.

Parámetros	TORRE	TIRA	TORRE-TIRA	
Dimensiones del terreno (en metros)				<p>torre</p>
largo	34	55	52	
ancho	14	25	22	
Dimensiones del edificio (en metros)				<p>tira</p>
largo	14	25	37	
ancho	9	8	13	
altura	30	9	27	
Número de pisos	10	4	9	
Factor de ocupación del suelo (%)	49	48	44	
Implantación				
entre medianeras	entre medianeras	entre medianeras	entre medianeras	
h medianera dcha (m)	3	2	4	
h medianera izq (m)	3	3	5	
Número de viviendas por piso	2	4	3	
Transmitancia (W/m <sup>2</sup> K)				
paredes	1,1	1	1,2	
techos	0,8	1,6	1	
vidrios	5,8	5,8	5,8	
Fachada principal				<p>torre-tira</p>
terminación exterior	ladrillo visto + rev. f. pintado	ladrillo visto + rev. f. pintado	ladrillo visto + rev. f. pintado	
orientación	NO	NE	S-NE-NO	
protecciones -tipo	cortina enrollar+cortina int	cortina enrollar+cortina int	cortina enrollar+cortina int	
color	claro	claro	claro	
% de área huecos	39	48	35	
infiltraciones de aire (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	7	7	7	
calefacción tipo				
refrigeración tipo	split			
cantidad de horas en las viviendas	9	9	9	

Fig. III.4. Sistematización de los parámetros térmicos relevados de acuerdo a la tipología

A su vez, dentro de los tipos se definen dos tipologías de vivienda que corresponden a: apartamentos mono-orientados y apartamentos doblemente orientados.

#### Determinación de la muestra

Con la finalidad de obtener la información necesaria sobre las viviendas representativas a partir de las cuales se realizaría el trabajo de campo (registro de datos), se determina la muestra. Inicialmente se fijan una serie de criterios para seleccionar la muestra, con el fin de acercarse a la fiabilidad respecto al universo objeto de estudio. Para ello se parte de una ficha técnica que indica: el ámbito público de producción de vivienda a ser analizado, el universo teórico (donde se hace referencia a la totalidad de la población en estudio), el tamaño de la muestra (teniendo en cuenta la población universo) y el método de muestreo (aleatorio). También se indica la estratificación que se utiliza para la selección de las unidades de muestreo.

Para un nivel de confianza del 90%, y un error de  $\pm 10\%$ , se determinaron los siguientes valores (ver fig. III.5):



Ficha técnica de muestreo	
Características	
Ámbito	Viviendas construidas por el BHU y el BPS-MVOTMA en la década del 90
Universo teórico	3955 viviendas construidas en la década del 90 en Salto y Montevideo
Tamaño de la muestra	9 viviendas
estratificación según tipología	altura: 6 bloque tira: 1 tiras:2 viv. Aisladas: 0
método de muestreo	aleatorio estratificado

Fig. III.5. Determinación de la muestra

Se seleccionan los edificios / conjuntos más representativos por tipo, y posteriormente en forma aleatoria se escogen uno o dos apartamentos por cada edificio (ver fig. III.6). Una vez definida la muestra se presentan dificultades para realizar el monitoreo en algunos de los edificios, debido a dudas e inseguridad manifestadas por los usuarios contactados. Efectivamente se logra registrar datos en 8 apartamentos: cuatro en Salto y cuatro en Montevideo; cuatro apartamentos ubicados en edificios Tipo Torre, dos en tipo Tira y dos en tipo Torre-tira.

Para la evaluación de desempeño térmico en los períodos caluroso y frío se colocan dispositivos autónomos de registro de temperatura y HR marca HOBO en las ocho viviendas. Sus características constructivas son similares, las diferencias se encuentran básicamente en orientaciones y área de huecos en fachada.



Fig. III.6. Edificios seleccionados dentro de cada tipo edificatorio.

Para cada tipo edificatorio se estudió una tipología de vivienda simple y otra doblemente orientada (ver fig. III. 7 y 8).



En Montevideo los conjuntos elegidos fueron: CH 144A, 193 y 265 y en Salto H36 y H31.

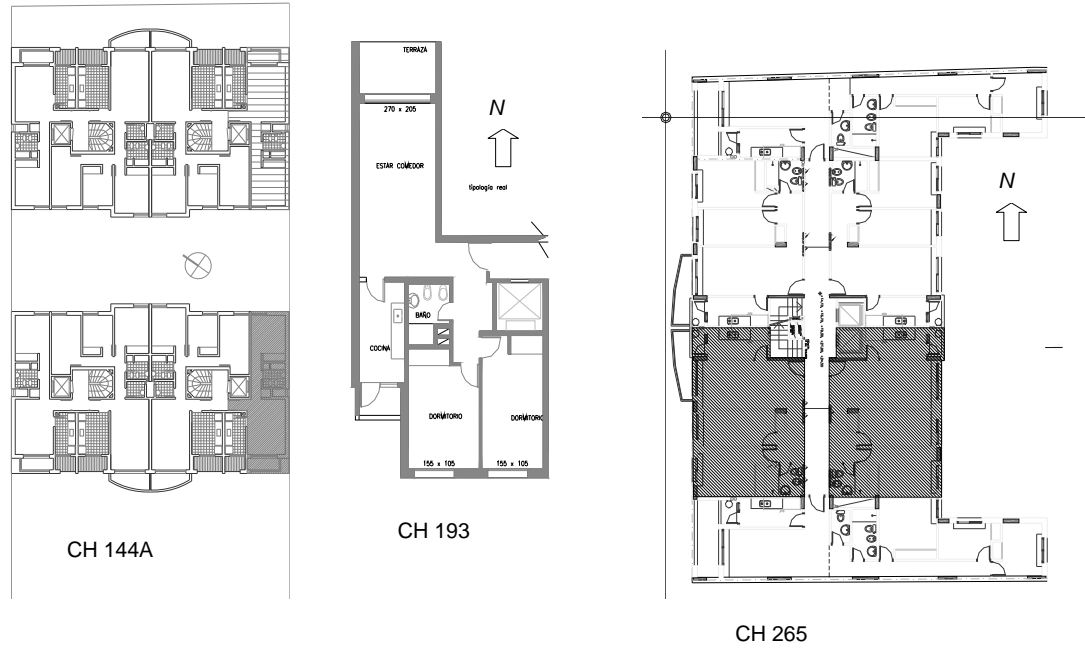


Fig. III.7. Conjuntos habitacionales seleccionados en Montevideo.

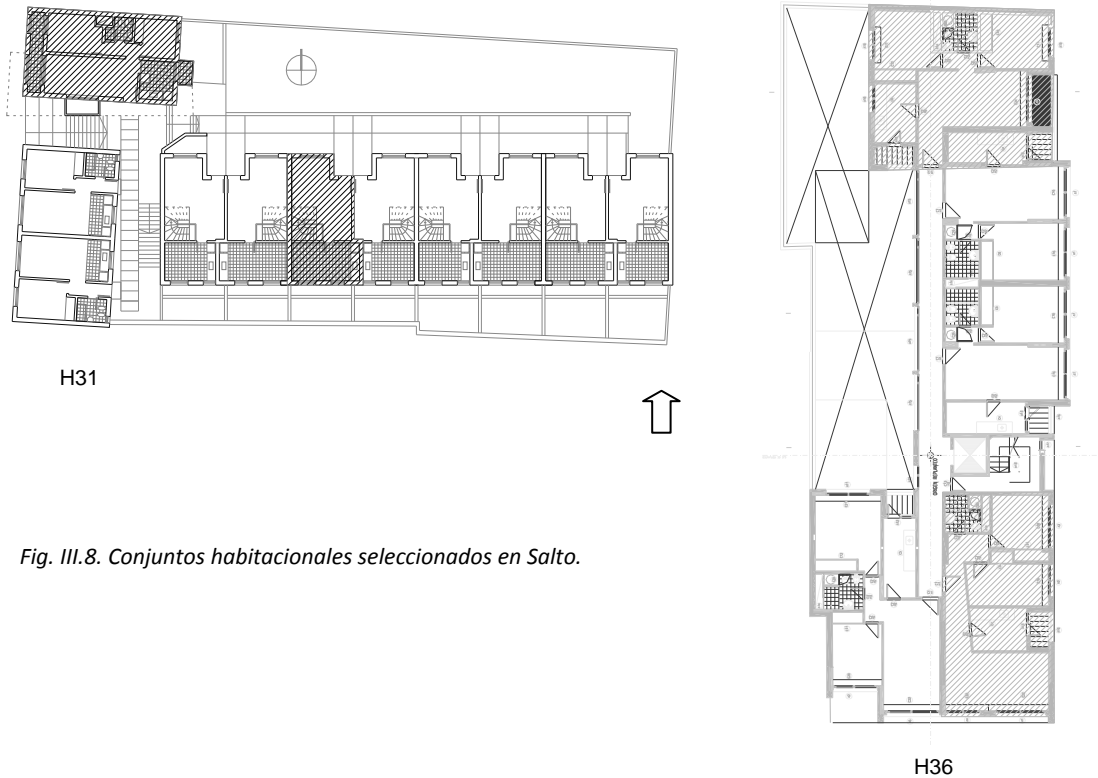


Fig. III.8. Conjuntos habitacionales seleccionados en Salto.





### 3.2.3. Casos monitoreados en Salto y Montevideo

Se relevan los tipos elegidos y se elabora una ficha síntesis para la sistematización de parámetros de desempeño térmico (ver fig III.9). A partir de estos datos, posteriormente se desarrollan los modelos para la simulación, ver capítulo 3.5.

Los casos elegidos pertenecen a los tres tipos básicos construidos es decir: Torre; Torre-tira y Tira. Las viviendas mono-orientadas orientadas pertenecen a CH 265 en los niveles 3 y 5 y H36 en el apartamento del nivel 5. Los demás apartamentos son doblemente orientados.

A partir de encuestas se sistematizan los parámetros de uso, también se relevan los equipos eléctricos usados en cada uno de los espacios.

Parámetros Vivienda monitoreadas	Montevideo				Salto			
	TORRE		TORRE-TIRA		TORRE		TIRA	
	CH 193	CH144A	CH 265	CH 265	H 36 - 101	H 36 - 501	H 31 - S001	H 31 - 006
Dimensiones del terreno (en metros)								
largo	85	48	52	52	36	36	46	46
ancho	9	22	22	22	13,5	13,5	20	20
Dimensiones del edificio (en metros)								
largo	34	14	28	28	36	36	11	35
ancho	17	9	14	14	13,5	13,5	6	9
Número de pisos	11	10	10	10	8	8	5	2 (duplex)
Factor de ocupación del suelo (%)	79	49	34	34	100	100	26	26
Implantación								
entre medianeras	entre medianeras	entre medianeras	entre medianeras	entre medianeras	entre medianeras	entre medianeras	entre medianeras	excento
h medianera dcha (m)	6	3	4	4	3	3	1	0
h medianera izq (m)	6	3	5	5	2	2	1	0
Ubicación de la vivienda en relación a todo el edificio	piso 9	P8 IIIV / P10 VER	piso 3	piso 5	piso 1	piso 5	piso 1	piso 1 duplex
Área expuesta de la vivienda (m <sup>2</sup> ):								
del estar	7,37	7,20	6,48	6,48	20,06	6,72	23,00	13,00
del dormitorio	5,88	6,24	5,76	5,76	8,28	14,90	6,36	13,00
Transmitancia (W/m <sup>2</sup> K)								
paredes	1,1	1,1	1,2	1,2	0,62	0,62	0,71	0,71
techos	0,8	0,8	1	1	0,82	0,82	2,49	2,49
vidrios	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
Fachada-estar								
terminación exterior	ladrillo visto + rev.	ladrillo visto + rev.	ladrillo visto + rev.	ladrillo visto + rev.	ladrillo visto + rev.	ladrillo visto + rev.	rev. f. Pint.	ladrillo visto
orientación	N	SO-NE	O	E	S	S	O	N
protecciones-tipo	cortina enrollar	cortina enrollar+int	cortina enrollar+int	cortina enrollar+int	cortina enrollar	cortina enrollar	cortina enrollar+int	cortina enrollar+int
color	claro	claro	claro	claro	claro	claro	claro	claro
% de área huecos	32	49	35	35	51	70	56	20
infiltraciones de aire (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	7	7	7	7	7	7	7	7
estrategia de ventilación								
estar	cruzada	cruzada	unilateral	unilateral	unilateral	cruzada	cruzada	cruzada
dormitorio	unilateral	unilateral	unilateral	unilateral	unilateral	unilateral	unilateral	unilateral
refrigeración	no	no	no	no	sí	no	no	sí
calefacción	sí	sí	sí	sí	sí	sí	sí	sí
cantidad de horas en las viviendas	10	8	10	10	24	24	20	6

Fig. III.9. Parámetros analizados en cada una de las viviendas monitoreadas

Las viviendas elegidas se encuentran en entornos urbanos de las ciudades de Montevideo y Salto (ver fig. 10 a 14). La presencia del vegetal es muy marcada en el conjunto 265 que cuenta con arbolado urbano en la orientación oeste (ver fig III.12). Todos los edificios se encuentran entre medianeras bajas, la transmitancia promedio de la envolvente opaca es de 1.2 W/m<sup>2</sup>K, las ventanas con vidrio simple común, con protección tipo cortina de enrollar, el factor de huecos promedio es de 42% de la fachada (oscila entre 30% y 60% en los edificios de inicio de la década de 1990 y del final, respectivamente).

En todos los casos se cuenta con algún sistema de calefacción mientras que el de refrigeración solo es utilizado en un apartamento de la ciudad de Salto.



Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo

Departamento de Clima y Confort en Arquitectura – Instituto de la Construcción  
Facultad de Arquitectura UDELAR  
Proyecto de Investigación financiado por el PDT – DICYT – MEC. 2006 / 2008.



Fig. III.10. Imagen del conjunto CH193



Fig. III.11. Imagen del conjunto CH144



Fig. III.12. Imagen del conjunto CH265



Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo

*Departamento de Clima y Confort en Arquitectura – Instituto de la Construcción  
Facultad de Arquitectura UDELAR  
Proyecto de Investigación financiado por el PDT – DICYT – MEC. 2006 / 2008.*



*Fig. III.13. Imagen del conjunto H31*



*Fig. III.14. Imagen del conjunto H36*





### 3.2.4. Protocolo de monitoreo

Para obtener datos de calidad se sigue un protocolo de monitoreo de la temperatura de bulbo seco y HR en un dormitorio y en el estar de las viviendas seleccionadas. En cada ciudad las mediciones son simultáneas. En Salto para el período caluroso se monitorea en los meses de diciembre y enero de 2007 y en Montevideo en el mes de febrero 2007. Las mediciones del período frío se realizan en julio- agosto para Montevideo y en agosto para Salto.

Los equipos utilizados para la adquisición de datos son los siguientes: data loggers HOBO H8 Family para mediciones de temperatura y humedad interior, de Onset Computer Corporation y HOBO H8 Pro que permite mediciones de temperatura y humedad relativa exterior. Los HOBO H8 permiten una medición de temperatura con una apreciación de  $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa con un error de  $\pm 5\%$ .

En Montevideo para la adquisición de los parámetros exteriores de Temperatura, humedad relativa y velocidad del viento se utiliza la estación meteorológica Hobo Weather Station de 512 Kb de memoria que consta de sensores de: temperatura de bulbo seco con una apreciación de  $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa con un error de  $\pm 3\%$ .

#### Criterio de ubicación de los instrumentos

Para la ubicación de los sensores se toman las siguientes precauciones

- Los registradores que miden las *condiciones exteriores* están colocados en espacios exteriores bien ventilados y protegidos de la radiación solar directa.
- Para la medición de las *condiciones interiores* los sensores se colocan en el baricentro de los espacios y protegidos de manera de no recibir radiación directa. Se solicita que no sean cambiados de lugar durante todo el período de adquisición de datos. Se coloca un solo registrador por espacio a evaluar, ya que según Chauvie, 2003 y Mathews, et al, 1994 en lugares donde no hay gran producción de calor este registro es suficiente.



### 3.3. Período de mediciones

Las mediciones se realizan en dos etapas, una representativa del período frío y otra del período caluroso del año 2007 y en cada ciudad seleccionada. En Montevideo se registran los parámetros exteriores e interiores desde el 17 de julio al 6 de agosto (período frío) y desde el 15 de febrero al 8 de marzo (período caluroso). En la ciudad de Salto las mediciones se realizan desde el 8 al 28 de agosto y desde el 29 de diciembre de 2006 al 30 de enero de 2007 para el período frío y caluroso respectivamente. La adquisición de datos de temperatura de bulbo seco y humedad relativa interior y exterior se realiza cada 15 minutos (los sensores se encienden por 10 segundos cada 15 min para tomar mediciones y registra el promedio obtenido en su memoria).

Las mediciones muestran un comportamiento típico de las variables climáticas exteriores de acuerdo a la ciudad en estudio, y no se presentan eventos extremos durante las mediciones, como se muestra en las figuras III.15 a la III.17.

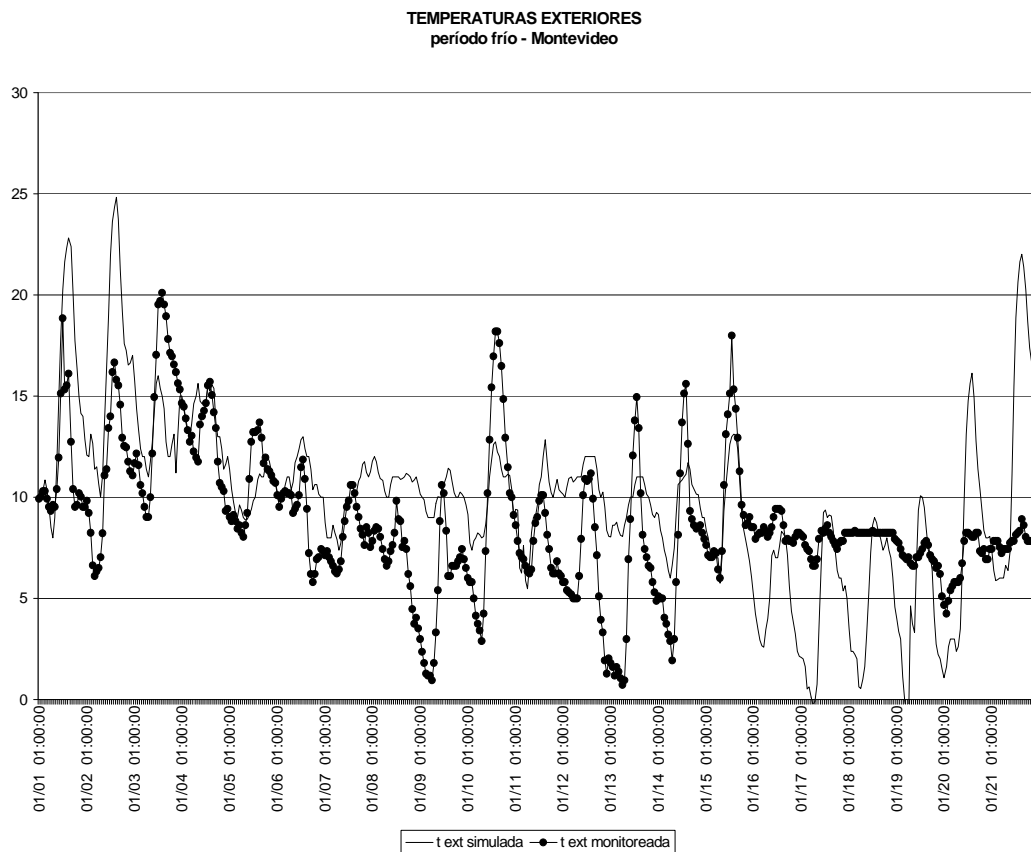


Fig. III. 15. Comparación entre temperaturas registradas (text monitoreada) y temperaturas de la base de datos de EnergyPlus (textsimulada) para Montevideo en período frío.



**TEMPERATURAS EXTERIORES**  
período caluroso - Montevideo

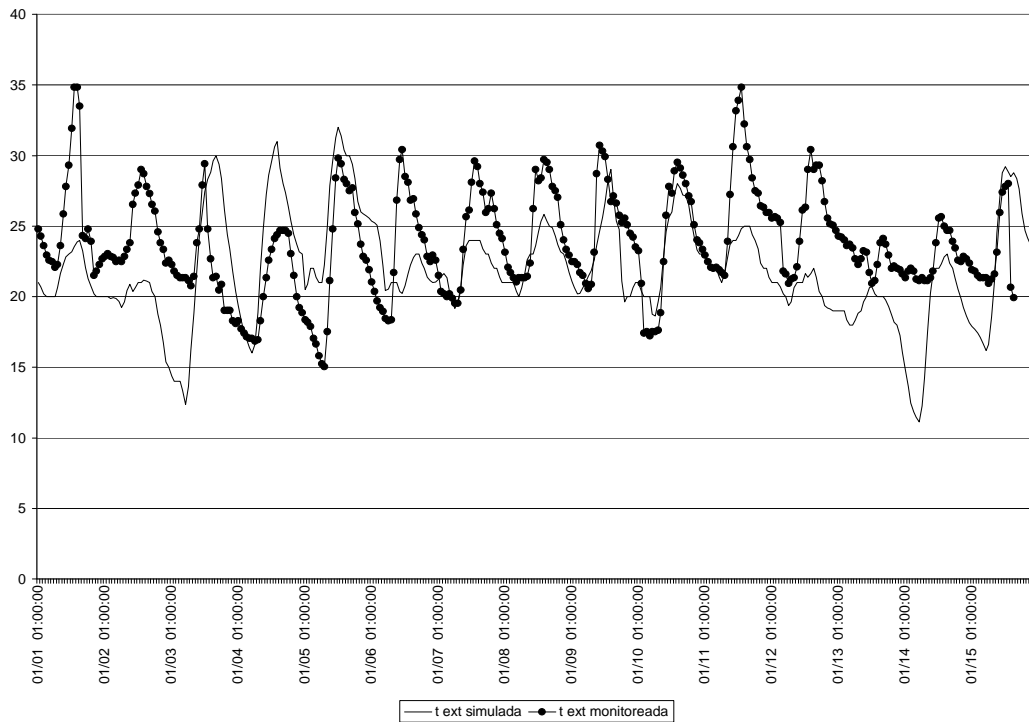


Fig. III.16. Comparación entre temperaturas registradas (text monitoreada) y temperaturas de la base de datos de EneravPlus (textsimulada) para Montevideo en período caluroso.

**TEMPERATURAS EXTERIORES**  
Período caluroso - Salto

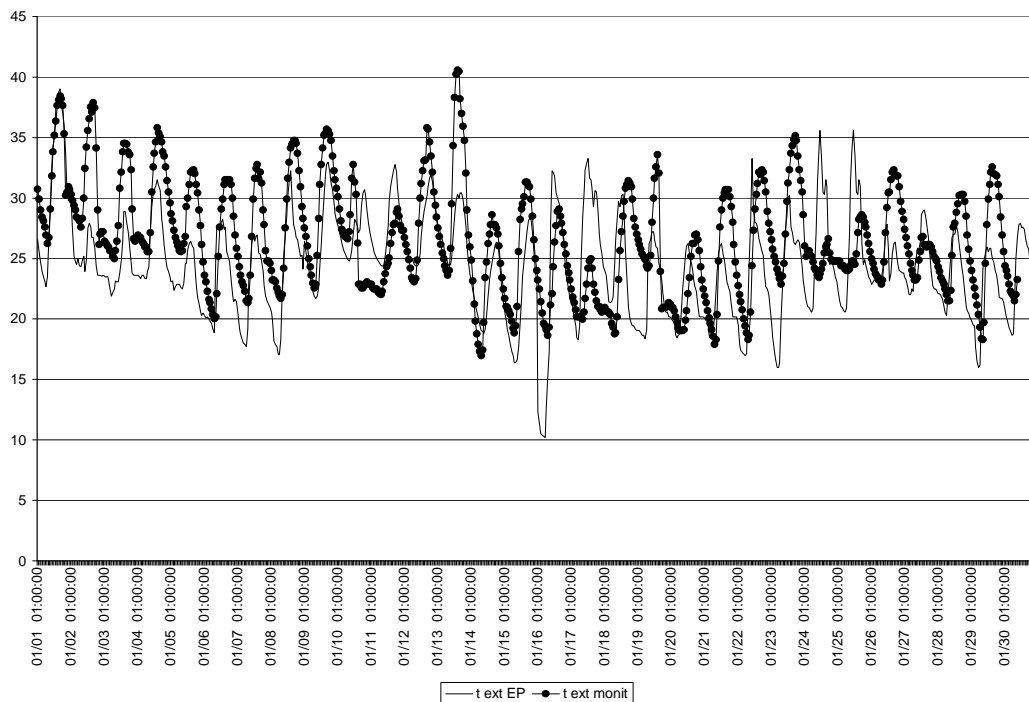


Fig. III.17. Comparación entre temperaturas registradas (text monit) y temperaturas de la base de datos de EnergyPlus (textEP) para Salto en período caluroso.



**TEMPERATURAS EXTERIORES**  
Período frío - Salto

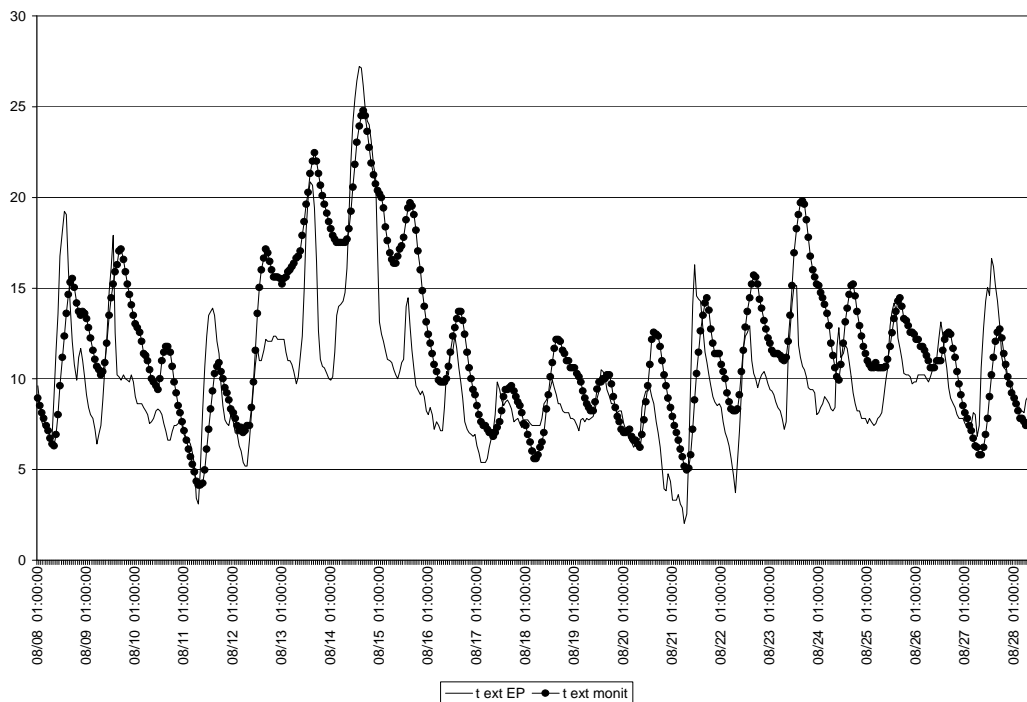


Fig. III.18. Comparación entre temperaturas registradas (text monit) y temperaturas de la base de datos de EnergyPlus (textEP) para Salto en período frío.

### 3.4. Procesamiento de datos

El procesamiento de datos que se desarrolla en este capítulo abarca la sistematización de los datos registrados para los parámetros ambientales y de las encuestas de confort realizadas a los usuarios de las viviendas.

#### 3.4.1 Distribución de temperaturas de bulbo seco

A continuación se presentan los datos medidos de temperaturas de bulbo seco exteriores e interiores para Montevideo y Salto, para cada período. A los efectos de la evaluación, se presenta una semana de monitoreo con valores de temperatura exterior característicos y uniformes correspondientes a cada período, con el fin de comparar el comportamiento térmico de todos los apartamentos (distintas tipologías) para unas mismas condiciones climáticas exteriores, sin eventos extremos o andamientos desparejos.

En Montevideo los apartamentos son nombrados de la siguiente forma:

- Conjunto 144 A, ubicado en la calle Agraciada, apartamento 1001 (para el período caluroso y 802 para el período frío)
- Conjunto 193, ubicado en la calle Br. Gral. Artigas (esq. San Martín), apartamento 903
- Conjunto 265, ubicado en la calle Jackson, apartamentos 303 y 606

En Salto:

- Conjunto H36, ubicado en la calle Invernizzi, apartamentos 101 y 505
- Conjunto H31, ubicado en la calle Larrañaga, apartamentos S01 y 006



Se considera como temperatura máxima al valor mayor registrado y como temperatura mínima al menor valor registrado en cada semana de estudio. El valor de temperatura media es el promedio de la temperatura máxima y la mínima registradas y la amplitud es la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima para los valores adquiridos en esta semana de estudio. Debe aclararse que el año de mediciones fue un año atípico en lo que refiere a temperaturas del período frío, siendo uno de los más fríos en varios años.

### Montevideo período frío

Para este período los datos analizados corresponden a los registros adquiridos entre el 24 y el 30 de julio de 2007. Debido a la gran variabilidad de los datos se descartaron las otras semanas de mediciones. Se selecciona esta semana por ser la que presenta un comportamiento más homogéneo, con días sucesivos de temperatura exterior relativamente parecidos. La temperatura exterior mínima registrada fue de 1°C y la máxima 18°C, con una temperatura promedio de 7,1°C y una amplitud térmica promedio de 10,5°C. En cuanto a los apartamentos, las cuatro tipologías se comportan de manera variada, teniendo temperaturas promedio que varían entre 14°C y 19°C. Solamente uno de los apartamentos monitoreados tuvo un promedio de temperaturas dentro del rango de confort (apartamento 606, Jackson), en el resto se registraron temperaturas inferiores. Esto sucede tanto en los estares como en los dormitorios, ver fig. III.19 y fig. III.20. Los registros de temperatura interior en los apartamentos 801; 606; 903 (dormitorio) muestran la presencia de calefacción artificial.

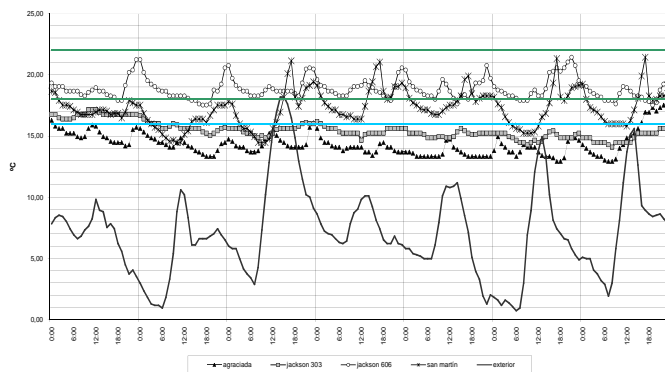


Fig. III.19. Temperatura registradas en el monitoreo de los estares, período frío en Montevideo.



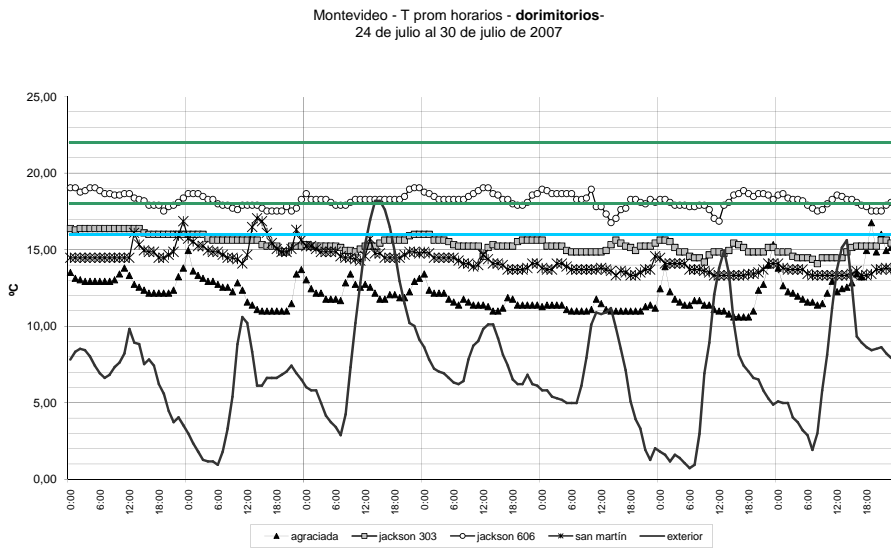


Fig. III.20. Temperatura registradas en el monitoreo de los dormitorios, período frío en Montevideo.

#### Montevideo período caluroso

La semana que se tomó de referencia va del 20 al 26 de febrero de 2007 porque presenta registros de temperatura exterior con menor variabilidad. En este período la temperatura exterior de bulbo seco máxima es de 34,9°C, con un promedio de temperaturas de 24,7°C y una amplitud media de 10,9°C. Se debe tener en cuenta que se utilizan equipos de ventilación pero no equipos de aire acondicionado, lo que permite sacar conclusiones más robustas sobre el andamio de la temperatura interior en los espacios considerados. A diferencia del período frío, en todos los apartamentos se registran temperaturas promedio dentro del rango de confort, de 22 a 27°C, (ver fig. III.21 y fig. III.22) a excepción del apto 606 que en algunos días supera dicho rango. Las temperaturas promedio registradas en estares y dormitorios de los apartamentos se encuentran entre los 26°C y 27°C.

En cuanto a amplitudes, los dormitorios resultan ser más estables térmicamente, presentando los estares más amplitud térmica.

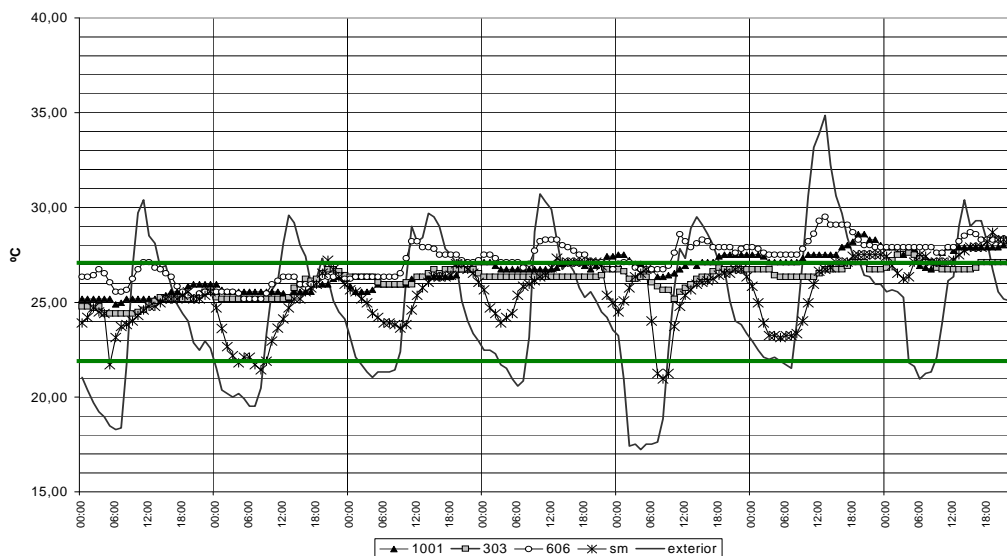


Fig. III.21. Temperatura registradas en el monitoreo de los estares, período caluroso en Montevideo.

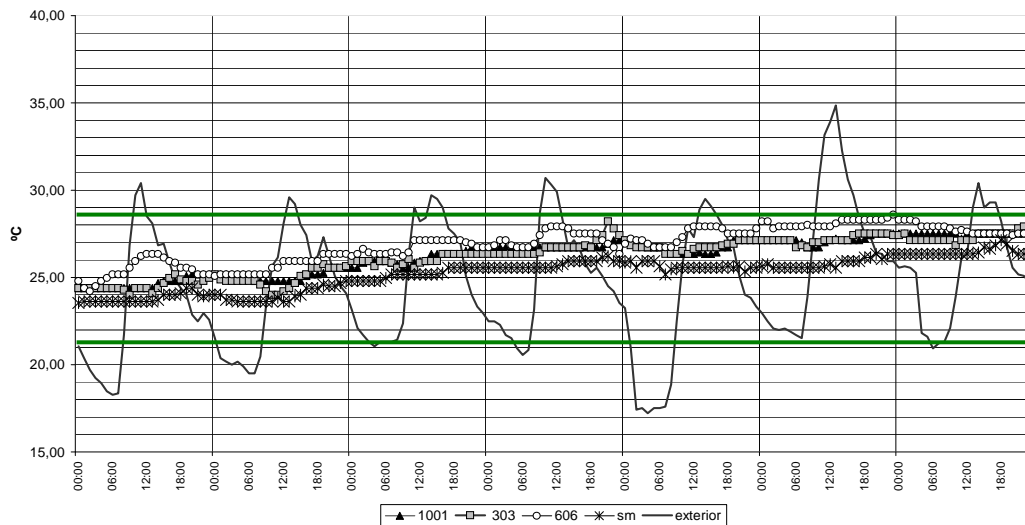


Fig. III.22. Temperatura registradas en el monitoreo de los dormitorios, período caluroso en Montevideo.

### Salto período frío

La semana de referencia para el período frío en la ciudad de Salto va del 21 al 27 de agosto de 2007 porque es la que presenta registros de temperaturas exteriores características al período y a la localidad. Los datos obtenidos marcan una temperatura exterior máxima de 20°C y una mínima de 5°C, siendo la temperatura exterior promedio de 11,6°C y la amplitud media fue de 10,9°C

Los registros de temperatura interior del período frío también muestran la utilización de calefacción en todos los apartamentos 006; 101; S101 y 505. Se observa al igual que en Montevideo una estabilidad en la oscilación de la temperatura interior (ver fig. III.23 y fig. III.24), la amplitudes interiores no superan los 3,4°C, lo que indica el beneficio de disponer de masa térmica aislada en todos casos monitoreados. Las temperaturas de dormitorios y estares se encuentran en su mayoría fuera de los rangos de confort sobre todo para los registros de temperatura interior de los dormitorios.

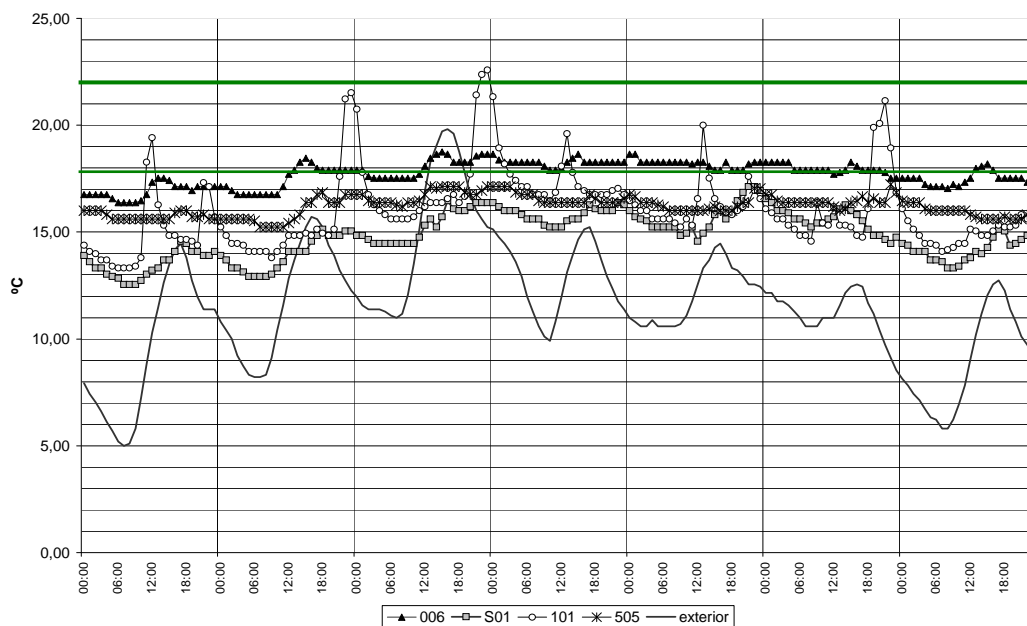


Fig. III.23. Temperatura registradas en el monitoreo de los estares, período frío en Salto.

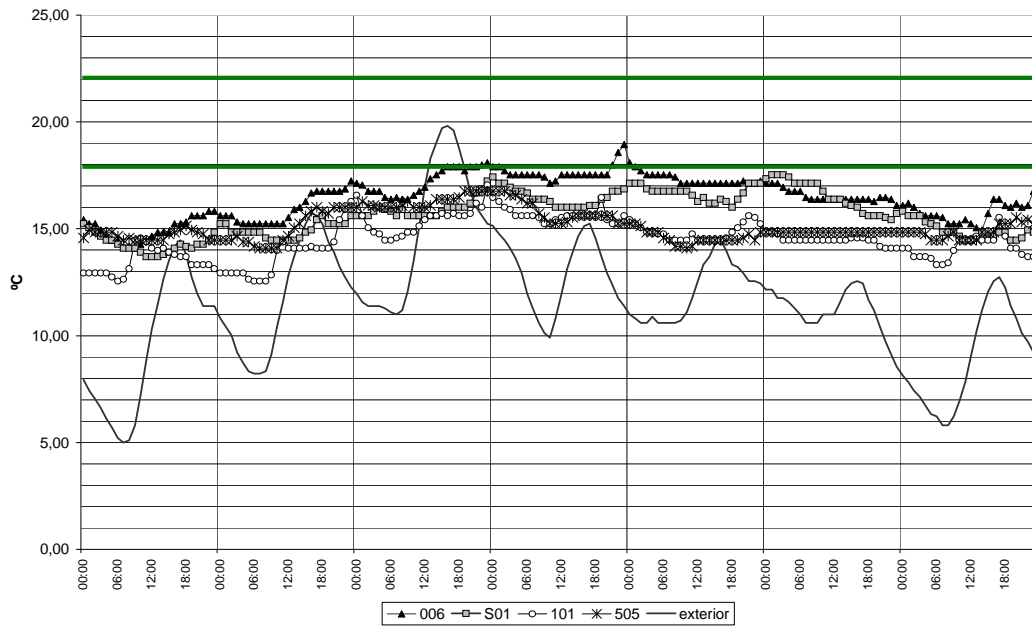


Fig. III.24. Temperatura registradas en el monitoreo de los dormitorios, período frío en Salto.

#### Salto período caluroso

Para el período caluroso se toma como referencia la semana del 4 al 10 de enero de 2007, que presenta fluctuaciones con temperaturas parecidas, lo que determina una menor variabilidad de los datos (ver fig. III.25). La temperatura máxima exterior registrada es de 35.8°C, con una amplitud media de 11°C, y una media del período de 27.9°C. Para poder extraer conclusiones de datos de los registros interiores se debe considerar que en los apartamentos 101; 505 y 006 (sólo en dormitorio) se utilizan equipos de aire acondicionado de forma intermitente. La temperatura interior máxima registrada es de 31.9°C tanto en los estares como en los dormitorios y una temperatura mínima de 25.2°C (ver fig. III.25 y fig. III.26). Esto representa una temperatura promedio de 28.8°C y una amplitud media de 4.2°C.

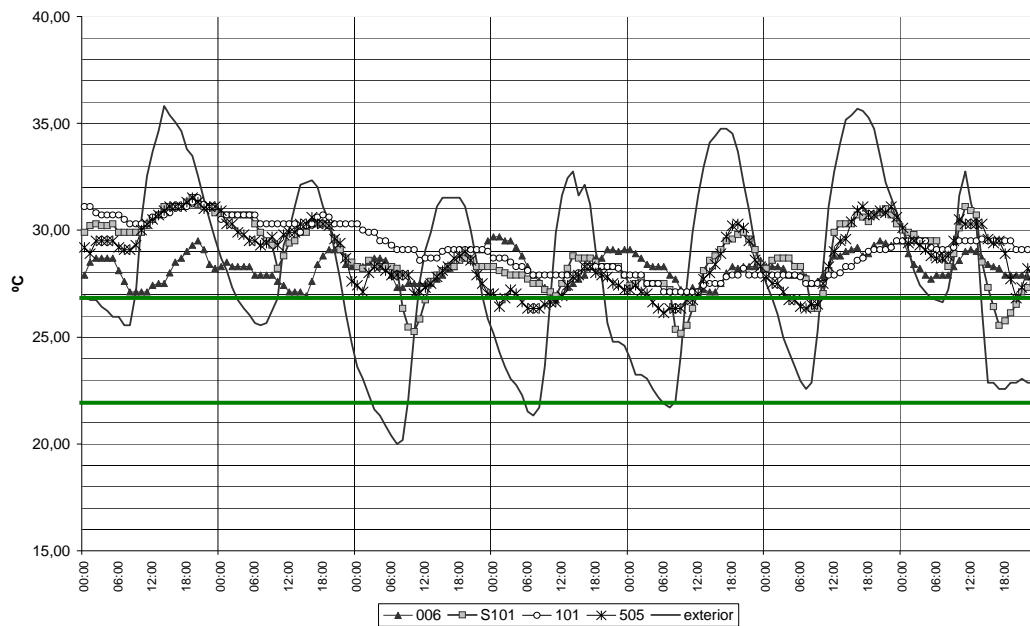


Fig. III.25. Temperatura registradas en el monitoreo de los estares, período caluroso en Salto.

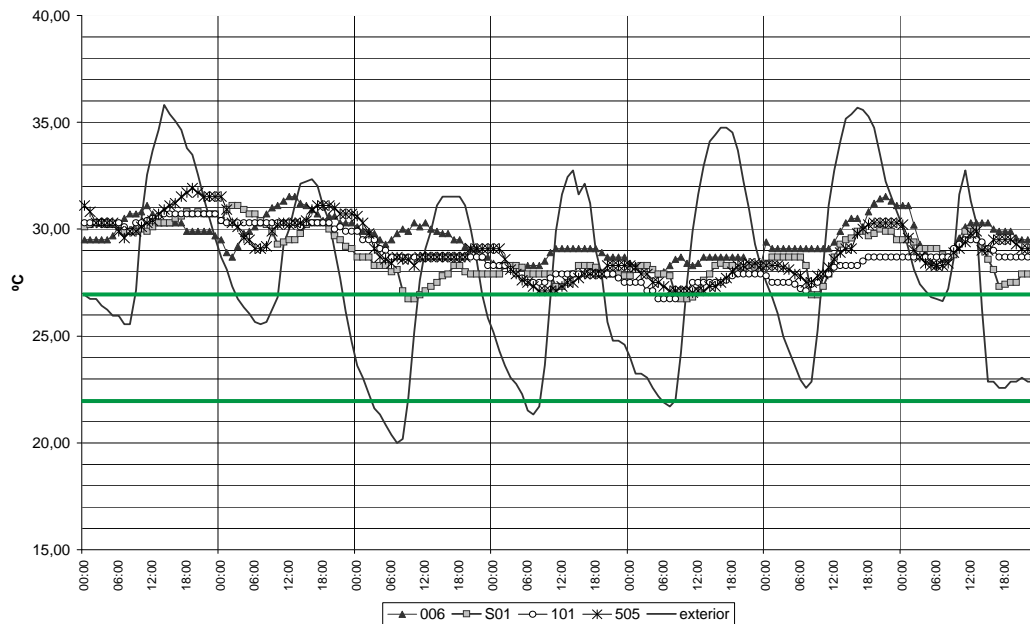


Fig. III.26. Temperaturas registradas en el monitoreo de los dormitorios, período caluroso en Salto.

### 3.4.3 Consumo de energía eléctrica para el período caluroso y el período frío

En las encuestas de confort térmico realizadas en ambas ciudades se consulta a los usuarios sobre el consumo de energía eléctrica para un mes del período caluroso (febrero). Para ambas ciudades el consumo promedio es 176 Kwh, registrándose el mayor consumo en la ciudad de Salto correspondiendo a 350 Kwh.

Análogamente se consulta a los usuarios sobre el consumo de energía eléctrica para un mes del período frío (julio). Para la ciudad de Montevideo el consumo promedio es de 276 Kwh mientras que para Salto es de 312 Kwh o sea 1.13 veces superior al consumo de Montevideo.

### 3.4.4 Evaluación de las encuestas de confort y uso de las viviendas

Estas encuestas se realizan en todos los apartamentos cada vez que se colocan los registradores autónomos de datos. Se diseña una encuesta especial para cada período (ver Anexo 1) que se divide en tres partes: una referida a las características de los usuarios (edad, complexión física, enfermedades que padece, nivel educativo alcanzado y satisfacción con la vivienda); otra que refiere a las pautas de uso de las viviendas (cantidad de horas de permanencia en el hogar, cantidad de horas en que ventila naturalmente los espacios; uso de protecciones solares; uso de sistemas complementario y consumo de energía eléctrica) y por último se evalúa la percepción de confort térmico y lumínico en los espacios. Paralelamente se releva las características físicas de las viviendas evaluando la presencia de posibles patologías (permeabilidad de los cerramientos al agua de lluvia, presencia de hongos en los diversos cerramientos; fisuras, carbonatación o la fluorescencia) así como las características de los cerramientos vidriados (tipo y color de protecciones solares; presencia de felpillas y burletes, etc). A continuación sólo se exponen los resultados más significativos para evaluar las posibles pautas de diseño arquitectónico.

#### *Satisfacción con la vivienda*

Todos los encuestados en Salto están muy o bastante satisfechos con su vivienda y si bien en Montevideo sucede lo mismo los porcentajes descienden a un 75% de los usuarios.



La insatisfacción se relaciona con la presencia de patologías (condensaciones superficiales en muros al exterior). Los espacios mejor valorados son los estares y los dormitorios, aunque el estar aventaja en porcentaje. Se elige este espacio porque es asoleado y espacioso.

### Permanencia en las viviendas

Las horas promedio de permanencia de las personas en el hogar es de 9hs en Salto y de 12 hs en Montevideo.

### Percepción del confort térmico por parte de los usuarios: Montevideo

En Montevideo las encuestas muestran mayor confort (porcentaje de respuestas 'ni frío ni calor') en el período frío que en el caluroso (ver fig. III.27). Esto se puede explicar en una mayor tolerancia de los usuarios a las temperaturas del período frío y de menor tolerancia a las temperaturas altas (estrés térmico) y su relación con la adaptación a las condiciones climáticas dadas que tienen los usuarios de edificios no acondicionados permanentemente [las temperaturas exteriores se encuentran por debajo y más alejadas de las condiciones de confort térmico en el período frío que en el caluroso] (ver fig. III.19 a III. 26).

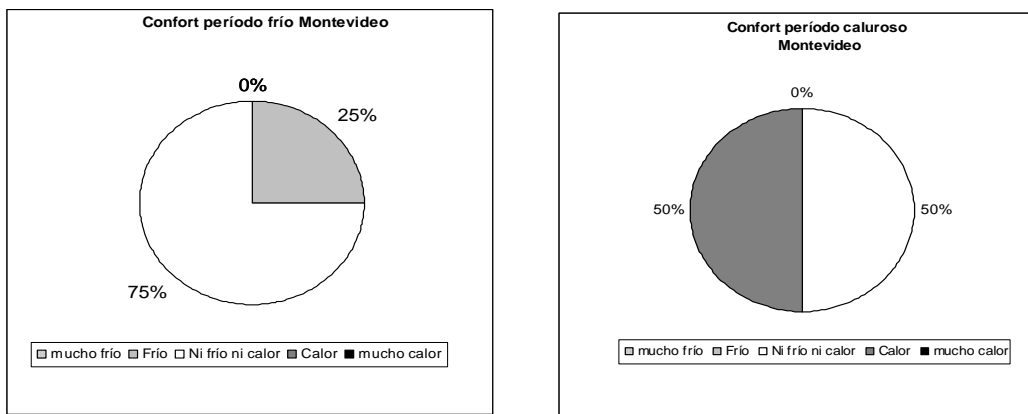


Fig. III.27. Porcentaje de respuestas sobre confort en período frío y caluroso, Montevideo.

### Percepción del confort térmico por parte de los usuarios: Salto

En las encuestas se observa cómo la percepción del confort se adapta a las condiciones exteriores, tal como se explicó en el párrafo anterior. Siendo las temperaturas exteriores superiores en Salto que en Montevideo, todos los usuarios toleran mejor las altas temperaturas y por lo tanto manifiestan sentirse en confort térmico en el período caluroso. Los usuarios muestran así una alta adaptación a las condiciones ambientales del espacio.

Por el contrario en las encuestas del período frío, un 50 % de los usuarios percibe sensación de confort a pesar de que las temperaturas exteriores no son mayores que en Montevideo. A su vez es difícil establecer la percepción de neutralidad térmica cuando un 25% responde estar con sensación de frío y el mismo porcentaje con sensación de calor (ver fig. III.28).

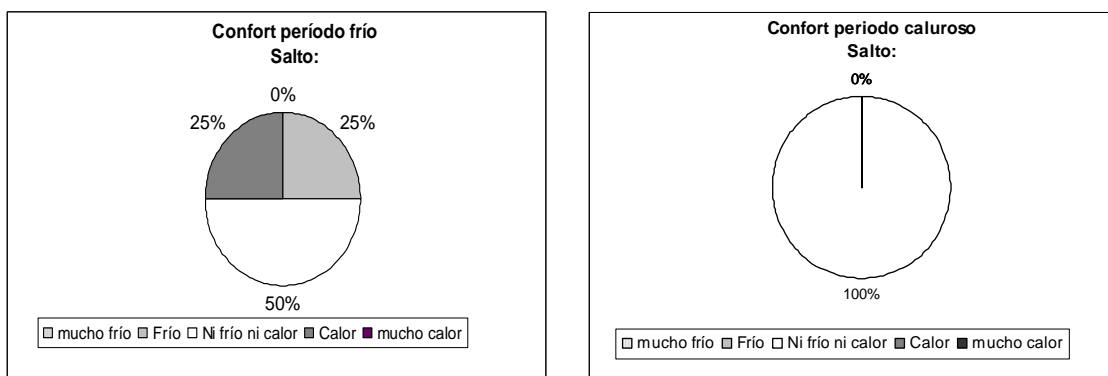


Fig. III.28. Porcentaje de encuestas de confort período frío y caluroso en Salto



### ***Disconfort visual y térmico con los espacios***

La percepción de confort de un espacio se desarrolla en profundidad para todos los espacios de las viviendas. En Salto el 50% de los usuarios percibe disconfort visual tanto en el período frío como en el caluroso, en alguno de los espacios. También el 50% de los mismos percibe ambientes calientes en verano y fríos en invierno.

En Montevideo el 50% percibe al dormitorio como un espacio “frío” en invierno y al estar –comedor como “caliente” en verano.

En el 75% de los casos en Montevideo perciben a la vivienda en general como ni fría ni caliente tanto en verano como en invierno. En Salto existe una mayor percepción de confort en verano que en invierno (75% y 50% respectivamente).

### ***Uso de protecciones solares***

Los espacios de dormitorios y estares poseen protecciones solares en todos los casos, algunos han sido colocadas en la etapa de construcción y otras han sido colocadas luego por los usuarios. El horario de uso de las protecciones solares es de 8 a 16 hs en promedio en las viviendas durante todo el año (cortinas bajas).

### ***Uso de la ventilación natural***

Evaluar la acción de ventilar un espacio interior es complejo. La misma no es sólo una acción refleja ni tampoco sólo un acto pensante, la mayoría de las veces está relacionada con la percepción sensorial del confort. La gente actúa según lo que considera “correcto”, dentro de un marco de restricciones sociales, condicionantes psicológicas (edad, sexo y salud) y de su propio bagaje cultural. Se trata de confrontar los requerimientos teóricos necesarios para alcanzar los mínimos necesarios y las acciones que realmente realizan los usuarios de esa edad (Yarke, at, 2007). En invierno tanto en Salto como en Montevideo se ventilan los espacios menos de dos horas al día.

En cambio en verano lo hacen por más de 6 horas, incluso en un 25% de los casos lo hace durante todo el día y sólo en uno de los casos el usuario evalúa la ventilación natural en función de las temperaturas exteriores.

### ***Uso de sistemas complementarios***

Como se expuso anteriormente, en Montevideo se releva la presencia de calefactores a supergas en el caso de los apartamentos 801; 606; 903 (dormitorio) y en verano todos los apartamentos cuentan con ventiladores. En Salto para el período frío y el caluroso se debe considerar que en los apartamentos 101; 505 y 006 (sólo en dormitorio) hay presencia de equipos de aire acondicionado split individual.

## **3.5. Aplicación de los programas de simulación**

Para evaluar el comportamiento térmico y energético de los edificios existen básicamente dos métodos: el monitoreo de los parámetros ambientales y la simulación térmica (ver fig. III. 29). El primero de los métodos sólo es posible de ser utilizado en construcciones existentes, pero cuando se quiere evaluar rápidamente distintas opciones de diseño el método más adecuado es la simulación computacional. Desde hace varios años la simulación paramétrica computarizada como herramienta de evaluación de desempeño viene a auxiliar a investigadores y proyectistas en el área del diseño arquitectónico. Los programas de computación basados en modelos simples se limitan a automatizar los cálculos tradicionales, lo cual sin duda constituye una ayuda apreciable al diseñador. Sin embargo para realizar un diagnóstico de consumos de energía derivados del funcionamiento del edificio desde el punto de vista térmico, la optimización de las instalaciones, o el ajuste riguroso de las construcciones en fase de diseño se necesita de programas basados en modelos complejos.

Para evaluar el desempeño térmico energético de una edificación las herramientas de simulación consideran los siguientes parámetros físicos:

- Condiciones climáticas exteriores e interiores
- Forma y orientación del edificio
- Sombras del propio edificio o de edificios colindantes
- Composición de cerramientos



- Inercia térmica del edificio
- Elementos de protección solar
- Ganancias de radiación solar
- Infiltraciones
- Ventilación natural o artificial
- Cargas térmicas interiores: iluminación, ocupación y equipos
- Características de radiación y convección

Los modelos simples requieren menor número de variables de entrada, por lo que la posibilidad de error en la entrada de datos se reduce. Esta situación hace que los resultados que se devuelven sean menos precisos. Los modelos complejos en régimen dinámico permiten el estudio de edificios con varias zonas térmicas y en contra partida requiere de usuarios preparados para ingresar los datos y para su interpretación.

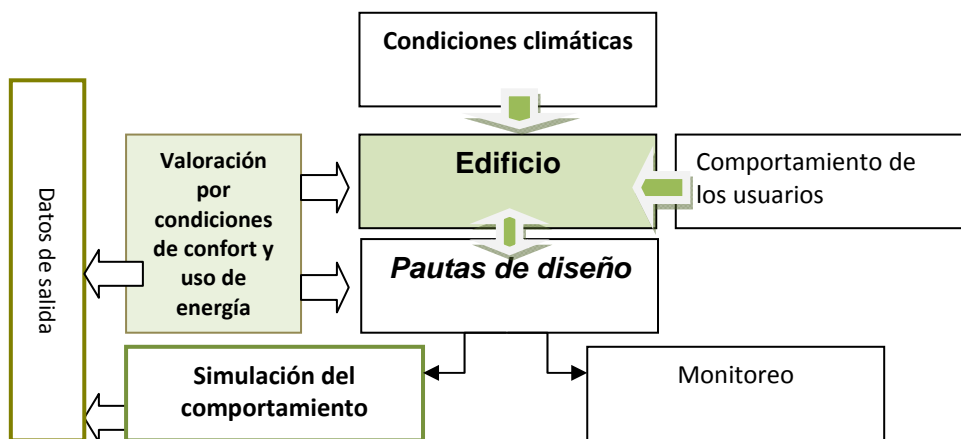


Fig. III.29. Esquema de evaluación de pautas de diseño

### 3.5.1. Programas estudiados: SIMEDIF y ENERGY PLUS

En base a anteriores estudios desarrollados por este equipo de investigación (Picción y Chauvie, 2003) (Picción, et al 2004), se eligen estos dos programas de simulación dinámica compleja debido a que sus resultados correlacionaron mejor con el comportamiento de los parámetros ambientales monitoreados. Además estos programas están disponibles en el Departamento, y a partir de este proyecto se ha capacitado a todo el personal en el uso de ambos programas. Esta tarea insumió mucho tiempo, y gran cantidad de simulaciones para obtener datos de calidad.

Energy Plus es un programa de simulación energética de calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación y otros flujos energéticos en edificios. Está basado en la características y capacidades de BLAST and DOE-2, incluye capacidades de simulación muy innovadoras tales como simulación con espacio de tiempo menor a una hora, sistemas modulares y plantas integradas con balance basados en zonas, flujos de aire multizona, confort térmico y sistemas fotovoltaicos (Bueno et al, 2006). Está basado en ecuaciones de balance energético, de equilibrio de masa y calor.

Simedif es un programa de simulación de edificios que fue desarrollado en el Instituto de Investigación en energía No Convencional, INENCO, y es una herramienta de diseño y evaluación térmica de edificios, (Flores Larsen S. y Lesino G. 2001). En entorno Windows es un programa para el diseño y simulación del comportamiento térmico transitorio de edificios con acondicionamiento natural y calefacción.

### 3.5.2. Protocolo de simulación (modificaciones de la base climática)

Debido a que los programas elegidos en el proyecto requieren de usuarios bien entrenados, previamente se realiza la prueba del Best Test: ASHRAE 140-2001 a los efectos de practicar en el manejo de los modelos a ingresar.



Se contrastan los datos de las simulaciones obtenidos por el equipo investigador con los resultados que presenta el Best Test en cada uno de los casos. Luego de un proceso de ajuste, los resultados de las simulaciones resultan iguales a los que se exponen en el Estandar ASHRAE 140-2001. Este test permite comparar los resultados del Energy Plus y permite evaluar la habilidad de los usuarios. Una vez terminada esta etapa se definen los modelos a utilizar en la etapa de simulación computacional (ver 3.5.3).

#### *Análisis de la base climática de Montevideo.*

A partir de las primeras simulaciones se detectan algunos errores y se analizan las causas. Una posible es la base de datos climática que se está utilizando. Se compara la base climática de Montevideo con la base de Argentina, especialmente para verificar datos de irradiación solar. Se solicitan datos de nubosidad a la Dirección de Meteorología y se calculan los datos de radiación.

Con el asesoramiento del experto asesor del proyecto Roberto Lamberts, se comparan distintos datos disponibles de radiación solar en la región y se concluye que los datos del programa Energy Plus son los que mejor responden a las características climáticas del país.

El archivo climático para la ciudad de Montevideo está disponible en la página Web del Energy Plus [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data2.cfm/region=3\\_south\\_america\\_wmo\\_region\\_3](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data2.cfm/region=3_south_america_wmo_region_3). Estos datos fueron procesados por el Departamento de Energía de los Estados Unidos a partir de los datos climáticos suministrados por la Dirección de Meteorología de Uruguay. La base de datos climáticos de la ciudad de Salto se solicitó directamente a los programadores del software (DEA-USA).

#### *Análisis de los modelos*

Como segunda etapa se ajustan los modelos a la realidad de uso de los apartamentos; se verifica que el ajuste de infiltraciones y de uso de protecciones solares en el modelo permite correlacionar los datos monitoreados y los simulados (ver 3.5.4).

#### **3.5.3. Definición de los modelos para la simulación**

En Westphal y Lamberts (2005) se destaca la complejidad de los fenómenos involucrados en el comportamiento térmico de edificios lo que implica la entrada de una gran cantidad de datos en las simulaciones y esto requiere a su vez de usuarios con conocimientos multidisciplinarios. Las principales dificultades en el modelado de las simulaciones ocurren en la definición de los patrones de uso y las renovaciones de aire de la edificación, lo que ha provocado su desconsideración en muchas simulaciones. La inclusión de esos factores es de gran importancia, principalmente tratándose de edificaciones residenciales, pues ellos ejercen gran influencia sobre los intercambios de calor del edificio. Para la definición de un modelo computacional confiable, que represente bien el comportamiento térmico y energético de un determinado edificio analizado, es esencial que ese modelo sea correctamente calibrado (Westphal; Lamberts, 2005). Para eso, una de las opciones es comparar datos obtenidos por simulación con datos de mediciones en el edificio.

Uno de los pilares de la metodología desarrollada se basa en definir modelos que respondan a las características reales constructivas y de uso del universo en estudio. Esta definición se realiza a partir de la sistematización de los criterios energéticos relevados, la que permite determinar dos prototipos de vivienda (apartamentos) para la simulación posterior. Los patrones de uso de las viviendas se recolectaron a través de encuestas de confort y de uso de las viviendas.

Los modelos construidos presentan modificaciones respecto a las tipologías reales a los efectos de simplificar los procesos de evaluación del comportamiento térmico de las viviendas, especialmente tomando en cuenta las potencialidades y limitaciones de los programas computacionales utilizados para la simulación. Se ha verificado la utilidad de la elaboración de modelos para el análisis teórico-práctico de una gran cantidad de conjuntos habitacionales, ya que permite sacar conclusiones preliminares posibles de ser extrapolables con restricciones. También su utilización permite cambiar pautas de diseño en forma rápida y evaluar su impacto sobre el consumo de energía.





Como ya se menciona, dentro de la muestra el tipo edificatorio que más se repite es el bloque donde predomina la altura sobre las otras dimensiones y le sigue el torre-tira. Del análisis de las tipologías se toman dos modelos que se repiten dentro de los tipos edificatorios: apartamento mono-orientado (o simplemente orientado) y apartamento doblemente orientado. El simplemente orientado expone solo un plano con aberturas al exterior, mientras que el doblemente orientado tiene por lo menos dos planos con aberturas expuestas al exterior (ver fig. III.30 y III.31). Ambos modelos presentan características semejantes a las viviendas monitoreadas, tanto en lo que concierne a la volumetría y orientación solar, cuanto a los materiales, componentes, aberturas y patrones de uso de la misma.

**Modelos Energy Plus**

Para la simulación de edificaciones en el programa computacional EnergyPlus es necesaria la definición de zonas térmicas del modelo. Así, el modelo se ubica en un piso intermedio y consta de 6 zonas térmicas donde cada una representa los siguientes ambientes: cocina, baño, estar, pasillo, dormitorio principal y dormitorio secundario. Posteriormente se tomarán algunos de los parámetros por separado y se analizará su impacto en el comportamiento higrotérmico de las viviendas.

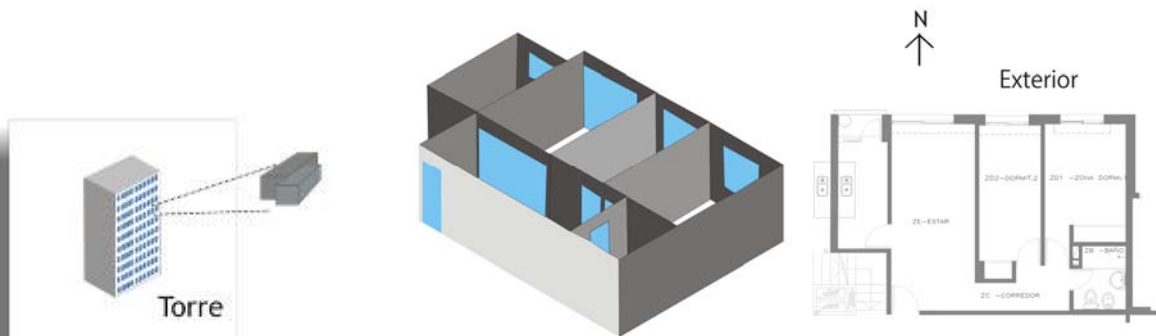


Fig. III.30. Modelo simplemente orientado y planta tipo de la tipología real

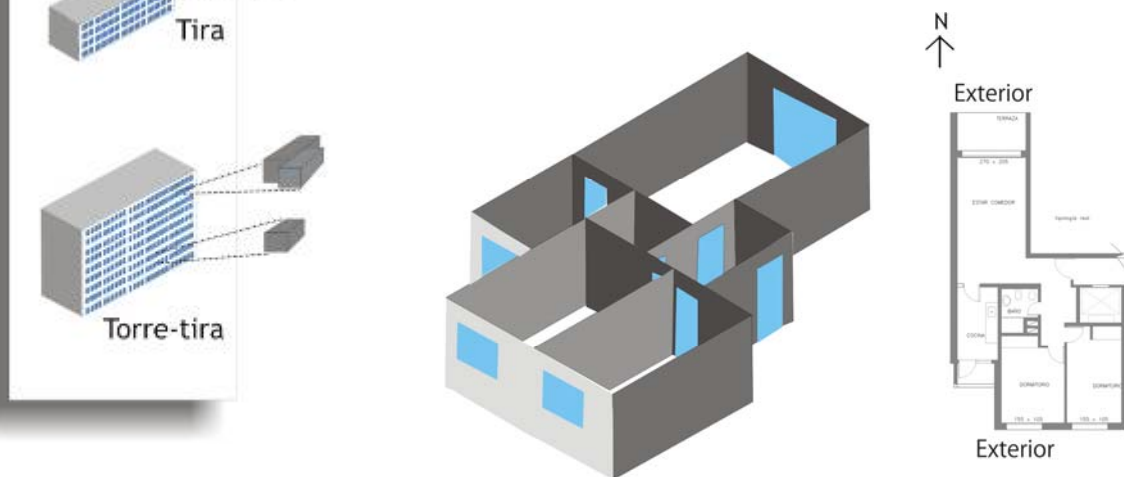


Fig. III.31. Modelo doblemente orientado y planta tipo de la tipología real



Se cuenta con el monitoreo de las viviendas para contrastar el comportamiento del modelo con la realidad. Luego de los ajustes ya comentados, los resultados de monitoreo y de simulaciones presentan similitudes, exhibiendo temperaturas estables.

En el programa Energy Plus se simula todo el año para garantizar que sus resultados consideren la influencia de las variaciones climáticas sobre la edificación. Las propiedades térmicas de la mayor parte de los materiales usados, tales como conductividad térmica, densidad, calor específico, absorción para radiación solar y resistencia térmica, se obtienen de bases de datos disponibles en el DECCA, que fueron extraídos de normas internacionales. Estos datos son presentados en la fig. III.32 a la fig. III.34.

**Materiales utilizados:**

**a. En Paredes**

**a.1. Muro interior**

Materiales que lo componen:	espesor	Conductividad	densidad	calor específico	Absorcion térmica	Absorcion solar	Absorcion visible	Resistencia térmica
	(m)	(W/m·K)	(kg/m <sup>3</sup> )	(J/kg·K)				(m <sup>2</sup> ·K/W)
revoque interior	0,02	1,1	1800	1000	0,9	0,6	0,6	-
lcholo	0,12				0,9	0,64	0,64	0,28
revoque interior	0,02	1,1	1800	1000	0,9	0,6	0,6	-

**a.2. Muro separativo interior**

Materiales que lo componen:	espesor	Conductividad	densidad	calor específico	Absorcion térmica	Absorcion solar	Absorcion visible	Resistencia térmica
	(m)	(W/m·K)	(kg/m <sup>3</sup> )	(J/kg·K)				(m <sup>2</sup> ·K/W)
revoque interior	0,02	1,1	1800	1000	0,9	0,6	0,6	-
lcholo	0,17				0,9	0,64	0,64	0,34
revoque interior	0,02	1,1	1800	1000	0,9	0,6	0,6	-

**a.3. Muro exterior**

Materiales que lo componen:	espesor	Conductividad	densidad	calor específico	Absorcion térmica	Absorcion solar	Absorcion visible	Resistencia térmica
	(m)	(W/m·K)	(kg/m <sup>3</sup> )	(J/kg·K)				(m <sup>2</sup> ·K/W)
ladrillo de campo	0,12	0,79	1800	920	0,9	0,64	0,64	-
revoque exterior	0,01	1,4	2100	1000	0,9	0,6	0,6	-
goteo sin expansi6n	0,02				0,9	0,7	0,7	0,57
Cámara de aire	0,01							0,16
lcholo	0,12				0,9	0,64	0,64	0,28
revoque interior	0,02	1,1	1800	1000	0,9	0,6	0,6	-

Fig. III.32. Características de los materiales

**b. En Pisos**

**b.1. Piso de cerámico**

Materiales que lo componen:	espesor	Conductividad	densidad	calor específico	Absorcion térmica	Absorcion solar	Absorcion visible	Resistencia térmica
	(m)	(W/m·K)	(kg/m <sup>3</sup> )	(J/kg·K)				(m <sup>2</sup> ·K/W)
losa piso superior	0,12	1,74	2200	1000	0,9	0,6	0,6	-
piso cerámico	0,02	1,05	2000	920	0,9	0,64	0,64	-
mortero de la masa cerámico	0,01	1,4	2100	1000	0,9	0,6	0,6	-
relleno de gres	0,05	1,1	1800	1000	0,9	0,6	0,6	-
losa piso inferior	0,12	1,74	2200	1000	0,9	0,6	0,6	-
revoque interior piso inferior	0,02	1,1	1800	1000	0,9	0,6	0,6	-

**b.1. Piso de parquet**

Materiales que lo componen:	espesor	Conductividad	densidad	calor específico	Absorcion térmica	Absorcion solar	Absorcion visible	Resistencia térmica
	(m)	(W/m·K)	(kg/m <sup>3</sup> )	(J/kg·K)				(m <sup>2</sup> ·K/W)
losa piso superior	0,12	1,74	2200	1000	0,9	0,6	0,6	-
piso parquet	0,02	0,11	400	1240	0,9	0,6	0,6	-
mortero de la masa parquet	0,01	1,4	2100	1000	0,9	0,6	0,6	-
relleno de gres	0,05	1,1	1800	1000	0,9	0,6	0,6	-
losa piso inferior	0,12	1,74	2200	1000	0,9	0,6	0,6	-
revoque interior piso inferior	0,02	1,1	1800	1000	0,9	0,6	0,6	-

Fig. III.33. Características de los materiales



Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo

Departamento de Clima y Confort en Arquitectura – Instituto de la Construcción  
Facultad de Arquitectura UDELAR  
Proyecto de Investigación financiado por el PDT – DICyT – MEC. 2006 / 2008.

C. Cerramientos vidriados

Material	espesor (m)	transmitancia solar con incidencia normal	Reflectancia solar	reflectancia con incidencia normal -cara frontal	reflectancia con incidencia normal -cara posterior	trans. Visible con incidencia normal -cara frontal	reflec. Visible con incidencia normal -cara frontal	reflec. Visible con incidencia normal -cara posterior	IR Trans. A incidencia normal	IR hemia emisividad -cara frontal	IR hemia emisividad -cara posterior	Conductividad	distancia de la sombra al vidrio
vidrio simple	0,003	0,837		0,075	0,075	0,898	0,081	0,081	0	0,84	0,84	0,9	
cortina de enrollar	0,003	0,05	0,5				0,8			0,8		0,1	0,05

d. Otros cerramientos

Material	espesor (m)	Conductividad (W/m-K)	densidad (kg/m <sup>3</sup> )	calor específico (J/kg-K)	Absorbancia térmica	Absorbancia solar	Absorbancia visible	Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K/W)
hoja de madera de puerta	0,05	0,11	400	1340	0,9	0,8	0,8	-

Fig. III.34. Características de los materiales

Las ganancias internas se adecuan al comportamiento y cantidad de usuarios. Los horarios en que los habitantes encienden y apagan los aparatos se sistematizan en una tabla - Schedule- y se diseñan de acuerdo a las encuestas efectuadas. Se encuesta a los usuarios en el espacio a evaluar, por lo que las pautas de uso se pueden verificar in situ.

Parámetros de uso

Cargas internas invierno

horas	Estar		Dormitorio principal		Dormitorio secundario	
	Lunes a viernes	Sábado y Domingo	Lunes a viernes	Sábado y Domingo	Lunes a viernes	Sábado y Domingo
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-
18	Luz + Pc+ TV= 400 W	Luz + TV= 200 W	-	-	-	-
19	Luz + Pc+ TV= 400 W	Luz + TV= 200 W	-	-	-	-
20	Luz + Pc+ TV= 400 W	Luz + TV= 200 W	-	-	-	-
21	Luz + TV= 280 W	Luz + TV= 200 W	-	-	-	-
22	Luz + TV= 280 W	Luz + TV= 200 W	-	-	-	-
23	-	-	Luz= 60 W	Luz= 60 W	Luz= 60 W	Luz= 60 W
24	-	-	Luz= 60 W	Luz= 60 W	Luz= 60 W	Luz= 60 W

Fig. III.35. Horario de las cargas internas para los modelos, período frío.

Para el período de simulación considerado y de acuerdo a las encuestas se toman 4 personas viviendo en el apartamento. Los horarios de permanencia de los mismos son variables (ver fig III.37). En todas las simulaciones se consideran ganancias por iluminación, encendido y uso de televisor y computadora en la zona del estar y/o dormitorios (ver fig. III 35 y 36). En la cocina no se colocan cargas internas. Se adopta el valor de 0.5 para la fracción radiante de ganancia de calor por los equipos.

Se diseñan horarios distintos para los días laborales y fines de semana. Las cargas internas también varían según sea invierno o verano, ver tablas con datos fig III.35 y III.36.

Como parámetro de ajuste se toman las infiltraciones de aire (ver 3.5.4.); se considera una infiltración permanente de 3Rph durante todo el año para todas las zonas.

La protección exterior tipo cortina de enrollar corresponde al modelo "Shade" de PVC blanco. Las cortinas permanecen cerradas en el período caluroso entre las 23.00 y las 14.00 hs, mientras que en el período frío permanecen cerradas entre las 23.00 y las 10.00 hs.



Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo

Departamento de Clima y Confort en Arquitectura – Instituto de la Construcción  
Facultad de Arquitectura UDELAR  
Proyecto de Investigación financiado por el PDT – DICyT – MEC. 2006 / 2008.

### Parámetros de uso

Cargas internas verano

horas	Estar		Dormitorio principal		Dormitorio secundario	
	Lunes a viernes	Sábado y Domingo	Lunes a viernes	Sábado y Domingo	Lunes a viernes	Sábado y Domingo
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-
18	Luz + TV= 280 W	Luz + TV= 200 W	-	-	-	-
19	Luz + TV= 280 W	Luz + TV= 200 W	-	-	-	-
20	Luz + Pc+ TV= 400 W	Luz + TV= 200 W	-	-	-	-
21	Luz + TV= 280 W	Luz + TV= 200 W	-	-	-	-
22	Luz + TV= 280 W	Luz + TV= 200 W	-	-	-	-
23	-	-	Luz= 60 W	Luz= 60 W	Luz= 60 W	Luz= 60 W
24	-	-	Luz= 60 W	Luz= 60 W	Luz= 60 W	Luz= 60 W

Fig. III.36. Horario de las cargas internas para los modelos, período caluroso.

### Parámetros de uso

horas	Estar		Dormitorio principal		Dormitorio secundario	
	Lunes a viernes	Sábado y Domingo	Lunes a viernes	Sábado y Domingo	Lunes a viernes	Sábado y Domingo
1	-	-	2 personas	2 personas	2 personas	2 personas
2	-	-	2 personas	2 personas	2 personas	2 personas
3	-	-	2 personas	2 personas	2 personas	2 personas
4	-	-	2 personas	2 personas	2 personas	2 personas
5	-	-	2 personas	2 personas	2 personas	2 personas
6	-	-	2 personas	2 personas	2 personas	2 personas
7	2 personas	4 personas	-	2 personas	2 personas	2 personas
8	2 personas	4 personas	-	2 personas	2 personas	2 personas
9	2 personas	4 personas	-	2 personas	2 personas	2 personas
10	2 personas	4 personas	-	2 personas	2 personas	2 personas
11	2 personas	4 personas	-	-	-	-
12	2 personas	4 personas	-	-	-	-
13	2 personas	4 personas	-	-	-	-
14	2 personas	4 personas	-	-	-	-
15	2 personas	4 personas	-	-	-	-
16	2 personas	4 personas	-	-	1 persona	-
17	2 personas	4 personas	-	-	1 persona	-
18	2 personas	4 personas	-	-	1 persona	-
19	2 personas	4 personas	-	-	1 persona	-
20	2 personas	4 personas	-	-	1 persona	-
21	4 personas	4 personas	-	-	-	-
22	4 personas	4 personas	-	-	-	-
23	-	-	2 personas	2 personas	2 personas	2 personas
24	-	-	2 personas	2 personas	2 personas	2 personas

Nota: Cada persona genera 110W

Fig. III.37. Horarios de permanencia de las personas en las viviendas.

### Modelos Simedif

Para las simulaciones realizadas con el programa Simedif se toman tres zonas térmicas para el modelo doblemente orientado y las mismas cargas internas. Esta decisión permite que el programa simule más rápidamente y sea menor la entrada de datos.



Para el programa Simedif se simula con enero como mes representativo del período caluroso y julio del período frío. Se realizan las conversiones necesarias para que la base climática sea igual a la del Energy Plus.

Se realizan varias consultas a los programadores del Simedif pero los resultados de las simulaciones de los modelos (andamio de la temperatura interior) finalmente no correlacionan adecuadamente a los resultados reales de monitoreo para el período frío. La calibración del modelo Simedif en el período caluroso dio buenos resultados. Además este software está efectuando sus primeros avances en suministrar datos de consumo de energía y por esta razón es dificultosa la tarea de determinar consumos. Debido a los inconvenientes descriptos se deja de lado este software para evaluar las modificaciones de diseño.

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

A los efectos de ajustar el andamio de la temperatura interior en los modelos respecto al monitoreo, se toma la ventilación como variable de ajuste. Este parámetro se ajusta en dos formas: como tasa de infiltración de aire permanente y como tasa de ventilación de natural de verano (ver fig.III.38).

La infiltración de aire es definida en el programa EnergyPlus en base a una tasa de flujo dada en m<sup>3</sup>/s, pudiendo variar en cada zona de la simulación. Por la dificultad que caracteriza a este parámetro, se adopta posteriormente una tasa fija de infiltración de 3 RpH. Además se seleccionan dos semanas que presentan un comportamiento similar de las temperaturas exteriores entre el monitoreo y la simulación. Se comparan para estas semanas los datos obtenidos por monitoreo y simulación de temperatura media (tm), temperatura máxima absoluta (tx), temperatura mínima absoluta (Tn), temperatura máxima media (txm), temperatura mínima media (tnm), y a partir de esto se calculan las diferencias encontradas. En lo que refiere a temperaturas medias, las diferencias fueron menores a los 1.5°C, que según la clasificación de predicción da una correlación aceptable (Lomas y Eppel, 1997).

#### Cuadro resumen de estrategias realizadas en modelo doblemente orientado - E S T A R

	Período caluroso simulado				Período frío simulado			
	Tx feb	Tn feb	Tm feb	Am	Tx julio	Tn julio	Tm julio	Am
Opción 1: sin ventilación de verano ni protecciones	38,3	29,0	<b>33,2</b>	9,3	33,8	20,6	<b>26,5</b>	13,2
Opción 2: con ventilación, delta 5 a partir 18°C y sin protecciones	32,7	17,9	<b>26,2</b>	14,8	23,2	14,0	17,6	9,2
Opción 3: con ventilación de inv y verano y con protec.	32,1	19,0	<b>27,4</b>	13,1	25,3	15,9	19,6	9,4
Opción 4: sin ventilación de verano ni protecciones, rph=2	33,2	22,5	<b>27,5</b>	10,7	32,6	7,8	20,3	24,8
Opción 5: con ventilación delta 5 apartir de 19°C y protecc	31,0	18,4	<b>25,6</b>	12,5	23,5	14,5	18,1	9,0
Opción 6: con ventilación delta 5 apartir de 20°C y protecc	31,0	19,3	<b>25,7</b>	11,7	23,7	14,7	18,6	9,1
opción 7: con ventilación delta 5 apartir de 18°C - referente	31,7	17,8	<b>25,8</b>	13,9	24,8	16,5	19,0	8,3
<b>opción 8: con infiltraciones permanentes de 3 RP</b>	<b>28,9</b>	<b>17,7</b>	<b>25,0</b>	<b>11,2</b>	<b>29,5</b>	<b>13,4</b>	<b>19,5</b>	<b>16,1</b>

#### Cuadro resumen de estrategias realizadas en modelo doblemente orientado - E S T A R

	Período caluroso monitoreo				Período frío monitoreo			
	Tx feb	Tn feb	Tm feb	Am	Tx julio	Tn julio	Tm julio	Am
Opción 1: sin ventilación de verano ni protecciones	29,5	21,0	<b>27,0</b>	8,5	21,0	14,0	<b>17,0</b>	7,0
Opción 2: con ventilación, delta 5 a partir 18°C y sin protecciones	29,5	21,0	<b>27,0</b>	8,5	21,0	14,0	<b>17,0</b>	7,0
Opción 3: con ventilación de inv y verano y con protec.	29,5	21,0	<b>27,0</b>	8,5	21,0	14,0	<b>17,0</b>	7,0
Opción 4: sin ventilación de verano ni protecciones, rph=2	29,5	21,0	<b>27,0</b>	8,5	21,0	14,0	<b>17,0</b>	7,0
Opción 5: con ventilación delta 5 apartir de 19°C y protecc	29,5	21,0	<b>27,0</b>	8,5	21,0	14,0	<b>17,0</b>	7,0
Opción 6: con ventilación delta 5 apartir de 20°C y protecc	29,5	21,0	<b>27,0</b>	8,5	21,0	14,0	<b>17,0</b>	7,0
opción 7: con ventilación delta 5 apartir de 18°C - referente	29,5	21,0	<b>27,0</b>	8,5	21,0	14,0	<b>17,0</b>	7,0
<b>opción 8: con infiltraciones permanentes de 3 RP</b>	<b>29,5</b>	<b>21,0</b>	<b>27,0</b>	<b>8,5</b>	<b>21,0</b>	<b>14,0</b>	<b>17,0</b>	<b>7,0</b>

Fig.III.38. Cuadro comparativo entre simulación y monitoreo para distintas opciones



T estar - Unilateral - Febrero

Energy Plus - 3RpH				Monitoreo			
	Tx °C	Tn °C	A		Tx °C	Tn °C	A
dia1	27	24,6	2,4	dia1	27,9	25,3	2,6
dia2	26	20,2	5,8	dia2	27,9	27,5	0,4
dia3	28,2	18,2	10	dia3	27,9	25,3	2,6
dia4	29,3	21	8,3	dia4	26,7	25,2	1,5
dia5	30,5	24,9	5,6	dia5	26,9	25,2	1,7
dia6	27,9	25,1	2,8	dia6	27,1	25,2	1,9
dia7	27,9	24	3,9	dia7	26,4	25,2	1,2
dia8	29,5	24,8	4,7	dia8	28,2	26,3	1,9
dia9	29,5	24,9	4,6	dia9	28,3	26,7	1,6
dia10	29,8	23,5	6,3	dia10	28,6	26,7	1,9
dia11	29,1	25,8	3,3	dia11	29,5	27,5	2
dia12	26,9	23,9	3	dia12	28,7	27,6	1,1
dia13	25,5	21,2	4,3	dia13	27,9	27,1	0,8
dia14	26,6	18,1	8,5	dia14	27,2	25,6	1,6

Txm	28,12
Tnm	22,87
Am	5,25
Tm diaria periodo	25,50

Txm	27,80
Tnm	26,17
Am	1,63
Tm diaria periodo	27,00

Diferencias simulación- monitoreo

Txm	0,32
Tnm	3,30
Am	3,62
Tm diaria periodo	1,50

Fig. III.39. Comparación monitoreo y simulación para modelo doblemente orientado, período caluroso.

T estar - Doblemente orientado - Febrero

Energy Plus - 3RpH				Monitoreo			
	Tx °C	Tn °C	A		Tx °C	Tn °C	A
dia1	26,6	24,2	2,4	dia1	27,1	24	3,1
dia2	26	19,9	6,1	dia2	27,1	24	3,1
dia3	26,6	17,9	8,7	dia3	27,1	23,5	3,6
dia4	27,5	20,6	6,9	dia4	25,6	24,3	1,3
dia5	28,8	24,3	4,5	dia5	25,6	23,9	1,7
dia6	27,4	24,8	2,6	dia6	25,6	21,7	3,9
dia7	27,7	23,8	3,9	dia7	27,2	21,4	5,8
dia8	28,9	24,8	4,1	dia8	27	23,6	3,4
dia9	28,6	24,5	4,1	dia9	27,3	23,9	3,4
dia10	28,8	23,3	5,5	dia10	26,7	21	5,7
dia11	28,9	25,8	3,1	dia11	27,5	23,1	4,4
dia12	26,7	23,6	3,1	dia12	28,7	26,2	2,5
dia13	25,4	20,9	4,5	dia13	27,1	24,3	2,8
dia14	25,8	17,7	8,1	dia14	26,3	23,2	3,1

Txm	27,41
Tnm	22,58
Am	4,83
Tm diaria periodo	25,00

Txm	26,85
Tnm	23,44
Am	3,41
Tm diaria periodo	25,10

Diferencias simulación- monitoreo

Txm	0,56
Tnm	0,86
Am	1,41
Tm diaria periodo	0,10

Fig. III.40. Comparación monitoreo y simulación para modelo doblemente orientado, período caluroso.



*T estar - Simplemente orientado - Julio*

Energy Plus - 3RpH				Monitoreo			
	Tx °C	Tn °C	A		Tx °C	Tn °C	A
dia1	20,1	16,8	3,3	dia1	19,9	17,8	2,1
dia2	26,2	15,7	10,5	dia2	21,6	17,9	3,7
dia3	23,1	17,4	5,7	dia3	21,6	17,9	3,7
dia4	27,0	20,0	7,0	dia4	21,0	18,5	2,5
dia5	28,6	21,7	6,9	dia5	22,1	18,3	3,8
dia6	28,7	20,5	8,2	dia6	21,0	18,3	2,7
dia7	27,3	20,7	6,6	dia7	21,2	17,9	3,3
dia8	26,5	19,0	7,6	dia8	21,2	17,5	3,7
dia9	21,7	17,8	4,0	dia9	20,8	18,3	2,5
dia10	20,6	17,9	2,7	dia10	22,8	16	6,8
dia11	24,4	16,1	8,3	dia11	20,8	17,6	3,1
dia12	26,5	19,5	7,0	dia12	21,4	17,9	3,5
dia13	26,5	19,5	7,0	dia13	21,4	17,9	3,5
dia14	26,5	19,5	7,0	dia14	21,4	17,9	3,5

Txm	25,3
Tnm	18,7
Am	6,6
Tm diaria periodo	19,0

Txm	21,3
Tnm	17,8
Am	3,5
Tm diaria periodo	21,0

Diferencias simulación- monitoreo

Txm	3,97
Tnm	0,88
Am	3,09
Tm diaria periodo	2,00

Fig. III.41. Comparación monitoreo y simulación para modelo simplemente orientado, período frío

*T estar - Doblemente orientado - Julio*

Energy Plus - 3RpH				Monitoreo			
	Tx °C	Tn °C	A		Tx °C	Tn °C	A
dia1	20,1	16,8	3,3	dia1	29,4	22,0	7,4
dia2	25,4	23,2	2,2	dia2	19,4	16,4	3,0
dia3	25,4	22,1	3,3	dia3	24,0	18,3	5,7
dia4	22,4	19,6	2,8	dia4	20,7	18,5	2,2
dia5	23,5	18,7	4,8	dia5	20,6	17,9	2,7
dia6	20,3	18,3	2,0	dia6	20,7	16,6	4,1
dia7	20,1	17,3	2,8	dia7	18,7	16,5	2,2
dia8	19,1	16,7	2,4	dia8	17,5	14,5	3,0
dia9	21,2	15,7	5,5	dia9	21,1	14,5	6,6
dia10	21	16,4	4,6	dia10	19,7	16,2	3,5
dia11	20,8	16,9	3,9	dia11	19,9	16,8	3,1
dia12	18,7	16,5	2,2	dia12	21,3	15,2	6,1
dia13	21,4	15,8	5,6	dia13	20,6	14,9	5,7
dia14	19,5	15,6	3,9	dia14	22,2	16,1	6,1

Txm	21,4
Tnm	17,8
Am	3,5
Tm diaria periodo	19,7

Txm	21,1
Tnm	16,7
Am	4,4
Tm diaria periodo	17,7

Diferencias simulación- monitoreo

Txm	0,22
Tnm	1,09
Am	0,87
Tm diaria periodo	2,00

Fig. III.42. Comparación monitoreo y simulación para modelo doblemente orientado, período frío

Como se muestra en las tablas de las figuras III.39 a III.42, es en el período frío donde se observan las mayores dificultades para calibrar el modelo simulado a las mediciones. En el modelo doblemente orientado esto se logra de una forma más eficiente.



### 3.6 Selección de variables de diseño a modificar

Para las dos tipologías estudiadas en ambas ciudades se realiza el monitoreo de temperatura y humedad relativa interior a los efectos de realizar el posterior análisis del comportamiento térmico de las viviendas, tanto para el período caluroso como para el frío. Esto ha permitido evaluar las estrategias de diseño aplicadas en los edificios relevados.

A través de la simulación térmica se obtienen los resultados necesarios para analizar tanto el comportamiento térmico de los modelos como su consumo de energía eléctrica para obtener condiciones de confort todo el año (calefacción y refrigeración). Lo mismo se logra para las diferentes variantes o modificaciones introducidas a las distintas estrategias bioclimáticas o de diseño aplicadas. Además los datos de salida obtenidos en cada caso permiten realizar la comparación entre las horas de confort y el consumo energético alcanzado en la vivienda monitoreada y el modelo aplicado.

En relación con las estrategias bioclimáticas, las variables que las representan en este estudio, tanto para el período caluroso como el frío, son: orientación solar, factor de huecos, transmitancia térmica y factor solar de los vidrios, tipo de protección solar, absorción de las superficies exteriores, transmitancia térmica de los cerramientos opacos.

A las estrategias bioclimáticas y sus variantes se agrega el estudio de los efectos que provocan dos pautas definidas como: carga de ocupación y patrones de uso de la vivienda.

En una primera etapa se modifica una variable por vez de modo de analizar la influencia de cada estrategia de diseño sobre el consumo energético y el porcentaje de horas de confort.

La selección de estas variables responde al análisis de la carta bioclimática de ambas ciudades (Cap.2), donde se observa el peso que presenta el sombreado (aplicación recomendada para el 30% de horas del año). Si bien la estrategia ventilación natural en el período caluroso aparece con un porcentaje de aplicabilidad significativo, 14% para Montevideo y 17% para Salto, es complejo su manejo en simulación. Dado el plazo acotado de esta investigación la ventilación se aplica sólo como variable de ajuste (3 Rph).

### 3.7. Predicción de la temperatura interior a partir de regresiones de temperatura

#### *Montevideo: Período caluroso*

Continuando la línea de investigación desarrollada por Givoni, 1994 y Papst, 2004 se predicen las temperaturas interiores en función de las temperaturas exteriores. Sus trabajos desarrollan una serie de fórmulas que permiten predecir la temperatura interior diaria, máxima, mínima y media, considerando la relación que existe entre la variación exterior diaria y la interior. Para nuestro trabajo, las temperaturas internas horarias de un año calculadas con esta metodología se correlacionan fuertemente con las temperaturas horarias registradas en el monitoreo. Las utilizamos luego para apoyar las conclusiones.

A partir de este método se realizan las correlaciones con las temperaturas exteriores medidas para el período caluroso, determinando el  $r^2$  de la recta, pero solamente en uno de los casos se verifica un valor satisfactorio, próximo a 1. La idea fundamental de la correlación es encontrar un padrón de la serie de datos medidos, separándolos del ruido encontrado en las observaciones individuales. A partir de la determinación de ese padrón es posible encontrar y prever los valores futuros que adoptará la variable dependiente (Soares et al., 1991). Las correlaciones obtenidas con los datos de temperatura exterior de bulbo seco correspondientes al mismo día no resultaron robustas estadísticamente, ni siquiera cuando a partir de la teoría del límite central, se trabaja con las medias de los valores. Sólo cuando se analizan las medias del día anterior se obtienen correlaciones robustas.





Un método similar, a partir de la fuerte correlación entre temperatura exterior e interior, es utilizado por Papst 2004 para determinar temperaturas interiores en función de las exteriores en viviendas de alta capacidad térmica. Papst expone que la variación diaria de temperatura interior no depende sólo de las temperaturas pasadas, es consecuencia también de las características constructivas del local, de las ganancias de calor interna, del clima exterior y de las intervenciones del usuario .

En edificaciones naturalmente ventiladas los factores que determinan la variación de la temperatura interior según Papst y Lamberts, 2001 se pueden clasificar en:

- 1-Temperatura exterior (según estudios realizados en Florianópolis, en países con gran amplitud térmica ( $A > 10^{\circ}\text{C}$ ) la temperatura interior es respuesta de la media de la temperatura externa del día anterior al que se quiere estimar).
- 2- Infiltración de aire o ventilación natural.
- 3- Radiación solar absorbida por las paredes y cubiertas.
- 4-Radiación solar transmitida por el cerramiento vidriado
- 5-Calor sensible y latente generado por la ocupación y la actividad de los ocupantes.

#### *Análisis estadístico de los datos:*

Se determina la ecuación y el valor  $r^2$ . Para esta determinación se descarta el primer día de mediciones de temperatura interior y se correlacionan la temperatura interior registrada con la temperatura exterior del día anterior (ver fig. 43a y 43b). En el caso del apartamento 903 (Br. Artigas y San Martín) se correlaciona la temperatura interior con la temperatura exterior del mismo día, debido a las pautas de uso de ventilación natural. El valor del coeficiente de determinación,  $R^2$ , es un indicativo del comportamiento de la recta de regresión en función de la correlación entre los puntos. En el caso ideal,  $r^2=1$ , no existiría variación residual y todos los puntos estarían alineados (Soares et al., 1991). Existe una buena correlación cuando a un nivel de confianza del 95%,  $r^2$  es mayor a 0.6.

También se efectúa la prueba F de análisis de varianzas, que compara la variación explicada por el modelo de regresión con la variación debida a los residuos, para entonces poder afirmar si existe relación lineal entre la variable dependiente y las variables independientes. Si la ecuación presenta  $F_{\text{calculado}}$  superior a  $F_{\text{crítico}}$  tabulado para el intervalo de confianza escogido, se puede afirmar que existe relación lineal entre la variable dependiente y las variables independientes (Soares et al., 1991).

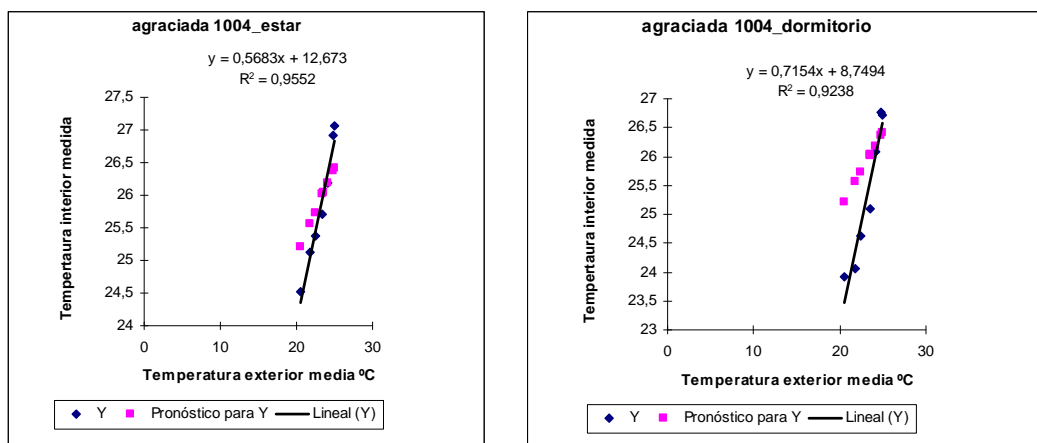


Fig. III.43a. Regresiones para los apartamentos monitoreados en Montevideo

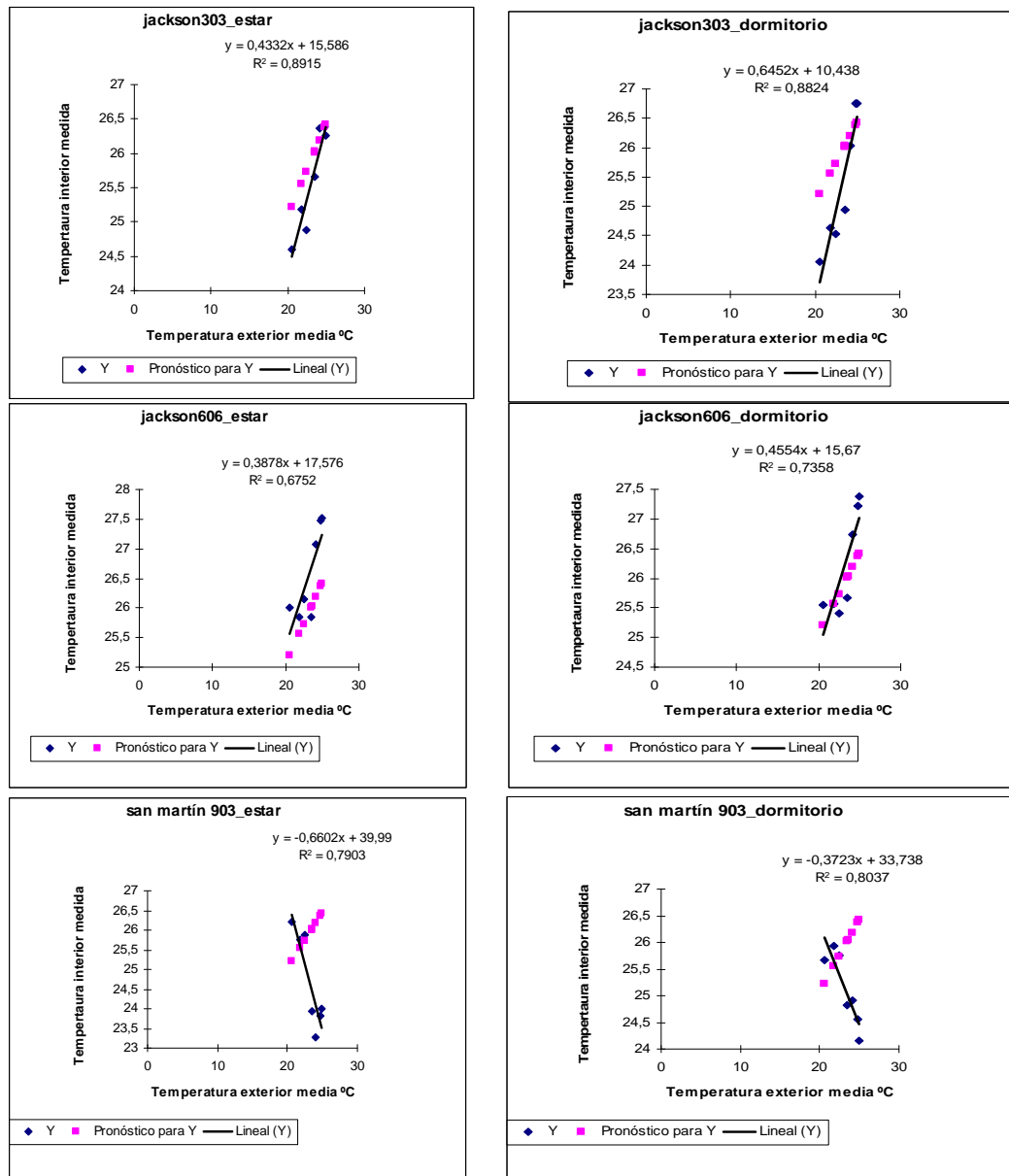


Fig. III.43b. Regresiones para los apartamentos monitoreados en Montevideo

En las Figs. III. 44 y 45 se observa cómo interviene la masa y la ventilación en el desempeño térmico de los apartamentos. El apartamento que utiliza la estrategia de ventilación nocturna para refrescamiento, presenta menores temperaturas interiores para mayores temperaturas exteriores. Mientras que los demás se sobrecalientan (a mayor temperatura exterior mayor temperatura interior). El retardo de las temperaturas en estos apartamentos es de un día, en contraste con el apto 903.



PERIODO CALUROSO

apto	local	Ecuaciones tim	r2	valor f	valor crítico de f	Error típico
agraciada 1004	estar	$Y=0,5683x+12,673$	0,96	106,49	0,0001	0,22
	dormitorio	$Y=0,7154x+8,7494$	0,92	60,62	0,0006	0,36
jackson 303	estar	$Y=0,4332x+15,586$	0,89	41,07	0,0014	0,27
	dormitorio	$Y=0,6452x+10,438$	0,88	37,52	0,0017	0,42
jackson 606	estar	$Y=0,3878x+17,576$	0,68	10,39	0,0234	0,48
	dormitorio	$Y=0,4554x+15,67$	0,74	13,92	0,0136	0,48
san martín 903	estar	$Y=-0,6602x +39,99$	0,79	18,85	0,01	0,60
	dormitorio	$Y=-0,3723x +33,738$	0,80	20,47	0,01	0,33

Fig. III.44. Ecuaciones de regresión, período caluroso.

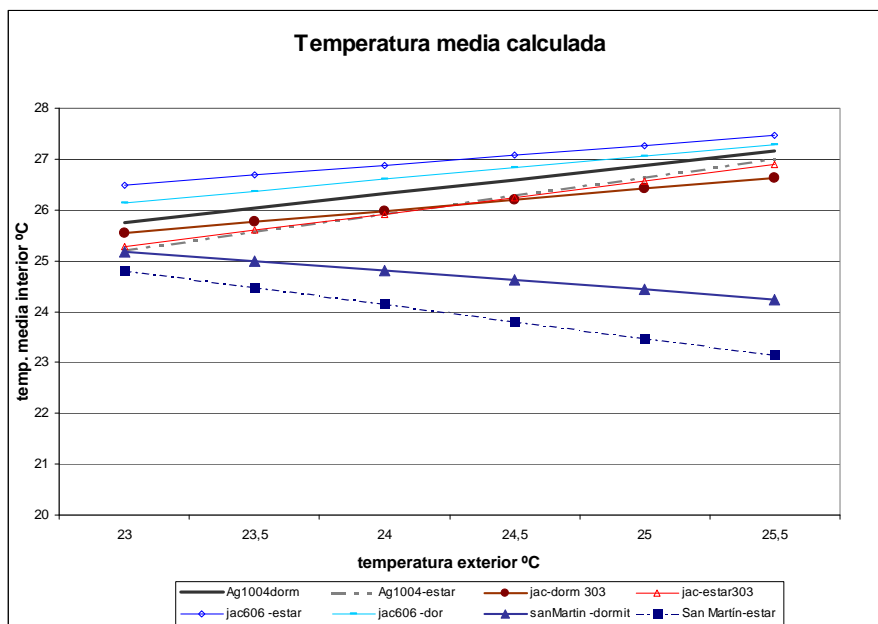


Fig. III.45. Ecuaciones de regresión.

Montevideo: Período frío

Para las correlaciones realizadas los valores de r2 no dieron robustos. Según las encuestas de uso de las viviendas, en todos los apartamentos, excepto el 303, se utiliza calefacción lo que lleva a que la temperatura interior no sea explicada básicamente por la exterior, sino por otro factor que afecta al sistema aportándole ganancia de energía térmica (ver fig III.46).

PERIODO FRIO

apto	local	Ecuaciones tim	r2	valor f	valor crítico de f	Error típico
agraciada 801	estar	$y = 0,9001x + 8,2101$	0,63	6,81	0,06	0,71
	dormitorio	$y = 1,1641x + 4,337$	0,58	5,54	0,08	1,02
jackson 303	estar	$y = 0,2311x + 13,665$	0,36	2,21	0,21	0,32
	dormitorio	$y = 0,2153x + 13,753$	0,36	2,23	0,21	0,30
jackson 606	estar	$y = -0,413x + 21,522$	0,41	2,73	0,17	0,51
	dormitorio	$y = -0,1783x + 19,138$	0,11	0,51	0,5134	0,51
san martín 903	estar	$y = 0,5179x + 12,398$	0,07	0,28	0,63	2,02
	dormitorio	$y = 0,2277x + 12,364$	0,17	0,79	0,42	0,53

Fig. III.46. Ecuaciones de regresión, período frío



Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo

*Departamento de Clima y Confort en Arquitectura – Instituto de la Construcción  
Facultad de Arquitectura UDELAR  
Proyecto de Investigación financiado por el PDT – DICyT – MEC. 2006 / 2008.*

### **Todo el año**

Para la determinación de la ecuación que evalúa todo el año se toma la ecuación que tiene mayor R<sup>2</sup>. En Givoni et al. (2002) el método de estimativa de la temperatura interna es utilizado para ambientes en uso. A partir de dos cortas mediciones de temperatura en un prototipo habitacional en Curitiba, Krüger (2003) determinó, a través de análisis de regresión múltiple, dos ecuaciones predictivas de las temperaturas internas, una para verano y otra para invierno. La elección de la ecuación predictiva para estimar las temperaturas de un año fue aquella que presentó el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) más fuerte.

Como se vio en el punto anterior, estas ecuaciones no tuvieron una correlación estadísticamente aceptable en el período frío, lo que no permite desarrollar las ecuaciones predictivas para todo el año.

### **Salto**

Para los apartamentos de la ciudad de Salto se realiza el mismo procedimiento. Sólo en los casos que no utilizan aire acondicionado la temperatura interior es respuesta de las condiciones de la temperatura exterior.

Por esta razón r<sup>2</sup> nunca fue superior a los 0.6.



## Capítulo 4: Resultados

### 4.1 Análisis de datos monitoreados para viviendas unilaterales y con doble orientación.

De las cuatro viviendas monitoreadas en cada ciudad, dos corresponden a la tipología unilateral (monorientada) y dos tienen doble orientación. Dentro de esta última categoría, si bien la vivienda tiene dos orientaciones no sucede lo mismo en cada habitación. De esta manera cada habitación tiene su orientación pero intercambia energía con habitaciones con orientaciones diferentes, además de permitir una ventilación cruzada en la vivienda.

A los efectos de apoyar las observaciones que siguen a continuación para Montevideo y Salto, la información sistematizada se presenta en Tablas (ver fig. IV. 1 y IV. 2.) y en Gráficas (ver fig. IV.3 al IV.6)

#### Montevideo

Para los valores de temperatura interior registradas para la ciudad de Montevideo, se observa lo siguiente:

- En el período frío el andamiento de la temperatura interior es estable por la presencia de masa térmica en todas las construcciones, pero los valores se alejan del rango de confort para este período. Los bajos valores de temperatura se explicarían por la poca generación de calor interior (baja ocupación, calefacción intermitente, baja ganancia solar) y por las pérdidas de calor producidas a través de la envolvente debido al área expuesta y la transmitancia térmica de muros y ventanas. Para el período caluroso las temperaturas interiores también permanecen estables, a excepción del estar de la vivienda doblemente orientada (apartamento 903, San Martín) que presenta una fluctuación importante de temperatura. Esto demuestra que la aplicación de la ventilación nocturna por parte del usuario se asocia a la capacidad de la masa para permitir el refrescamiento.
- Para el período caluroso las temperaturas medias de todas las habitaciones monitoreadas se encuentran dentro del rango de confort (fig. IV.1). Sin embargo, las temperaturas máximas registradas en las dos tipologías están por fuera del rango de confort, a excepción del dormitorio orientado al sur.
- Se registran mayores valores de amplitud térmica diaria (diferencia entre  $t_{max}$  y  $t_{min}$ ) en las viviendas con doble orientación en el período frío. En el período caluroso sólo se verifica este dato en el estar de la vivienda orientada norte-sur (apto 903 San Martín).
- La habitación que presenta mayor fluctuación de temperatura es el estar del apto 903 orientado norte-sur, con un promedio de amplitud de  $7,5^{\circ}C$ , superando hasta en  $5,5^{\circ}C$  al valor medio medido registrado en una vivienda unilateral. Esto es efecto de la ventilación nocturna en el período caluroso y de la ganancia solar pasiva en el frío.
- Los mayores porcentajes de horas de confort calculados corresponden a las habitaciones con orientación Norte o Este, alcanzando en promedio un 37% de horas de confort interior. Sin embargo el 75% de los usuarios encuestados en Montevideo expresó sentirse en confort térmico. Esta diferencia entre porcentajes 'teóricos' y percepción del usuario, habla de la necesidad de ajustar los rangos de confort establecidos en función de las expectativas y capacidad de adaptación de las personas, siguiendo el modelo adaptativo.
- La vivienda mono-orientada al Este (apto 603) registra valores mayores de temperatura en los dos períodos que su simétrica al Oeste (apto 303). Esta vivienda no posee balcón y se ubica en un piso más elevado por lo que no cuenta con obstrucciones del entorno. Contrariamente, la vivienda orientada al oeste cuenta con vegetación frondosa del arbolado urbano y un balcón que actúa de alero, lo que provoca sombreado sobre la envolvente (cerramientos transparentes y opacos). Esto explicaría el aumento de temperatura en el período caluroso en la vivienda al Este. A su vez para el período frío, en el apto 603 al Este se utiliza calefacción artificial, mientras que la orientada al Oeste no contó con ese recurso.



### Salto

- En el período frío el andamio de la temperatura interior es estable, presentando una amplitud diaria promedio de 2°C. Sin embargo los valores permanecen por debajo de la temperatura mínima del rango de confort, a pesar del uso de equipos de calefacción artificial, intermitente, como lo indicaron los usuarios encuestados. La única habitación cuyas temperaturas se encuentran dentro del rango de confort es el estar de la vivienda 006 orientada al norte y su consumo eléctrico fue superior a todos los demás encuestados. La temperatura media interior promedio para este período es de 16,5°C, valor apenas superior al mínimo aceptable para condiciones interiores.
- En el período caluroso la temperatura interior promedio está en todos los casos por encima del rango de confort establecido, presentando un valor promedio de 28,9°C. Se verifica la diferencia de valores de los parámetros climáticos (text y HRe) respecto a Montevideo y demuestra la importancia de la aplicación de estrategias que impidan el incremento de la energía interior, como es el uso de las protecciones solares. Se observa el mismo valor promedio de fluctuaciones de temperatura interior que para el período frío. A lo largo del año la variación diaria de temperatura interior permanece estable por la presencia de masa aislada en la conformación de la envolvente exterior, como argumento principal.
- Para Salto también se observa un potencial de enfriamiento nocturno que no es utilizado por los usuarios. Esto se verifica observando el comportamiento similar (andamio de temperatura interior) que presentan las tipologías con doble orientación respecto a las tipologías mono-orientadas.
- Los mayores porcentajes de horas de confort corresponden a las habitaciones con orientación Este. En el caso del período caluroso el clima exterior presenta mayor porcentaje de horas de confort que el clima interior. Este indicador es de importancia ya que demuestra que el espacio construido presenta condiciones de confort térmico peores que el ambiente exterior.
- La temperatura promedio en el estar de la vivienda 101 (orientación Sur y Este) se encuentra en el rango de confort, pero presenta la mayor amplitud térmica a consecuencia del uso de calefacción artificial en determinados momentos del día.

La temperatura interior media en el período frío para todas las viviendas analizadas es similar tanto en Montevideo como en Salto, con un valor aproximado de 16°C. Sin embargo la temperatura exterior media es 3°C más alta en Salto que en Montevideo (ver fi. IV. Esta observación implica la necesidad de relacionar más datos, por ejemplo que el consumo de energía eléctrica y de calefacción a gas es superior en Montevideo.

Cabe aclarar que se hacen difíciles las generalizaciones debido a la especificidad de cada caso y de la complejidad del comportamiento de los parámetros térmicos al depender de la interrelación de múltiples variables.



		Salto					Montevideo				
		006	S01	101	505	Exterior	303	606	1004	903	Exterior
dormitorio	Tn (°C)	27,9	26,7	26,7	27,0	20,0	24,0	24,2	24,4	23,5	17,2
	Tx (°C)	31,5	31,1	30,7	31,9	35,8	28,2	28,6	27,5	27,1	34,9
	Tm (°C)	29,7	28,9	28,7	29,5	27,9	26,1	26,4	26,0	25,3	26,0
	A	1,9	1,9	1,0	2,2	11,0	1,2	1,2	0,7	0,8	10,9
estar	Tn (°C)	26,7	25,2	27,1	26,2		24,4	25,2	24,9	21,0	
	Tx (°C)	29,7	31,5	31,5	31,5		27,8	29,5	28,6	28,7	
	Tm (°C)	28,2	28,3	29,3	28,8		26,1	27,3	26,7	24,8	
	A	2,2	3,5	1,2	3,2		1,1	1,7	1,3	4,2	
dorm + est	A	2,0	2,7	1,1	2,7		1,1	1,5	1,0	2,5	
	Tm (°C)	29,0	28,6	29,0	29,2		26,1	26,9	26,4	25,1	

Fig IV.1. Tabla comparativa de temperatura y amplitud térmica monitoreados, Montevideo y Salto, período caluroso

		Salto					Montevideo				
		006	S01	101	505	Exterior	303	606	1004	903	Exterior
dormitorio	Tn (°C)	14,1	13,7	12,6	14,1	5,0	14,1	16,8	10,6	13,3	0,7
	Tx (°C)	19,0	17,5	17,1	16,8	19,8	16,4	19,0	16,8	17,1	18,2
	Tm (°C)	16,5	15,6	14,8	15,4	12,4	15,2	17,9	13,7	15,2	9,5
	A	1,6	1,5	2,0	1,0	6,6	1,1	1,5	3,0	1,6	10,4
estar	Tn (°C)	16,4	12,6	13,3	15,2		14,1	17,5	12,9	14,5	
	Tx (°C)	18,8	17,1	22,6	17,5		17,1	21,4	17,9	21,4	
	Tm (°C)	17,6	14,8	18,0	16,4		15,6	19,5	15,4	18,0	
	A	1,1	2,0	5,6	1,0		1,2	3,0	2,5	4,5	
dorm + est	A	1,3	1,7	3,8	1,0		1,2	2,2	2,7	3,0	
	Tm (°C)	17,0	15,2	16,4	15,9		15,4	18,7	14,5	16,6	

Fig IV.2. Tabla comparativa de temperatura y amplitud térmica monitoreados, Montevideo y Salto, período frío.



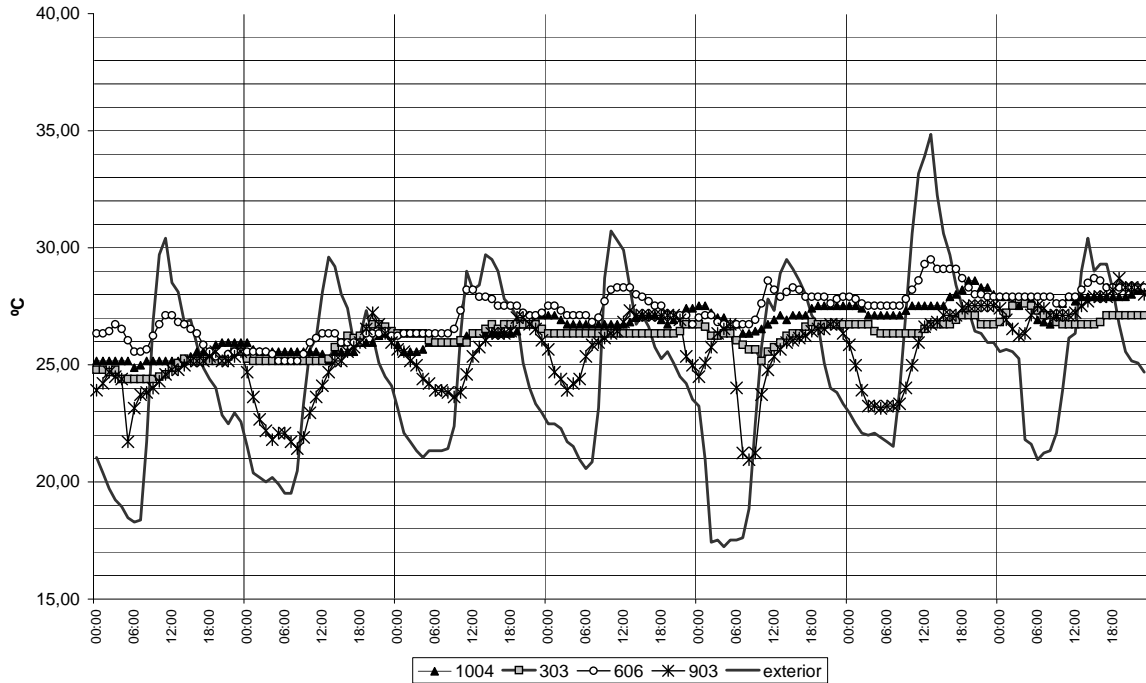


Fig IV.3. Gráfica de temperaturas monitoreadas en estares, Montevideo, período caluroso,

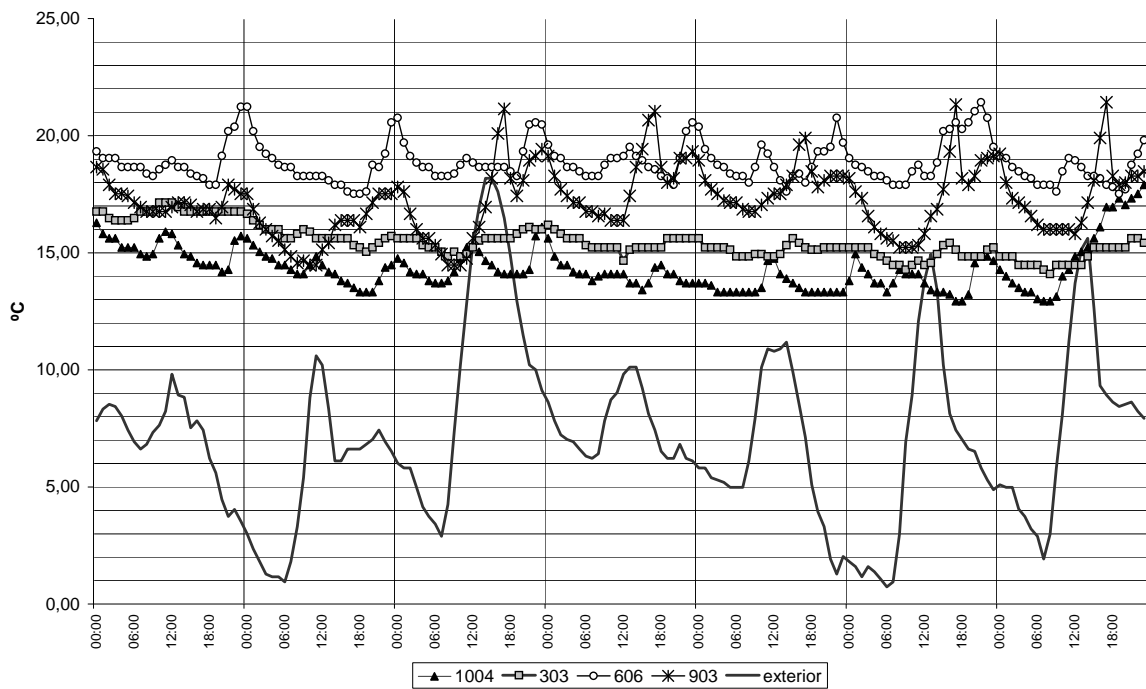


Fig IV.4.. Gráfica de temperaturas monitoreadas en estares, Montevideo, período frío.



Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo

Departamento de Clima y Confort en Arquitectura – Instituto de la Construcción  
Facultad de Arquitectura UDELAR  
Proyecto de Investigación financiado por el PDT – DICyT – MEC. 2006 / 2008.

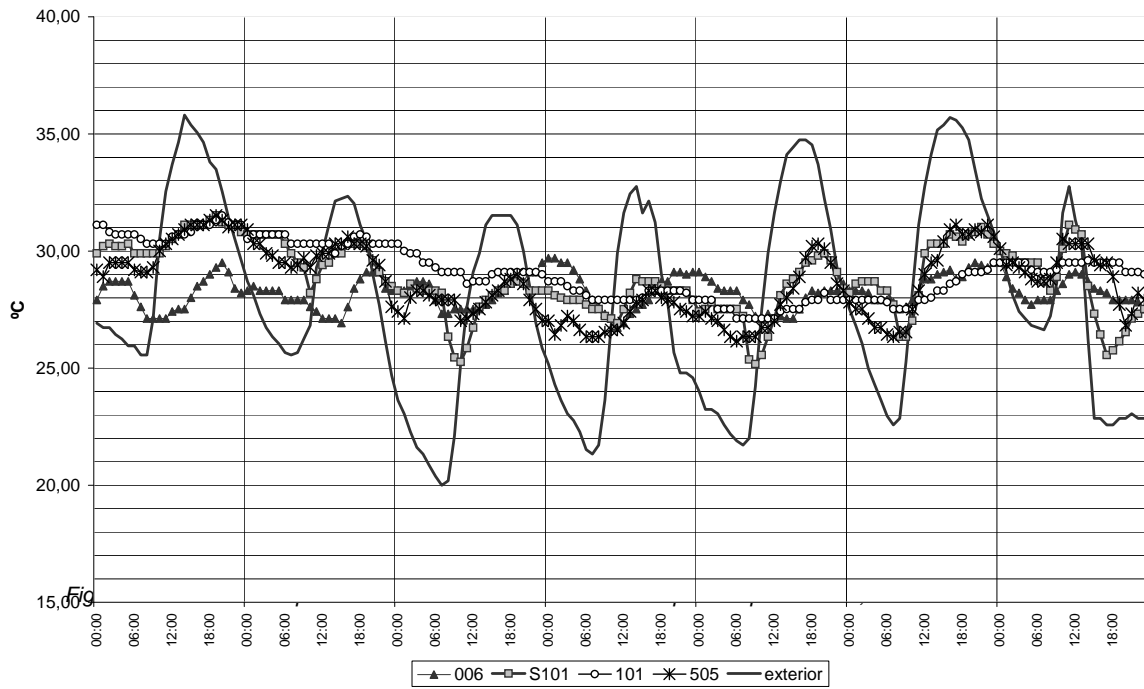


Fig. IV.5. Gráfica de temperaturas monitoreadas en estares, Salto, período caluroso.

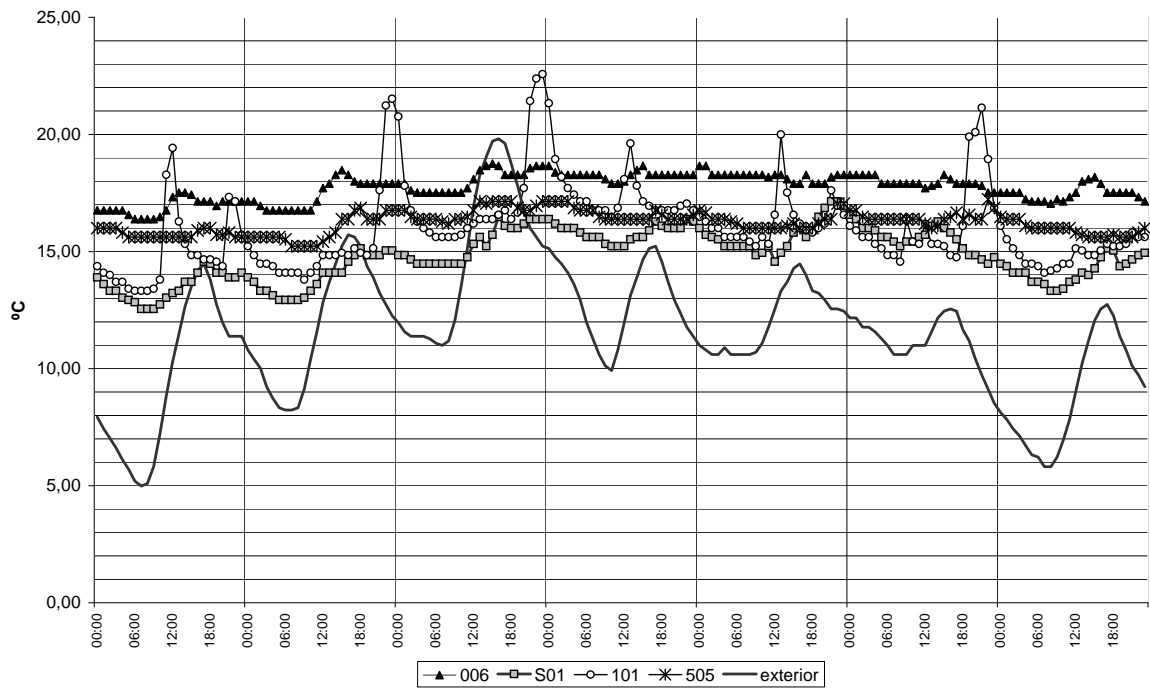


Fig. IV.6. Gráfica de temperaturas monitoreadas en estares, Salto, período frío.



## 4.2. Evaluación del consumo de energía eléctrica según estrategias de diseño aplicada [obtenido mediante simulación computacional].

Los resultados expresados en las gráficas corresponden al consumo anual de refrigeración y calefacción por metro cuadrado acondicionado, de ambos modelos (vivienda doblemente orientada y mono-orientada) y para las dos ciudades estudiadas (Montevideo y Salto).

### 4.2.1. Modelo Doblemente orientado

#### Estrategia: **ÁREA EXPUESTA**

Para evaluar el peso relativo del área expuesta se simula el modelo sin aislamiento térmico, por lo que no interesan los consumos netos obtenidos sino que los resultados se analizan en forma comparativa. Los valores de consumo van incrementando a medida que aumenta el área expuesta, confirmando los conceptos teóricos. Tanto en Salto como en Montevideo el comportamiento es el mismo. En orden de menor a mayor consumo, primero se encuentra el modelo referente con solamente dos fachadas expuestas, luego las siguientes variantes aplicadas sobre el modelo en el orden siguiente: todas las paredes expuestas, el piso expuesto, piso y paredes expuestos, techos expuestos y por último techos y paredes expuestos (ver fig. IV.7.).

El consumo total para el modelo con techo y paredes expuestos es 3,5 veces mayor que para el modelo referente. Si bien la variable “techos y paredes expuestos” tiene el mismo factor forma (relación área expuesta sobre volumen) que la variable “piso y paredes expuestos”, el consumo es mayor en el primer caso debido a los mayores intercambios de energía radiante del techo con la bóveda celeste.

Si bien el aumento de consumo se da tanto para refrigeración como para calefacción, el incremento es mayor en calefacción. En esta estrategia el menor consumo lo obtuvo el modelo referente, no presentando ahorro en ninguna de las otras variables estudiadas.

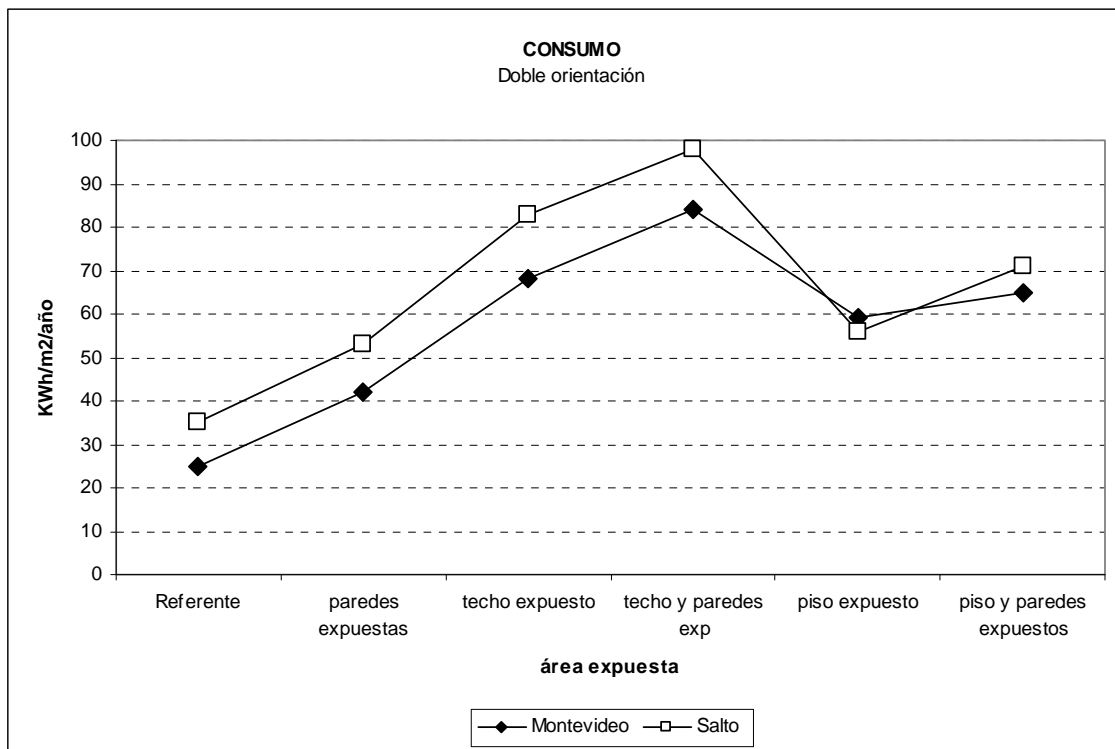


Fig. IV.7. Consumo de energía según área expuesta, modelo con doble orientación en Montevideo y Salto.



**Estrategia: COLOR EXTERIOR DE FACHADAS**

Esta estrategia presenta diferentes resultados dependiendo de la variable aplicada (ver fig. IV.8.) y de la localidad donde se aplica.

De las seis variables consideradas, únicamente dos significan ahorro de energía en ambas ciudades (protección solar exterior oscura y vidrio verde en los cerramientos transparentes).

En Montevideo, las superficies exteriores oscuras con una absorptancia = 0.90 (para protección solar o pared) representan cada una un ahorro del 4% en relación al modelo referente (con cortina de enrollar de absorptancia = 0,60). Si bien el consumo para refrigeración aumenta, el consumo para calefacción disminuye en mayor proporción, provocando ese porcentaje de ahorro en el consumo total para cada variable. En el caso de la variable vidrio verde (con factor solar  $F_s=0.69$ ) aumenta el consumo de energía para calefacción y disminuye para refrigeración, logrando el mismo porcentaje de ahorro total.

En cambio en Salto las variables más significativas son revestimiento exterior de color claro (absorptancia 0,3) y vidrio reflectivo, representado 9% y 11% de ahorro energético respectivamente. Queda en evidencia la influencia de la radiación solar en la zona climática más cálida, por su efecto en el aumento de la temperatura interior o de la carga de refrigeración. Las variables más eficientes son aquellas que permiten controlar - rechazar el ingreso de radiación solar al interior de los ambientes: Color claro ó superficie de baja absorptancia a la radiación de onda corta.

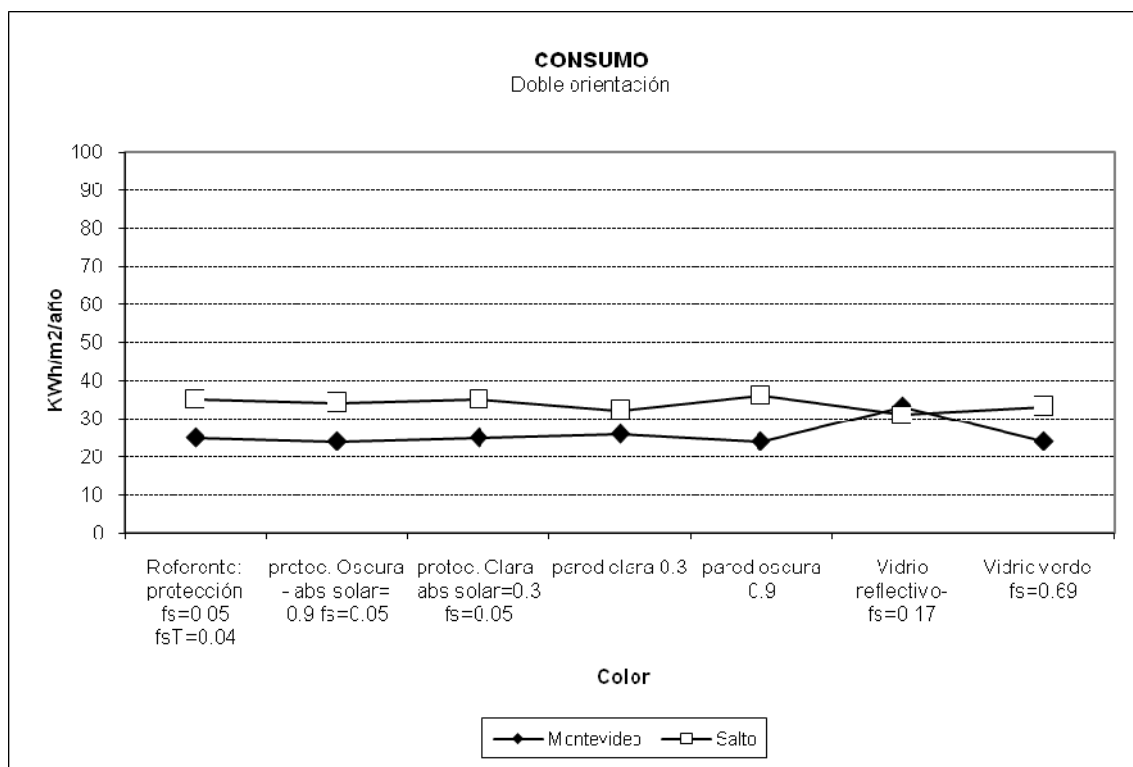


Fig. IV.8. Consumo anual de energía según color de superficies, modelo con doble orientación, Montevideo y Salto.



### Estrategia: **ORIENTACIÓN**

En esta estrategia se tomaron como variables las orientaciones netas (ver fig. IV.9.). El modelo original está orientado Norte-Sur, presentando hacia el Norte únicamente el estar y hacia el Sur los dormitorios y la cocina. Esto significa que el área con orientación Sur es mayor.

Cuando la orientación es Este-Oeste los consumos aumentan en relación al referente, tanto para refrigeración como para calefacción (en Montevideo 7% y en Salto máximo 23% en total).

La estrategia que representa menor consumo de energía es la que relaciona mayor cantidad de área con la orientación Norte, aunque en este modelo signifique que el estar quede orientado al Sur. De esta manera se consigue un ahorro de 15% en Montevideo (disminuyendo principalmente la refrigeración) y del 9% en Salto (disminuyendo únicamente el consumo para refrigeración) con respecto a la orientación original.

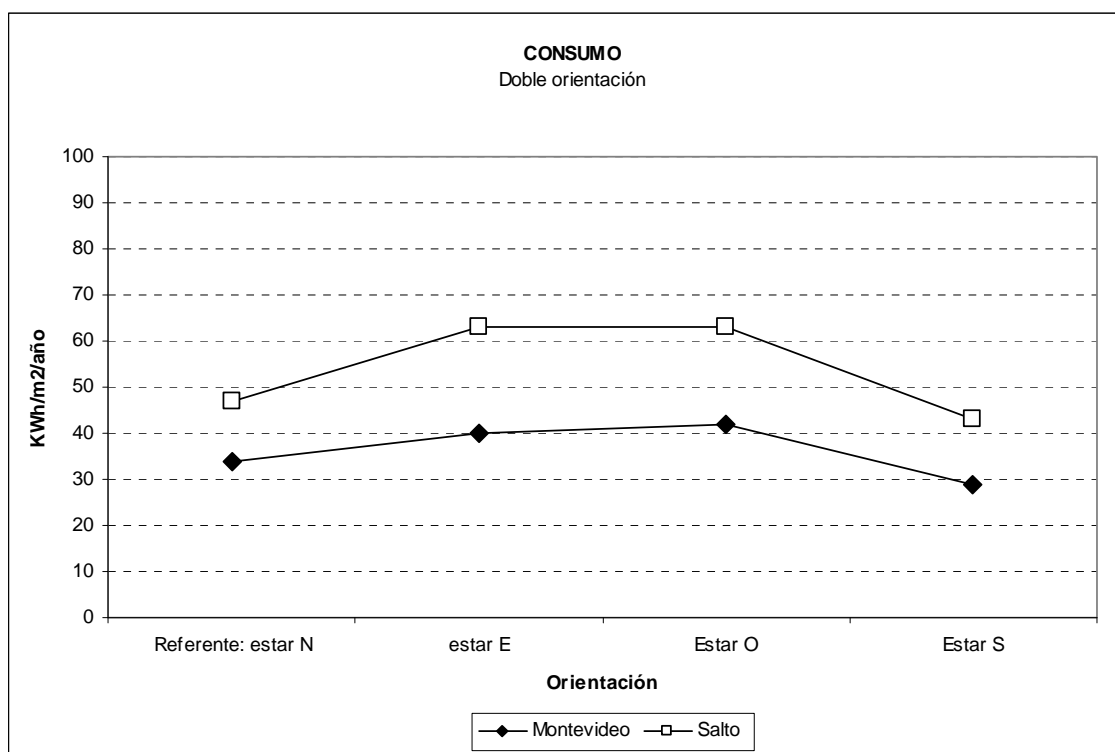


Fig. IV.9. Consumo anual de energía según orientación, modelo con doble orientación, Montevideo y Salto.

### Estrategia: **PROTECCIONES SOLARES**

De las 16 variables simuladas únicamente 3 representan menor consumo de energía respecto al modelo referente y para ambas ciudades estudiadas (ver fig. IV.10.):

1. protecciones móviles exteriores horizontales, relación ancho/separación igual a 1, cerradas.
2. protecciones móviles exteriores verticales, relación ancho/separación igual a 1, cerradas.
3. protecciones móviles horizontales accionadas (cerradas) cuando la temperatura interior alcanza los 25°C.

El porcentaje de ahorro de energía en Montevideo es de 4% para cada variable.

En Salto, las dos primeras implican un ahorro del 3% mientras que el impacto de la última es mayor, siendo de 23%. La disminución del consumo se verifica tanto para calefacción como para refrigeración, con mayor peso en esta última.



Para la estrategia protección solar en Montevideo y dentro de las 13 variables que no presentan ahorro, se observa que el consumo por  $m^2$  fue superior para las variables que manejan protecciones interiores con relación a las variables con protección exterior.

En Salto y dadas las características climáticas, los consumos son superiores para todas las variables, con un comportamiento similar a Montevideo pero con diferencias entre ellas más pronunciadas.

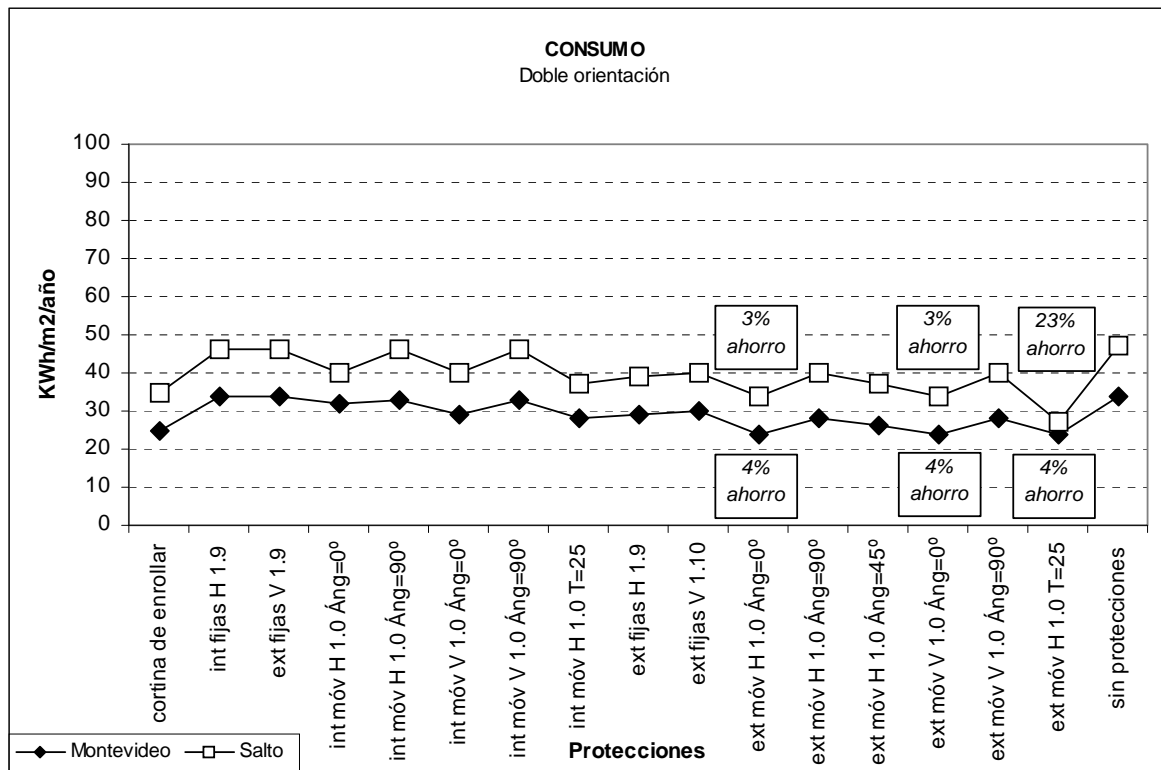


Fig. IV. 10. Consumo anual de energía según tipo de protección solar, modelo con doble orientación, Montevideo y Salto.

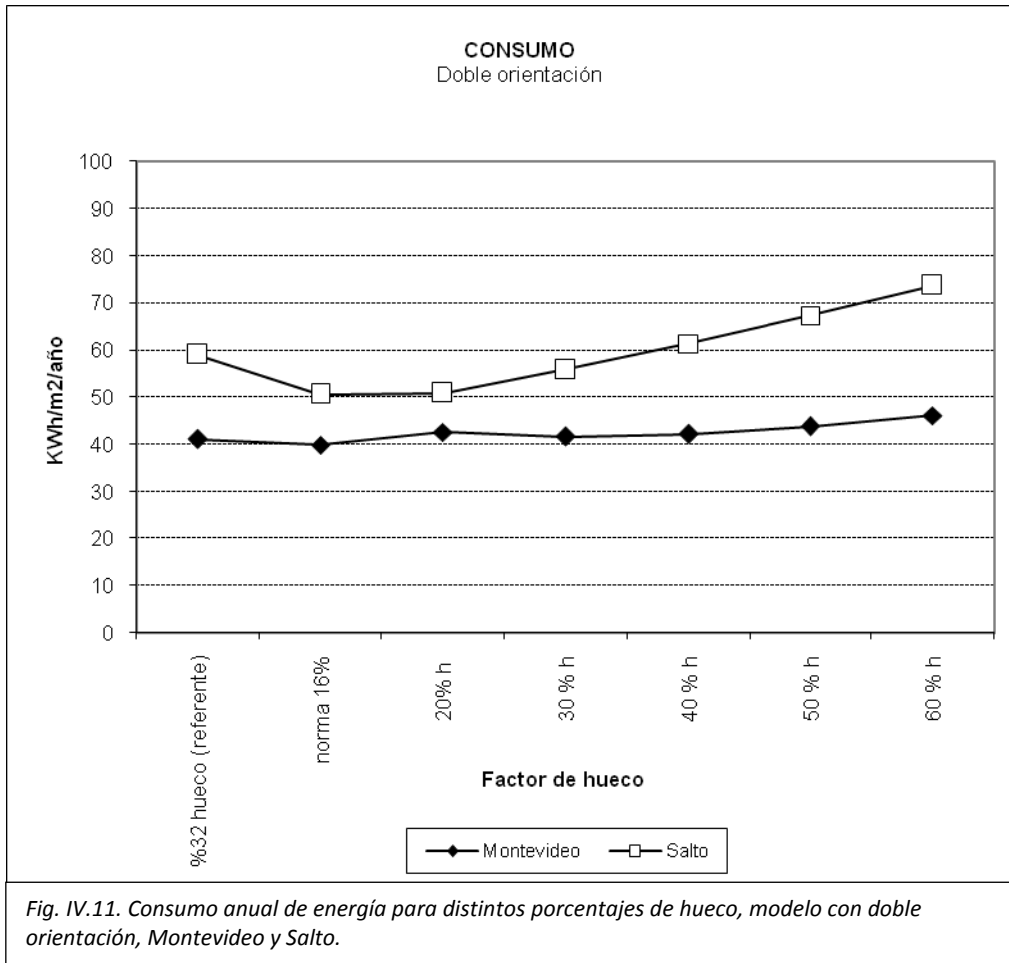
#### Estrategia: Factor de huecos

Se simulan distintos valores posibles de factor de huecos, desde el 16% de vidrio en fachada (ó 10% de área de piso de la reglamentación municipal) hasta el 60% de área vidriada en la fachada (ver fig.IV.11).

Los resultados de las distintas variantes de factor de hueco muestran una relación directa incremental entre aumento de área de hueco y aumento de consumo de energía, en ambas ciudades. Los consumos netos de Salto son superiores a los de Montevideo. El menor consumo corresponde al factor de huecos 16% (iluminación natural mínima de la normativa municipal de ambas ciudades). Pero del relevamiento del parque habitacional se encontró que en promedio el área de hueco utilizada por los arquitectos en la fachada principal es superior al 40%.

En Salto este incremento es acentuado, siendo el punto de inflexión un factor de huecos de 20%. Para esta estrategia el mayor consumo se debe a refrigeración. (Luego se toma 30% como punto de referencia porque es el que combina mejor consumo de energía y cantidad de iluminación natural recibida).

En Montevideo el aumento del consumo no es tan pronunciado y esto se explica por las condiciones climáticas de una y otra localidad. En esta ciudad y para esta estrategia, el mayor consumo se debe a calefacción.







**Estrategia: TRANSMITANCIA TÉRMICA**

Cuando se varía la transmitancia térmica de los cerramientos opacos verticales, se observa que para el modelo doblemente orientado ubicado en un piso intermedio, el consumo de energía decrece a medida que se aumenta el espesor del aislante. Sin embargo esta disminución no es proporcional al aumento de espesor del aislante; a partir de un espesor aproximado a los 3 cm<sup>15</sup> el consumo de energía desciende poco tanto para Montevideo como para Salto (ver fig.IV.12.).

La mayor disminución del consumo es en calefacción, pasando de 21 a 17 Kwh/m<sup>2</sup>/año.

El aislamiento térmico tiene un peso relativo mayor, o mayor ahorro potencial, en Montevideo y esto se explica por las temperaturas exteriores más bajas en el período frío.

En Salto el mayor peso del consumo de energía se encuentra en la refrigeración. Este estudio muestra que el aislamiento tiene un bajo impacto sobre el consumo de energía en refrigeración y por esta razón el potencial de ahorro por la estrategia transmitancia térmica es menor en Salto que en Montevideo.

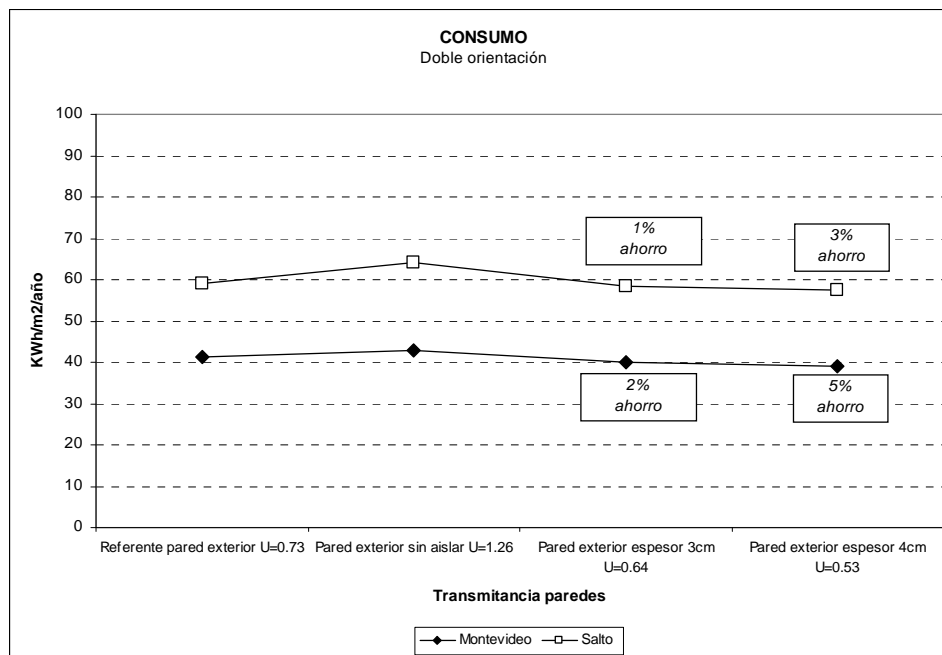


Fig. IV.12. Consumo anual de energía para distintas transmitancias térmicas, modelo con doble orientación, Montevideo v Salto.

**Pautas: PATRONES DE USO y CARGAS INTERNAS**

Estas pautas muchas veces son dejadas de lado o sub valoradas en el diseño, pero las simulaciones muestran la influencia de los patrones de uso de las protecciones solares sobre el consumo de energía en el modelo doblemente orientado de un piso intermedio o de las cargas internas productos del factor de ocupación o de horarios de uso de la vivienda. El usuario juega entonces un rol fundamental en el ahorro y uso eficiente de la energía.

<sup>15</sup> Dependiendo de los materiales que conformen el cerramiento vertical



### Modificación en la colocación de protecciones solares

Protección solar es la estrategia de diseño bioclimático con mayor porcentaje de horas de aplicación recomendadas para ambas ciudades, ya que para evitar las ganancias térmicas innecesarias es fundamental el control del ingreso de energía solar.

Para ambas ciudades, la estrategia que permite un mayor ahorro de energía es la que se usa la protección solar en verano todo el día y en invierno permanece abierta entre las 11 h y las 19 h (ver fig. IV.13.).

En la ciudad de Salto esta estrategia impacta claramente sobre el consumo de energía para refrigeración, que pasa de 57 a 41 Kwh/m<sup>2</sup>/año para el modelo estudiado y supone un ahorro de energía del 12% para el criterio recomendado en el párrafo anterior.

En Montevideo es más compleja la situación. Por un lado se debe evitar el ingreso de energía en el período caluroso en las horas de mayor intensidad de radiación sobre el plano considerado, pero en invierno la estrategia de ganancia solar pasiva tiene un impacto sobre el ahorro de energía convencional. Esto implica que los horarios de uso de las protecciones solares sean muy ajustados a los requerimientos de cada período, de lo contrario conllevan aumentos de consumo sobre todo en calefacción. Con el criterio recomendado se logra un 4% de ahorro en el consumo de energía.

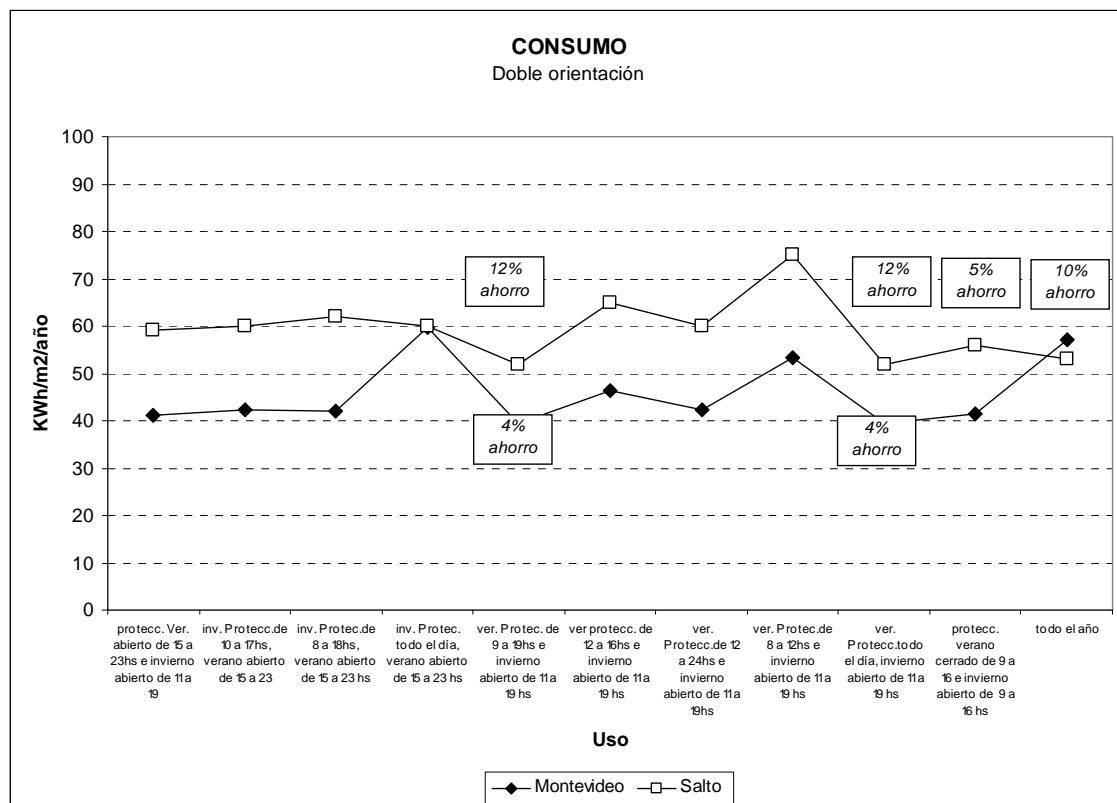


Fig. IV. 13. Consumo anual de energía para distintos patrones de uso de protecciones solares, modelo con doble orientación. Montevideo v Salto.

### Modificación en las horas de permanencia en la vivienda

Dentro de esta pauta se evalúa cómo pueden variar las cargas internas dentro de un apartamento. Se modifican los horarios de permanencia de los individuos y las cargas internas de iluminación y de



equipos por horarios de uso de las viviendas. Se entiende que son pautas de comportamiento y de uso muchas veces difíciles de modificar. Los resultados que se presentan son indicativos de cómo las cargas modifican también los consumos de energía, aunque se considera que se debe presentar atención a otras modificaciones que podrían ser posibles de ser adoptadas más fácilmente.

La carga interna que producen las personas del modelo original corresponde a una familia de 4 personas; dos de ellas permanecen aproximadamente 12 horas en la vivienda y las otras dos 20 h. Todas las personas realizan una actividad leve que genera 110 W.

Como es de esperar a mayor cantidad de horas de permanencia en la vivienda mayor consumo en refrigeración y menor en calefacción anual. Estas diferencias netas de requerimientos se observan en las dos ciudades. Para la ciudad de Salto una menor permanencia en el hogar implica un ahorro en el consumo de energía anual. En cambio en Montevideo es al revés, es decir una menor cantidad de horas implica un aumento en el consumo de energía sobretodo en calefacción. En Montevideo las diferencias entre distintas permanencias no son muy significativas en término de consumo de energía (ver fig.IV.14)

Cuando evaluamos el uso de las cargas internas producidas por los artefactos eléctricos, se muestra que a menor carga interna menores son los consumos en Montevideo y lo mismo sucede en la ciudad de Salto.

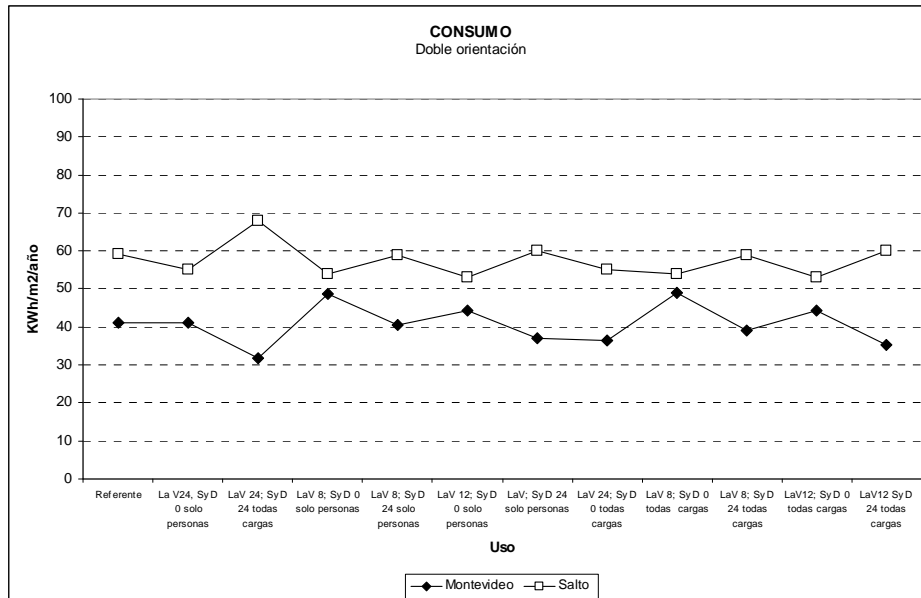


Fig. IV.14. Consumo de energía anual para distintos patrones de uso y cargas internas, modelo con doble orientación, Montevideo v Salto.



#### 4.2.2. Modelo simplemente orientado

Los resultados se expresan en consumo anual de refrigeración y calefacción por metro cuadrado.

##### *Estrategia: FACTOR DE HUECOS*

Las simulaciones de las distintas variantes de factor de hueco muestran una relación directa incremental entre aumento de área de hueco y aumento de consumo de energía. En Salto este incremento es más acentuado que en Montevideo; esto se explica por las condiciones climáticas de una y otra localidad (ver fig. IV.15).

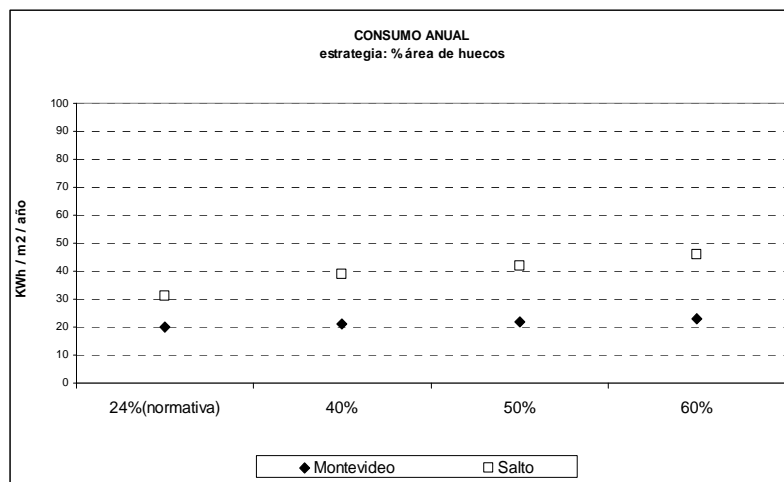


Fig. IV.15. Consumo de energía anual para distintos porcentajes de factor de huecos, modelo con simple orientación en Montevideo y Salto.

Los consumos netos de Salto son superiores a los de Montevideo. El menor de ellos, para ambas ciudades, corresponde al factor de huecos mínimo autorizado por la normativa municipal. Pero del relevamiento del parque habitacional se encontró que en promedio el área de hueco utilizado por los arquitectos en la fachada principal es superior al 40%.

##### *Estrategia: PROTECCIONES SOLARES*

De las simulaciones se observa la necesidad de colocar protecciones solares tanto en Salto como en Montevideo, ya que impacta directamente sobre el consumo de energía. Al igual que sucede en el modelo con doble orientación, las protecciones exteriores funcionan mejor que las interiores en las dos ciudades. El potencial de ahorro en el consumo de energía es mayor en la ciudad de Salto y esto se explica por su ubicación en una zona de clima cálido con un período caluroso más largo y riguroso en lo que refiere a temperaturas exteriores. El mejor desempeño energético lo obtiene la cortina de enrollar de color claro en ambas ciudades (se reitera la importancia del usuario en el buen desempeño de las estrategias) (ver fig.IV.16).

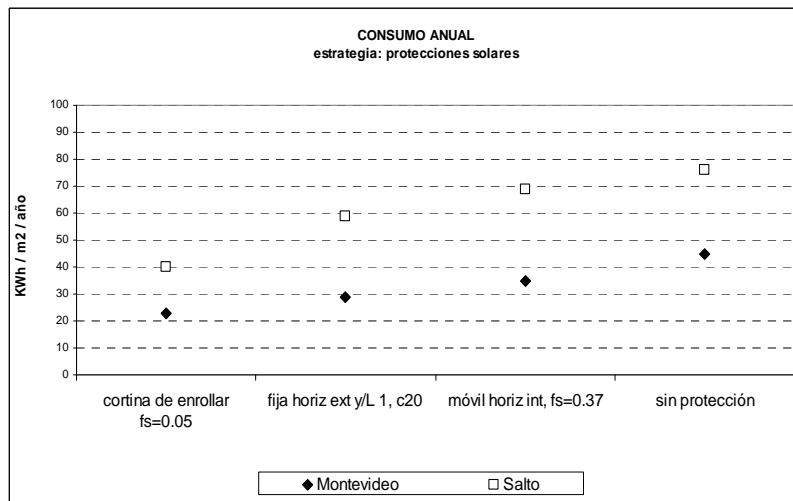


Fig. IV.16. Consumo de energía anual para distintas protecciones solares, modelo con simple orientación en Montevideo v Salto.

**Estrategia: COLOR DE LAS FACHADAS**

Se varía el color de la fachada exterior cambiando la absorptancia de la envolvente opaca desde color claro  $\alpha = 0.30$ , el modelo original de ladrillo  $\alpha = 0.60$ , hasta color oscuro con  $0.90$ . En Montevideo la variación del color produce un ahorro de energía, pero con diferencias en cómo se ahorra. Mientras que una pared de color oscuro significa ahorro en calefacción, una pared clara impacta sobre la refrigeración. En Salto esto no sucede, sólo se ahorra energía cuando se trata de una pared exterior de color claro (ver fig.IV.17).

En lo que refiere al color de las protecciones, el modelo original presenta una protección metálica que absorbe el 30% de la energía. En Montevideo el ahorro de energía al colocar protecciones claras u oscuras se encuentra en la disminución de la energía para calefacción. En Salto no existen diferencias al modificar el color de las protecciones.

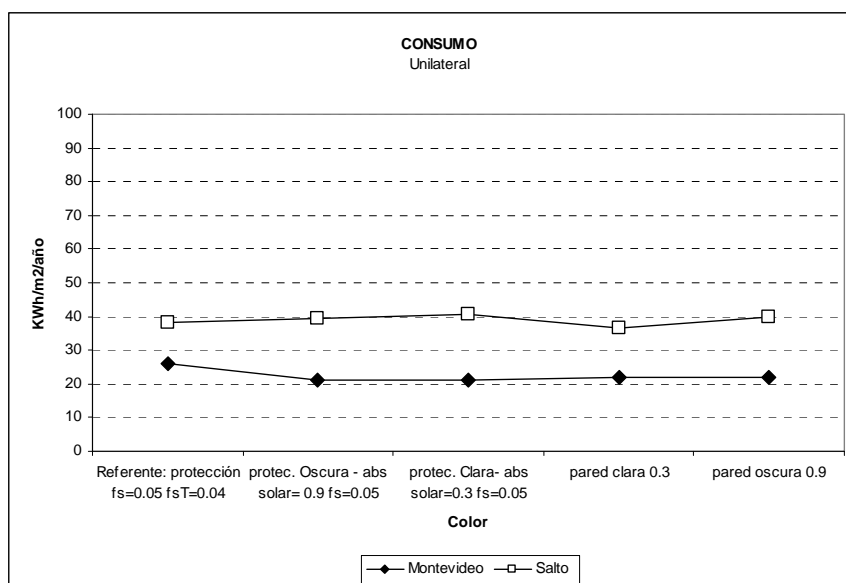


Fig. IV.17. Consumo de energía anual para distintos colores de superficie, modelo con simple orientación en Montevideo v Salto.



### Estrategia: ORIENTACIÓN SOLAR

La estrategia orientación solar muestra que el consumo total anual por metro cuadrado sólo disminuye para la orientación norte en Montevideo en relación al modelo referente que tiene orientación Este. Pero su descenso no es significativo y representa un porcentaje de ahorro del 4% del consumo total anual. Si desagregamos el dato, el ahorro en calefacción es del 80% en relación al referente, mientras el consumo en refrigeración se incrementa dos veces y media (ver fig.IV.18).

Sin embargo para la ciudad de Salto la orientación solar Sur es la que logra una disminución en el consumo total anual en energía eléctrica, con un porcentaje de reducción del 11%. En este caso el consumo en calefacción aumenta un 33% y el consumo en refrigeración desciende un 21%.

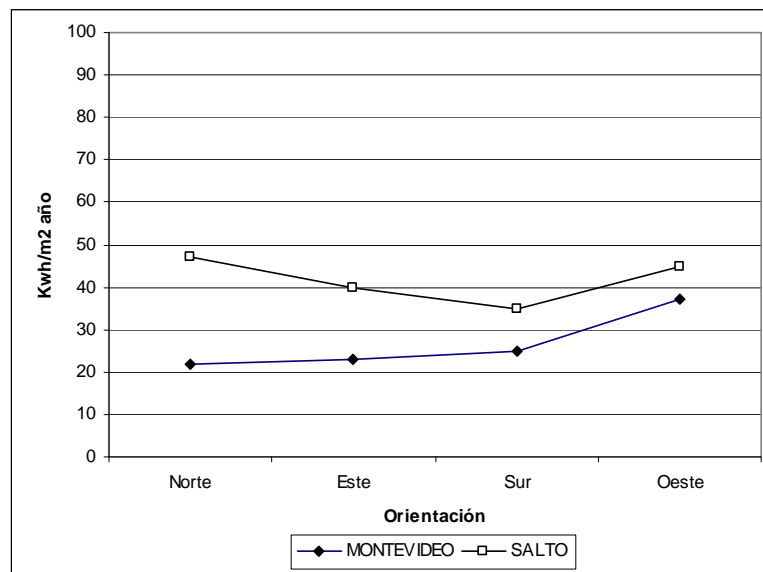


Fig. IV.18. Consumo de energía anual para distintas orientaciones solares, modelo con simple orientación en Montevideo v Salto.

### Estrategia: TRANSMITANCIA TÉRMICA Y FACTOR SOLAR DE CERRAMIENTOS VIDRIADOS

En la estrategia transmitancia térmica y factor solar de los cerramientos vidriados los valores de consumo total anual muestran un decrecimiento a medida que disminuye la transmitancia térmica tanto en Montevideo como en Salto (ver fig. IV.19). Para ambas ciudades no existen diferencias significativas en el consumo cuando el cerramiento transparente tiene igual factor solar y diferente transmitancia térmica.

Al cambiar de vidrio simple común ( $U=6.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $F_s=0.83$ ) a doble vidriado hermético ( $U=3.16 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $F_s=0.69$ ) se consigue reducir el consumo total anual un 6.5% en Montevideo (lográndose un 9.5% de ahorro en calefacción; no varía el consumo en refrigeración). En Salto el consumo total anual se reduce 6% (se ahorra 13% en calefacción y 4.5% en refrigeración).

El menor consumo se obtiene cuando la transmitancia térmica se reduce un 84% (vidrio triple con capa de baja emisividad  $U=1.06 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) y el factor solar casi un 30% ( $F_s=0.58$ ) respecto al referente. En Montevideo se reduce el consumo en  $4 \text{ Kwh/m}^2$ , es decir se consigue un ahorro de 17.4% en el consumo total (sólo se ahorra en calefacción 29%). En Salto se consigue un ahorro de 11% en el consumo total (ahorrándose un 33% en calefacción y un 8% en refrigeración).

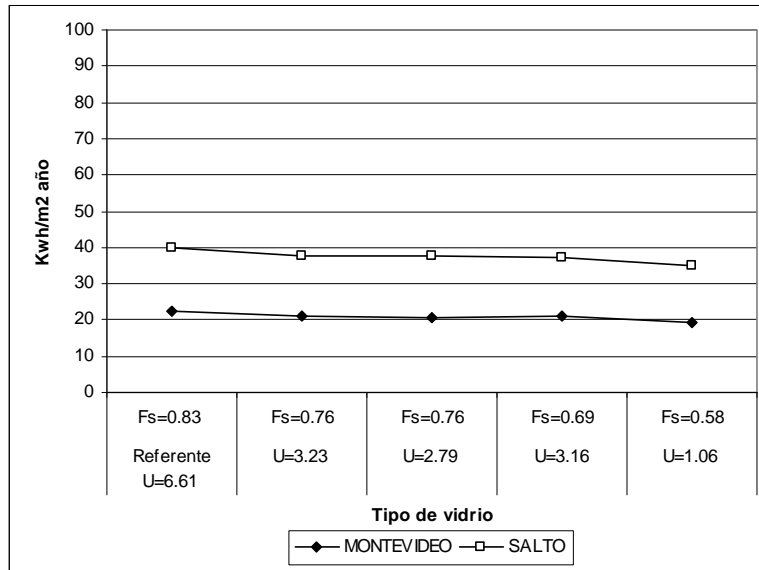


Fig. IV.19. Consumo de energía anual para distintas transmitancias y factor solar de cerramientos transparentes, modelo con simple orientación en Montevideo v Salto.

**Estrategia: TRANSMITANCIA TÉRMICA de CERRAMIENTOS OPACOS**

De las simulaciones de transmitancia térmica se observa que para el modelo mono-orientado de un piso intermedio, el consumo de energía es menor a medida que aumenta el espesor de aislamiento. Esta disminución no es proporcional a su espesor; luego de los 3 cm de espesor el consumo de energía es constante tanto para Montevideo como para Salto. El ahorro potencial aumentando el aislante térmico es mayor en la ciudad de Montevideo y esto se explica por las temperaturas exteriores más rigurosas en el período frío también más largo.

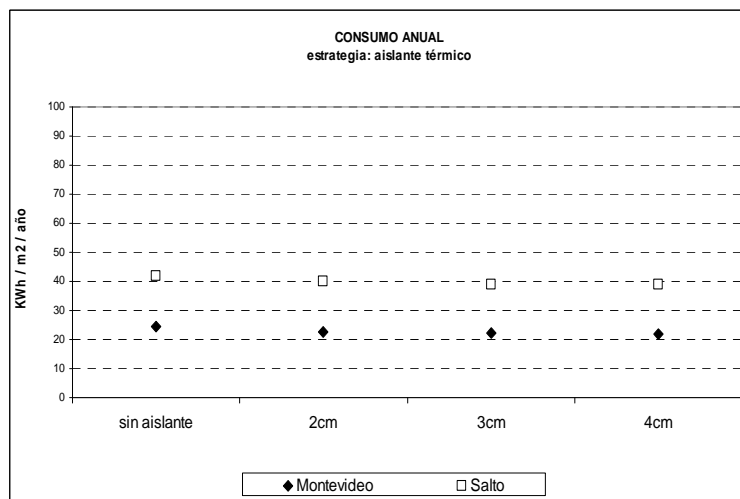


Fig. IV.20. Consumo de energía anual para distintos espesores de aislamiento en cerramientos opacos, modelo con simple orientación en Montevideo y Salto.



**Pautas: PATRONES DE USO y CARGAS INTERNAS**

En lo que refiere a cargas internas, se evidencia que el consumo total anual de energía eléctrica aumenta en la ciudad de Montevideo cuando la ocupación de la vivienda desciende, no consiguiéndose ahorros en el consumo de energía. Mientras que en la ciudad de Salto al reducir la ocupación se logra descender el consumo total anual un 20% (se ahorra un 42% en refrigeración). Se evidencia el efecto de la carga interna sobre el consumo de energía en la zona climática más cálida (ver fig.IV.21).

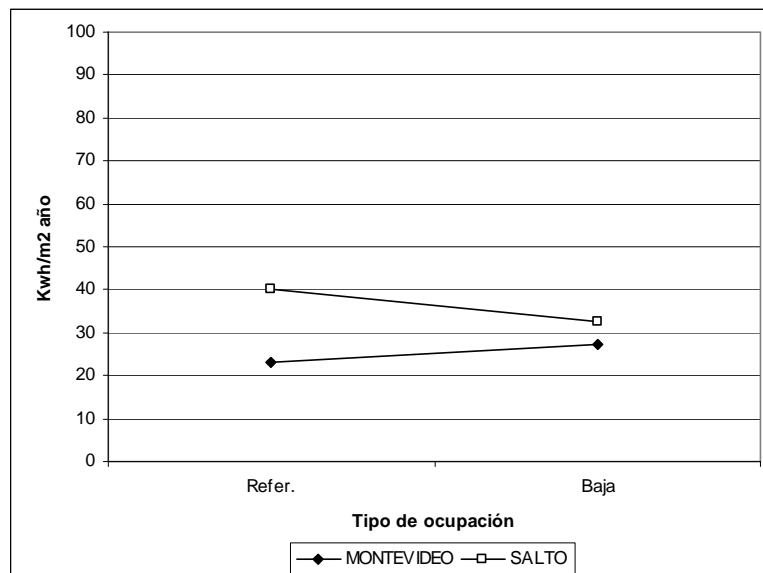


Fig. IV.21. Consumo de energía anual para factor de ocupación bajo, modelo con simple orientación en Montevideo y Salto.

En la pauta horas de permanencia en la vivienda, en ambas ciudades, el menor consumo total anual de energía se da cuando los 4 ocupantes permanecen doce horas de lunes a viernes y 24 horas los fines de semana (sábados y domingos). Con esta permanencia se reduce el consumo total de energía un 4% en Montevideo (con un ahorro de 28.6% en refrigeración) y un 12.5% en Salto (con un ahorro de 21 % en refrigeración) (ver fig. IV.22).

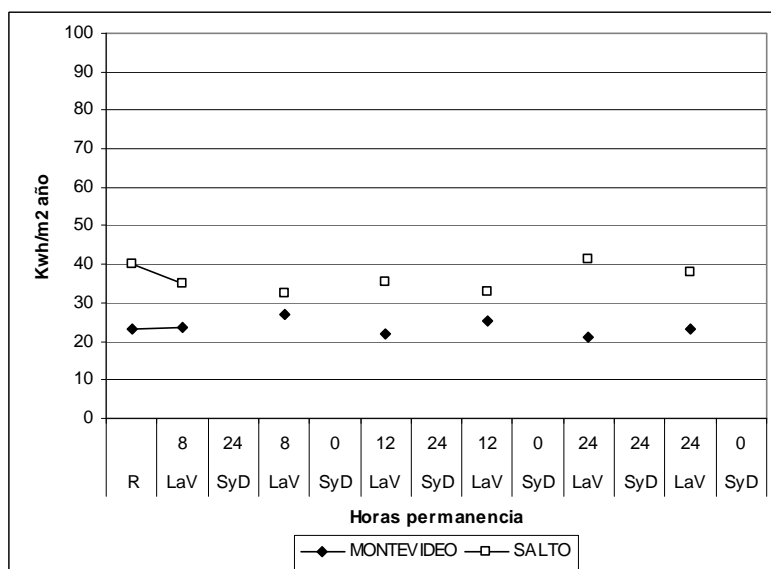


Fig. IV.22. Consumo de energía anual para distintas horas de permanencia en vivienda, modelo con simple orientación en Montevideo y Salto.





### 4.3. Análisis de la evolución de la temperatura interior en las viviendas según distintos patrones de uso y estrategias utilizadas [obtenida mediante simulación computacional].

Para el análisis de la evolución de la temperatura interior se considera el criterio o variante de las estrategias de diseño aplicadas que permite reducir el consumo de energía. Es decir que se selecciona la mejor variante para cada estrategia según las simulaciones efectuadas. Se toman enero y julio como meses de referencia; el modelo se considera en fluctuación libre, es decir que la vivienda no está calefaccionada ni refrigerada. Para analizar condiciones de confort térmico y su relación con el consumo de energía, se consideran las temperaturas interiores que permanecen dentro de los rangos de confort previamente establecidos (18 a 27°C).

Se evalúa primeramente el modelo doblemente orientado y luego el simplemente orientado en las dos ciudades de referencias. Se verifica el comportamiento de las temperaturas interiores obtenidas en cada caso.

#### Doblemente orientado

##### Apto. Doblemente orientado (Norte-Sur) - MONTEVIDEO - Rph=3 en todos los locales todo el año

###### Estrategias con mejor desempeño

	referente	TEMPERATURA EXTERIOR						Dormitorio 1 (SUR) (A=12.3 m <sup>2</sup> V=29.4m <sup>3</sup> )					
		ENERO			JULIO			ENERO			JULIO		
		Tx °C	Tn °C	Tm °C	Tx °C	Tn °C	Tm °C	Tx °C	Tn °C	Tm °C	Tx °C	Tn °C	Tm °C
% de hueco	30 H	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	26.9	19.6	24.2	17.7	6.1	11.9
Tipo de vidrio	Doble 6+6+6	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	27.0	19.6	24.3	18.0	6.0	12.0
Ocupación	Alta	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	26.9	19.6	24.2	17.7	6.0	11.9
Uso	LaV 12 hs.SyD 24hs	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	27.5	20.2	24.7	18.3	7.3	12.8
	Inv abierto de 11 a 19hs	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	26.9	19.6	24.2	17.7	6.0	11.9
transmitancia térmica	3 cm aislante pared piso intermedio	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	26.8	19.7	24.2	17.7	6.1	12.0
	3cm.TyP último piso	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	26.8	19.8	24.1	17.5	6.2	11.9
Área exp	paredes	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	26.9	19.6	24.2	17.7	6.0	11.9
orientación	sur Estar- dorm Norte	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	28.9	20.2	25.3	24.1	9.5	15.2
color exterior de fachada	pared oscura	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	27.3	19.7	24.6	18.1	6.0	12.2
protección solar	ext mov H T25	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	26.6	19.8	24.2	17.7	5.8	11.8

Referencias: Tx= temperatura máxima absoluta; Tn= temperatura mínima absoluta y Tm= temperatura media

Fig. IV. 23. Temperaturas obtenidas por simulación, mejor variante para cada estrategia, modelo doblemente orientado en Montevideo

##### Apto. Doblemente orientado (Norte-Sur) - MONTEVIDEO - Rph=3 en todos los locales todo el año

###### Estrategias con mejor desempeño

	referente	Dormitorio 2 (SUR) (A=10.6 m <sup>2</sup> V=25.5m <sup>3</sup> )						Estar (NORTE) (A=19.7m <sup>2</sup> V=47.5m <sup>3</sup> )					
		ENERO			JULIO			ENERO			JULIO		
		Tx °C	Tn °C	Tm °C	Tx °C	Tn °C	Tm °C	Tx °C	Tn °C	Tm °C	Tx °C	Tn °C	Tm °C
% de hueco	30 H	27.3	21.2	24.7	18.9	8.9	13.5	29.8	20.6	25.4	29.5	13.4	19.5
Tipo de vidrio	Doble 6+6+6	27.4	21.2	24.8	19.0	8.8	13.5	29.5	20.6	25.1	26.9	12.4	18.0
Ocupación	Alta	27.1	21.1	24.6	18.6	8.8	13.4	29.3	20.5	25.0	29.5	13.4	19.5
Uso	LaV 12 hs.SyD 24hs	27.3	21.1	24.8	18.4	8.8	13.7	29.8	20.9	25.6	29.3	14.6	19.8
	Inv abierto de 11 a 19hs	27.3	21.1	24.7	18.8	8.8	13.5	29.7	20.6	25.3	29.4	13.3	19.5
transmitancia térmica	3 cm aislante pared piso intermedio	27.3	21.2	24.7	18.9	8.9	13.6	29.8	20.6	25.4	29.5	13.4	19.5
	3cm.TyP último piso	27.3	21.2	24.7	18.7	9.0	13.5	29.8	20.6	25.3	29.2	13.6	19.6
Área exp	paredes	29.0	19.1	24.9	21.4	6.7	12.9	30.7	19.4	25.4	27.3	9.6	16.3
orientación	sur Estar- dorm Norte	29.4	21.8	26.2	26.5	13.0	18.0	30.5	21.2	26.1	19.7	7.3	13.3
color exterior de fachada	pared oscura	27.1	21.0	24.6	18.9	8.9	13.6	29.3	20.1	25.0	29.5	13.5	19.7
protección solar	ext mov H T25	26.7	21.3	24.6	18.7	8.6	13.3	28.5	20.4	25.0	26.2	13.2	19.1

Referencias: Tx= temperatura máxima absoluta; Tn= temperatura mínima absoluta y Tm= temperatura media

Fig. IV. 24. Temperaturas obtenidas por simulación, mejor variante para cada estrategia, modelo doblemente orientado en Montevideo



Si observamos los valores alcanzados por los dormitorios 1 y 2, las temperaturas máximas absolutas de las distintas estrategias en el mes de enero superan el rango superior de confort (28°C) solamente en dos ocasiones. Las temperaturas medias y las mínimas absolutas de enero se encuentran dentro del rango de confort en todas las habitaciones. Las temperaturas máximas absolutas para el estar orientado al Norte exceden los rangos de confort. Para el período frío, mes de julio, las temperaturas medias están por debajo de la zona de confort en todos los espacios excepto en el estar al Norte. Esto supone la necesidad de utilizar medios artificiales de calefacción. Como se muestra en las Tablas (ver fig.IV.23 y 24) no existen diferencias significativas en lo que refiere a temperaturas entre las estrategias planteadas y el modelo original (referente), pero sí hay diferencias en el consumo de energía.

Cuando se analizan las simulaciones para Salto, se observa que las temperaturas son superiores a las de Montevideo, lo que se corresponde con las mayores temperaturas exteriores de la localidad. Las temperaturas máximas del período caluroso en todos los espacios superan el rango superior de confort, que en parte se explica por lo riguroso del clima exterior. En cambio las temperaturas medias simuladas están dentro del rango de confort. En el mes de julio, las temperaturas medias para algunas de las estrategias que se simularon se ubican dentro de los rangos de confort en el estar y en el dormitorio 2 (ver fig. IV.25 y IV.26). Al igual que en Montevideo no se observan diferencias significativas de temperaturas, aunque algunas de las estrategias tienen un comportamiento más adecuado que el referente.

**Apto. Doblemente orientado (Norte-Sur) - SALTO - Rph=3 en todos los locales todo el año**  
**Estrategias con mejor desempeño**

	referente	TEMPERATURA EXTERIOR						Dormitorio 1 (SUR) (A=12.3 m <sup>2</sup> V=29.4m <sup>3</sup> )					
		ENERO			JULIO			ENERO			JULIO		
		Tx °C	Tn °C	Tm °C	Tx °C	Tn °C	Tm °C	Tx °C	Tn °C	Tm °C	Tx °C	Tn °C	Tm °C
% de hueco	20 H	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.2	33.6	23.9	28.7	21.5	8.5	14.5
	30 H	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.2	32.8	24.6	28.7	21.8	11.0	15.9
Tipo de vidrio	Común	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.2	33.6	23.9	28.7	21.5	8.5	14.5
Ocupación	Baja	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.2	33.5	23.4	28.5	21.0	7.4	13.7
Uso	LaV 8 hs.SyD 0 hs	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.2	33.6	22.9	28.5	20.9	7.1	13.9
	colocar protección solar todo el año	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.2	33.0	23.5	28.3	21.5	8.4	14.4
transmitancia térmica	3 cm aislante pared piso intermedio	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.2	33.4	23.9	28.6	21.5	8.7	14.5
	2cm.TyP último piso	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.2	33.6	24.0	28.8	21.1	8.8	14.4
Área exp	paredes	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.1	33.6	23.9	28.8	21.5	8.4	14.4
orientación	sur Estar- dorm Norte	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.1	35.4	24.2	29.6	26.0	10.1	17.4
color exterior de fachada	pared oscura	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.1	33.0	23.4	28.3	21.0	8.1	14.0
protección solar	ext mov H T25	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.1	32.9	23.4	28.3	21.5	8.2	14.3

Referencias: Tx= temperatura máxima absoluta; Tn= temperatura mínima absoluta y Tm= temperatura media

Fig. IV. 25. Temperaturas obtenidas por simulación, mejor variante para cada estrategia, modelo doblemente orientado, Salto

**Apto. Doblemente orientado (Norte-Sur) - SALTO - Rph=3 en todos los locales todo el año**  
**Estrategias con mejor desempeño**

	referente	Dormitorio 2 (SUR) (A=10.6 m <sup>2</sup> V=25.5m <sup>3</sup> )						Estar (NORTE) (A=19.7m <sup>2</sup> V=47.5m <sup>3</sup> )					
		ENERO			JULIO			ENERO			JULIO		
		Tx °C	Tn °C	Tm °C	Tx °C	Tn °C	Tm °C	Tx °C	Tn °C	Tm °C	Tx °C	Tn °C	Tm °C
% de hueco	20 H	33.0	24.7	28.9	22.2	10.9	16.1	33.0	24.7	28.9	22.1	11.0	16.1
	30 H	33.3	24.7	29.0	22.2	10.9	16.1	34.6	23.7	28.9	26.7	12.2	18.8
Tipo de vidrio	Común	33.3	24.7	29.0	22.2	10.9	16.1	35.0	23.8	29.1	28.1	12.8	19.8
Ocupación	Baja	32.5	23.7	28.2	20.7	9.3	14.6	33.0	24.7	28.9	22.1	11.0	16.1
Uso	LaV 8 hs.SyD 0 hs	32.5	23.7	28.2	20.7	9.3	14.6	35.1	23.3	28.8	29.0	12.6	19.9
	colocar protección solar todo el año	32.3	23.1	28.1	20.2	8.7	14.3	35.2	23.3	28.9	29.0	12.8	20.0
	32.3	24.0	28.3	22.0	10.9	16.0	34.2	22.9	28.4	30.0	13.5	21.0	
transmitancia térmica	3 cm aislante pared piso intermedio	33.1	24.7	28.9	22.1	11.1	16.1	35.5	23.8	29.3	30.0	13.6	21.1
	2cm.TyP último piso	33.0	24.8	28.9	21.7	11.3	16.0	35.4	24.0	29.3	29.7	13.9	21.1
Área exp	paredes	35.9	22.8	29.4	24.4	7.7	15.4	38.2	23.2	29.9	29.1	9.4	18.3
orientación	sur Estar- dorm Norte	34.8	25.3	29.9	27.4	13.9	19.9	36.6	25.1	30.7	23.5	9.1	15.9
color exterior de fachada	pared oscura	32.3	23.8	28.2	21.3	10.4	15.4	34.0	22.5	28.2	24.8	10.1	17.1
protección solar	ext mov H T25	32.2	23.7	28.1	22.0	10.7	15.9	33.9	22.7	28.2	27.2	12.9	20.6

Referencias: Tx= temperatura máxima absoluta; Tn= temperatura mínima absoluta y Tm= temperatura media

Fig. IV. 26. Temperaturas obtenidas por simulación, mejor variante para cada estrategia, modelo doblemente orientado, Salto



Simplemente orientado

**Apto. Simplemente orientado - MONTEVIDEO - Rph=3 en todos los locales todo el año**  
*Estrategias con mejor desempeño*

	referente	TEMPERATURA EXTERIOR						Dormitorio1 (Este) (A=9.8m2 V=23.7m3)					
		Temperatura ENERO °C			Temperatura JULIO °C			Temperatura ENERO °C			Temperatura JULIO °C		
		Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)
Orientación	Norte	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	27.1	20.7	24.6	26.8	12.9	18.1
% Huecos	30 H	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	27.2	20.7	24.7	19.2	8.6	13.6
Tipo de vidrio	U=3.16 y Fs=0.69	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	27.1	20.8	24.5	18.5	8.5	13.3
Ocupación	Baja	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	26.5	20.0	23.9	17.9	7.2	12.1
Hs.permanencia	LaV 12 hs.y SyD24hs.	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	26.9	20.3	24.4	18.7	8.4	13.2
Aislante p.ext.	3 cm.	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	27.1	20.7	24.6	19.0	8.6	13.5
último piso	5Ty2P	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	28.0	20.4	25.3	18.5	7.8	13.0
protecciones solares	ext.móvil horiz, sensor T=25°C	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	27.1	21.0	24.8	19.7	8.8	13.8
Color	pared oscura	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	27.3	20.7	24.8	19.1	8.7	13.6
	vidrio verde	28.9	10.2	21.6	24.8	-1.0	9.9	27.0	20.7	24.5	18.7	8.5	13.4

**Apto. Simplemente orientado - MONTEVIDEO - Rph=3 en todos los locales todo el año**  
*Estrategias con mejor desempeño*

	referente	Dormitorio 2 (Este) (A=7.4m2 V=18m3)						Estar (Este) (A=10.2m2 V=24.6m3)					
		Temperatura ENERO °C			Temperatura JULIO °C			temperatura ENERO °C			Temperatura °C JULIO		
		Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)
Orientación	Norte	28.5	21.8	26.1	22.2	11.2	15.7	38.6	24.3	31.0	28.4	10.4	19.2
% Huecos	30 H	29.1	21.8	26.0	31.6	15.4	20.9	32.8	20.8	26.9	37.0	14.6	23.2
Tipo de vidrio	U=3.16 y Fs=0.69	28.4	22.1	26.1	21.8	11.5	15.8	32.6	21.6	27.2	25.3	10.6	17.3
Ocupación	Baja	27.6	20.5	24.7	19.6	7.7	13.0	30.5	19.8	25.4	22.5	7.7	14.0
Hs.permanencia	LaV 12 hs.y SyD24hs.	27.8	20.7	25.0	20.2	8.9	14.1	31.9	21.6	26.8	24.2	10.4	16.4
Aislante p.ext.	3 cm.	28.5	21.8	26.1	22.2	11.3	15.8	32.3	20.9	26.9	25.4	10.1	16.9
último piso	5Ty2P	29.2	21.3	26.5	21.5	10.3	15.0	32.9	21.3	27.3	24.7	9.0	16.0
protecciones solares	ext.móvil horiz, sensor T=25°C	27.5	21.6	25.5	23.0	11.2	16.1	31.0	19.7	26.3	26.2	10.1	17.1
Color	pared oscura	28.7	21.8	26.2	22.3	11.3	15.8	32.3	21.0	27.0	25.4	10.1	16.9
	vidrio verde	28.4	21.9	26.1	22.0	11.3	15.8	32.4	21.3	27.1	25.4	10.4	17.1

Fig. IV. 27. Temperaturas obtenidas por simulación, mejor variante para cada estrategia, modelo simplemente orientado en Montevideo

Las temperaturas máximas absolutas alcanzadas en enero en los locales del modelo simplemente orientado exceden el rango superior de confort, siendo el estar el local cuyas temperaturas se alejan más del rango de confort. Algunas estrategias son más ajustadas y permiten que las temperaturas máximas absolutas estén dentro de los rangos de confort (fig IV.27 y IV.28). En lo que refiere a temperaturas medias las distintas estrategias determinan temperaturas que se encuentran dentro del rango de confort.

**Apto. Simplemente orientado - SALTO - Rph=3 en todos los locales todo el año**  
*Estrategias con mejor desempeño*

	referente	Dormitorio 2 (Este) (A=7.4m2 V=18m3)						Estar (Este) (A=10.2m2 V=24.6m3)					
		Temperatura ENERO °C			Temperatura JULIO °C			temperatura ENERO °C			Temperatura °C JULIO		
		Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)
Orientación	Sur	35.4	25.84	30.52	25.19	12.85	18.47	38.6	24.3	31	28.4	10.4	19.2
% Huecos	30 H	34.1	25.2	29.7	23.6	11.7	17.2	37.9	24.1	30.5	27.5	9.8	18.1
Tipo de vidrio	U=3.16 y Fs=0.69	34.8	25.5	30.1	24.7	12.6	18.0	37.9	24.7	30.8	27.7	11.0	19.0
Ocupación	Baja	34.7	25.6	30.1	24.6	12.9	18.2	38.6	24.8	31.2	28.4	11.2	19.6
Hs.permanencia	LaV12 hs.SyD24hs.	34.5	24.2	29.4	22.9	9.3	15.6	37.6	23.5	30.1	25.8	8.6	16.6
Aislante p.ext.	3 cm.	34.4	24.5	29.5	23.5	10.2	16.6	38.8	25.2	31.1	27.7	11.3	18.9
Aislante último piso (PyT)	5Ty2P	34.9	25.4	30.1	25.0	12.6	18.2	38.6	24.3	31.0	28.4	10.5	19.2
protecciones solares	ext.móvil horiz, sensor T=25°C	36.0	26.0	30.8	24.5	11.6	17.5	39.7	24.7	31.5	27.9	9.4	18.5
Color	pared clara	33.4	24.2	29.0	25.6	12.4	18.6	36.6	22.9	29.7	28.3	10.0	19.6
	vidrio común	34.6	25.2	29.9	24.8	12.4	18.0	38.4	24.1	30.8	28.3	10.0	19.6
		33.9	24.6	29.3	23.1	11.5	16.9	38.6	24.3	31.0	28.4	10.4	19.2

**Apto. Simplemente orientado - SALTO - Rph=3 en todos los locales todo el año**  
*Estrategias con mejor desempeño*

	referente	TEMPERATURA EXTERIOR						Dormitorio1 (Este) (A=9.8m2 V=23.7m3)					
		Temperatura ENERO °C			Temperatura JULIO °C			Temperatura ENERO °C			Temperatura JULIO °C		
		Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)
Orientación	Sur	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.2	34.3	25.4	29.5	22.3	11.4	16.4
% Huecos	30 H	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.1	32.8	24.6	28.6	20.7	10.4	15.2
Tipo de vidrio	U=3.16 y Fs=0.69	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.1	33.9	25.0	29.2	22.3	11.1	16.2
Ocupación	Baja	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.1	33.5	25.0	29.0	21.7	11.1	16.0
Hs.permanencia	LaV12 hs.SyD24hs.	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.1	33.4	24.2	28.6	21.1	9.6	14.9
Aislante p.ext.	3 cm.	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.1	33.6	24.5	28.9	21.9	10.4	15.8
Aislante último piso (PyT)	5Ty2P	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.1	33.7	25.0	29.1	22.0	11.1	16.2
protecciones solares	ext.móvil horiz, sensor T=25°C	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.1	35.1	25.7	30.0	21.8	10.5	15.7
Color	pared clara	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.2	32.5	23.9	28.1	22.9	11.3	16.6
	vidrio común	38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.2	33.3	24.6	28.7	21.8	10.9	15.9
		38.1	14.0	25.8	26.2	-0.8	12.2	34.3	25.4	29.5	22.3	11.4	16.4

Fig. IV. 28. Temperaturas simuladas para el modelo simplemente orientado Salto



#### 4.4. Aplicación de las estrategias más eficientes a un modelo ajustado

A partir del análisis anterior, se desarrolla la simulación de un modelo ideal que integra todas las estrategias y su variante que determinan menor consumo de energía. Este trabajo se realiza para cada modelo en fluctuaciones libres, es decir que la vivienda no está calefaccionada ni refrigerada de modo de obtener los valores horarios de temperatura interior que se logran por el propio desempeño pasivo del edificio.

##### MD1. Doblemente orientado (DO)

Para el modelo doblemente orientado las estrategias de diseño y su variante que llevan a un menor consumo en Montevideo y Salto son:

- 1- **Porcentaje de área de huecos: 30% (30 H)** se considera área de cerramiento vidriado / área de fachada total \*100.
- 2- **Transmitancia térmica del cerramiento vidriado:** Para Montevideo doble vidriado hermético  $U=3.16 \text{ W/m}^2\text{K}$  y factor solar 0.77. Para Salto vidrio simple  $U=5.8 \text{ W/m}^2\text{K}$  con control solar  $F_s=0.69$ .
- 3- **Transmitancia térmica del cerramiento opaco:** para una masa  $M= 400 \text{ Kg/m}^2$  y para piso intermedio,  $U= 0.70 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 4- **Orientación solar:** Norte para el mayor porcentaje de área de la vivienda.
- 5- **Color exterior de la fachada:** Para Montevideo color oscuro absorptancia  $\alpha=0.90$  y para Salto color claro  $\alpha=0.30$ .
- 6- **Protección solar:** Exterior móvil, activada automáticamente cuando el sensor de temperatura interior asociado registra  $25^\circ\text{C}$ .  
A su vez se trabaja con las mejores opciones de:
- 7- **Área expuesta:** piso intermedio (no techo ni piso expuesto)
- 8- **Densidad de ocupación del espacio:** alta ( $12\text{Kwh/m}^2$ ) para Montevideo y baja ( $6\text{Kwh/m}^2$ ) para Salto
- 9- **Uso de la vivienda:** horario de ocupación de 12 hs de lunes a viernes y 24 hs fines de semanas.

##### MD2. Simplemente orientado (SO)

Para el modelo simplemente orientado las estrategias de diseño aplicadas son:

1. **Porcentaje de área de huecos: 30% a 40% (30 H a 40H)**, se considera área de cerramiento vidriado / área de fachada total \*100
2. **Transmitancia térmica del cerramiento vidriado:** Para Montevideo doble vidriado hermético  $U=3.16 \text{ W/m}^2\text{K}$  y factor solar 0.76. Para Salto doble vidriado hermético  $U=3.16 \text{ W/m}^2\text{K}$  y factor solar 0.69
3. **Transmitancia térmica del cerramiento opaco:** para una masa  $M= 400 \text{ Kg/m}^2$  y para piso intermedio,  $U= 0.70 \text{ W/m}^2\text{K}$
4. **Orientación solar:** Norte para el mayor porcentaje de área de la vivienda en Montevideo. En Salto el mayor porcentaje de área de la vivienda Este – Sur.
5. **Color exterior de la fachada:** oscuro, absorptancia=0.9 para Montevideo y para Salto color claro  $\alpha=0.30$ .
6. **Protección solar:** Exterior móvil, activada automáticamente cuando el sensor de temperatura interior asociado registra  $25^\circ\text{C}$ .  
A su vez se trabaja con las mejores opciones de:
7. **Área expuesta:** piso intermedio (no techo ni piso expuesto)
8. **Densidad de ocupación del espacio:** baja ( $6\text{Kwh/m}^2$ )
9. **Uso de la vivienda:** horario de ocupación de 12 hs de lunes a viernes y 24 hs fines de semanas.

En la Tabla (ver fig.IV.29) se presentan los valores de temperatura obtenidos para el modo ideal en cada caso y ciudad y su comparación con el referente (modelo original).



	Dorm.1						Dorm.2						Estar					
	ENERO			JULIO			ENERO			JULIO			ENERO			JULIO		
	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)	Tx (°C)	Tn (°C)	Tm(°C)
<b>Montevideo</b>																		
Dobl.orientado - Referente	26.8	19.4	23.1	17.7	6.0	11.9	27.0	20.9	24.0	18.8	8.8	13.8	29.2	20.0	24.6	29.3	13.4	21.3
Dobl. orientado - Ideal	27.3	20.6	24.0	25.1	10.5	17.8	27.2	21.9	24.5	25.6	13.8	19.7	28.7	20.7	24.7	19.6	7.9	13.7
Simp. orientación - Referente	27.1	20.7	23.9	19.0	8.5	13.7	28.5	21.8	25.2	22.2	11.2	16.7	32.3	20.9	26.6	25.4	10.0	17.7
Simp. orientación - Ideal	26.9	21.0	23.9	25.5	13.4	19.5	27.2	21.0	24.1	25.4	19.4	19.4	30.2	20.6	25.4	27.2	12.8	20.0
<b>Salto</b>																		
Dobl. orientado - Referente	33.4	23.8	28.6	21.5	8.4	14.9	32.8	24.4	28.6	22.0	10.9	16.5	34.7	23.2	29.0	29.7	13.3	21.5
Dobl. orientado - Ideal	34.0	22.4	28.2	25.5	9.3	17.4	31.9	22.3	27.1	25.5	11.8	18.6	33.2	22.5	27.8	21.1	8.0	14.5
Simp. orientación - Referente	33.8	25.0	29.4	22.0	11.0	16.5	35.0	25.4	30.2	24.9	12.5	18.7	38.6	24.3	31.5	28.4	10.4	19.4
Simp. orientación - Ideal	31.7	23.2	27.4	20.7	9.5	15.1	32.0	23.3	27.6	21.9	9.4	15.7	35.4	23.4	29.4	24.5	9.1	16.8

Fig. IV.29. Tabla comparativa con valores de temperatura obtenidas por simulación, modelos referentes vs modelos ideales, Montevideo y Salto

Se analizan las temperaturas medias alcanzada en los locales de acuerdo a los rangos de confort previamente definido en otros estudios (Chauvie, 2006). Podemos observar que el modelo ideal simplemente orientando excede el rango superior de 27°C de confort (italics y sombreado) en el estar durante el período caluroso en Salto. Mientras que el modelo ideal doblemente orientado en Salto, excede en los valores medios en el dormitorio 1. Aunque si consideramos que con temperaturas entre los 27°C y 28°C podemos obtener confort con una adecuada ventilación natural, los valores serían excedidos sólo en el estar del modelo simplemente orientado. En Montevideo los modelos ideales no presentan disconfort por calor.

En lo que refiere al análisis de las temperaturas en el rango inferior de confort de 18°C, en los modelos ideales de Salto se observan temperaturas inferiores, cercanas a los 15°C (italics sombreado celeste). En Montevideo el modelo ideal doblemente orientado presenta temperaturas bajas en el estar, esto se explica en parte por la orientación sur que presenta. Esta situación debería ajustarse en próximas investigaciones, para evaluar si es posible lograr que las temperaturas se mantengan dentro del rango de confort para nuestra situación climática. En el dormitorio 1 la temperatura media es próxima a los 18°C. El modelo simplemente orientado en Montevideo presenta temperaturas medias dentro del rango de confort.

### Consumo de energía simulada

Posteriormente a este análisis se comparan los consumos de energía de los modelos ideales en contraste con los modelos referentes (situación original del apartamento).

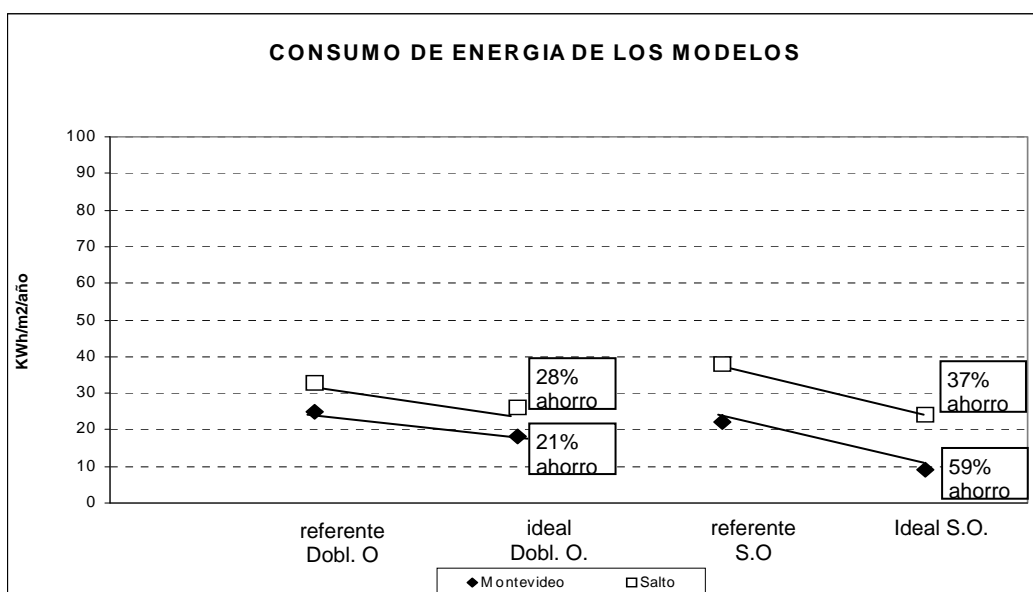


Fig. IV. 30. Consumo de energía de los modelos simulados en Montevideo y Salto



Como se observa en la figura IV.30, el ahorro en el consumo de energía (simulado) que se logra varía entre un 21% a un 59%. Los ahorros obtenidos son mayores para el modelo simplemente orientado. En general se puede decir que son menores en Salto que en Montevideo.

#### Análisis detallado del consumo

Si se desglosa el consumo de energía se puede detallar que en Montevideo, en los dos modelos ideales, se ahorra tanto en refrigeración como en calefacción, aunque en el modelo simple el porcentaje de ahorro es mayor en calefacción (fig. IV.31 y fig. IV.33, Tabla 2).

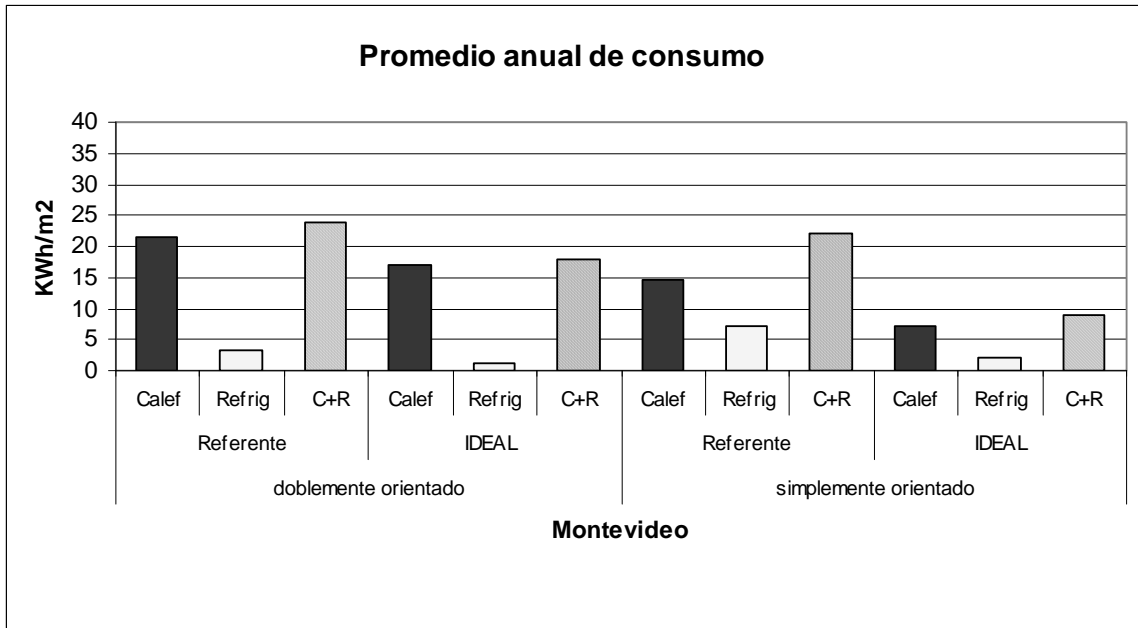


Fig. IV. 31. Tipos de consumo simulado según modelos en Montevideo

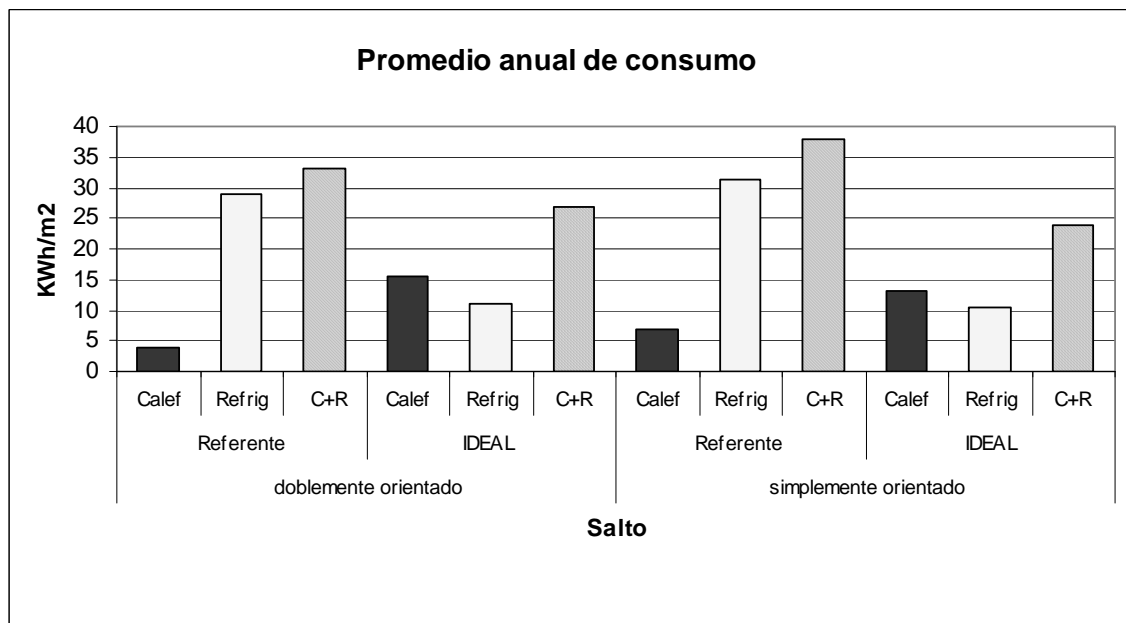


Fig. IV. 32. Tipos de consumo simulado según modelos en Salto.



En Salto el ahorro de energía de los dos modelos ideales se produce básicamente en refrigeración (ver fig. IV.32 y fig. IV.33, Tabla 2). El modelo simplemente orientado ideal en Salto aumenta el consumo de energía en calefacción para la orientación Sur, por lo que se deberían ajustar la estrategia orientación, en un punto de equilibrio entre disminución en el consumo de energía para refrigeración y el aumento de la calefacción (orientación Este –Sur). Esto se debe a que la mayoría de las estrategias del modelo ideal simplemente orientando tienden a evitar las ganancias de energía en el período caluroso, lo que compromete en parte las ganancias del período frío.

Tabla 2. Consumo de energía en kWh

**MONTEVIDEO**

	Referente -D.O.		IDEAL -D.O.		Referente - Simple		IDEAL - Simple	
	Calef	Refrig	Calef	Refrig	Calef	Refrig	Calef	Refrig
total anual (kWh)	1490	223	1179	87	848	414	412	115
consumo total (kWh)	1713		1266		1262		527	
total anual (kWh/m2)	21	3	17	1	15	7	7	2
Calef+Refr (kWh/m2)	25		18		22		9	

**SALTO**

	Referente -D.O.		IDEAL -D.O.		Referente - Simple		IDEAL - Simple	
	Calef	Refrig	Calef	Refrig	Calef	Refrig	Calef	Refrig
total anual (kWh)	266	2005	1087	736	406	1821	761	606
consumo total (kWh)	2271		1823		2227		1367	
total anual (kWh/m2)	4	29	16	11	7	31	13	10
Calef+Refr (kWh/m2)	33		26		38		24	

Fig. IV. 33. Consumo de energía, modelos referente e ideal, Montevideo y Salto



## Capítulo 5: Conclusiones

### 5.1. La eficiencia y el ahorro energético en el parque habitacional

Cada edificio debiera ser el resultado de procesos locales que combinen diversas pautas climáticas, culturales y tecnológicas sin depender de referentes en modelos foráneos. Es fundamental el rol del profesional arquitecto y/o ingeniero, ya que en su área de decisión y acción está involucrado un porcentaje alto del consumo energético del país y de las condiciones interiores a que serán sometidos los usuarios.

El desarrollo de una reglamentación que está dando sus primeros pasos y de pautas de diseño para la eficiencia energética requiere el conocimiento de la realidad. Conocer nuestra realidad resulta insustituible para apoyar a la investigación y para orientar pautas con criterios adecuados. El análisis de datos experimentales medidos en un cierto período permite detectar patrones de comportamiento repetitivos y su frecuencia. Asimismo evaluar el andamiento de las temperaturas interiores y el consumo de energía a partir de determinadas estrategias de diseño aplicadas. Esta investigación muestra la necesidad de manejar las estrategias y pautas de diseño atendiendo a la diversidad climática y humana del contexto.

#### Normativa

Como ya se expuso desde el año 2005 se desarrolla en Uruguay un programa de alcance nacional denominado Proyecto de Eficiencia Energética (EE), desarrollado por el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) que tiene como objetivo promover el uso eficiente de la energía empleada por los usuarios finales en todos los sectores económicos.

En Uruguay no existen normas técnicas sobre ahorro de energía ni de eficiencia energética en edificaciones. Por este motivo el MIEM a través de la Dirección Nacional de Energía y Tecnología nuclear (DNETN) estableció convenios con instituciones para establecer normativas técnicas en materia de ahorro y eficiencia energética, por ejemplo con el Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT) y con la Intendencia Municipal de Montevideo (IMM), entre otros.

Por otro lado a nivel municipal, el digesto menciona que las viviendas deben cumplir con un aislamiento mínimo necesario, que no llegó a reglamentarse nunca. En el marco del Proyecto de Eficiencia Energética, la Intendencia Municipal de Montevideo decidió realizar la actualización de la normativa en materia de higiene de la vivienda, con la finalidad, en primera instancia, de contemplar sólo las exigencias mínimas de aislación térmica en el sector residencial para reducir el consumo de energía para calefacción. Para ello se formó un grupo de trabajo con técnicos de diversas instituciones involucradas en la temática, entre ellos el Departamento de Clima y Confort en Arquitectura (DECCA) de la Facultad de Arquitectura, actuando este último como equipo asesor para la elaboración y discusión de los documentos de trabajo que sirvieron de insumo a la redacción final de la reglamentación. En el proceso de trabajo y discusión se decidió ampliar el alcance de la revisión de la normativa de manera de apuntar hacia la reducción de la demanda de energía para acondicionamiento térmico (calefacción y refrigeración).

Alguno de los estudios que se presentan en este informe final, se discutieron y se adecuaron a las condicionantes del contexto. El grupo de trabajo tomó decisiones respecto al encuadre y exigencias a establecer en la reglamentación sobre la demanda de energía para acondicionamiento térmico. Se pretende que el Municipio de Montevideo, que concentra la mitad de la población del país, sea un referente en la temática para que los procesos puedan ser replicables; que los actores involucrados en la industria de la construcción no opongan trabas pero sí que aporten en las revisiones periódicas, entre otros factores. En este marco, se decidió mantener el valor de transmitancia térmica para cerramientos opacos  $U \leq 0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$  exigido por el Banco Hipotecario del Uruguay desde 1999 como límite máximo. Este parámetro, junto con la orientación y el factor de huecos resultaron de mayor impacto sobre el consumo en calefacción, por lo tanto también se limita el factor de huecos y la transmitancia de ventanas según la orientación solar. Para controlar el consumo de energía en refrigeración se establecen el factor de huecos y el factor solar de la ventana como los parámetros con exigencias límite. Este es sólo un primer paso pero muestra como la investigación puede dar insumos a la producción constructiva nacional.





## 5.2. Pautas de diseño más eficientes para Salto y Montevideo

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 húmedo con influencia marítima, se recomiendan las estrategias y su criterio de aplicación, sea que se trate de atender los requerimientos del período frío y/o del caluroso. Para la ciudad de Salto que presenta un clima más cálido que Montevideo, se presentan las mismas estrategias para el período frío y caluroso pero con los criterios ajustados a sus características climáticas.

### Concepción y diseño de un proyecto demostrativo

Para dar cumplimiento al objetivo de desarrollar pautas de diseño bioclimático con criterios precisos que permitan lograr un proyecto de vivienda energéticamente más eficiente, se presentaron los modelos ideales que combinan las estrategias que tienen mayor potencial de ahorro de energía en base a criterios ajustados. En esta etapa de la investigación solo se simuló dos modelos ideales, pero es necesario mayor número de simulaciones. Por ejemplo como se explicó, el modelo simplemente orientado ideal en Salto aumenta el consumo de energía en calefacción por lo que se deberían ajustar aún más las estrategias de diseño, ya que habría que evaluar cuáles es el punto de equilibrio entre disminución en el consumo de energía por refrigeración y el aumento de la calefacción. Esto se debe a que la mayoría de las estrategias del modelo ideal simplemente orientando tienden a evitar las ganancias de energía en el período caluroso, lo que compromete en parte las ganancias del período frío.

### Potencial del ahorro energético en viviendas de acuerdo a las alternativas propuestas.

En Montevideo y en Salto se observa que las estrategias de diseño que habitualmente adoptan los arquitectos condicionan los consumos de energía de la vivienda. Por ejemplo, las protecciones solares más habituales tipo cortina de enrollar, determinan un menor consumo de energía anual. Esto está en correspondencia con el peso que tiene el sombreado que es una estrategia bioclimática específica para las dos ciudades. Es fundamental que los arquitectos seamos conscientes de esto.

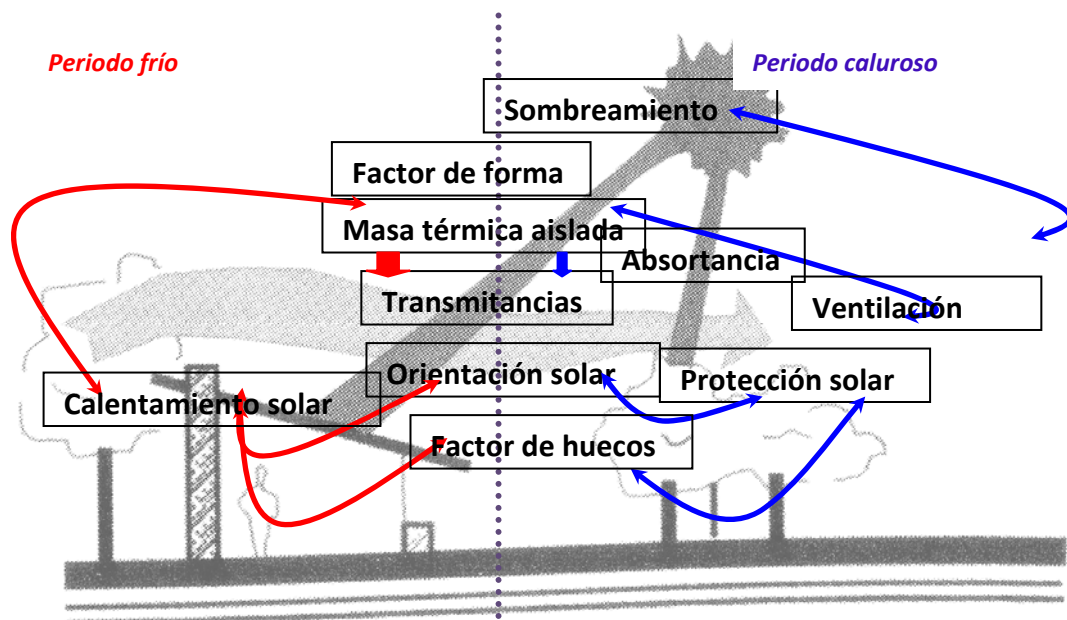


Fig.V.1. Estrategias bioclimáticas aplicables para clima templado en cada período y sus relaciones



En lo que refiere a Montevideo las estrategias con mayor peso en el ahorro de energía son las que **atienden los problemas del frío**. Dentro de ellas el área que una vivienda expone con el exterior es determinante en los consumos de energía, es decir a mayor **área expuesta** mayor consumo de energía. A esta estrategia se agrega lo que ya exponen otros autores como parámetro significativo en el desempeño térmico de los edificios: el **porcentaje de área vidriada por fachada** el cual permite también ver el impacto de la volumetría de los edificios en el consumo de energía (Lamberts y Carlo, 2007). Si observamos los resultados del porcentaje de área de huecos, a partir de un factor de hueco superior al 30% los consumos de energía para calefacción y refrigeración se incrementan a medida que aumenta el factor de hueco.

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, 2002). Las simulaciones térmicas mostraron el bajo impacto del aislamiento sólo en paredes sobre la reducción del consumo de energía anual, en cambio el impacto de reducción que presenta el aislante en el techo es de casi un 40%. Tanto en Montevideo como en Salto se muestra también cómo al aumentar el espesor de aislante el consumo en refrigeración no disminuye sustancialmente.

En Montevideo en lo que atañe a los **problemas del calor**, las estrategias con mayor impacto sobre el ahorro de la energía son el factor de área vidriada o de huecos, la orientación solar de los cerramientos vidriados y la colocación de protecciones solares.

En Salto la aplicación de las estrategias de diseño que tienen que ver con el control de la energía incidente ya sea protecciones solares, porcentaje de área de huecos en fachada, orientación y color de las superficies son determinantes en el consumo de energía total de la vivienda, específicamente en refrigeración.

También los usuarios juegan un papel trascendental en el empleo de las pautas de diseño. En todos los casos es fundamental la participación del usuario para el correcto funcionamiento de las estrategias, el claro ejemplo es el uso de las protecciones solares y la ventilación nocturna.

### 5.3. Futuras investigaciones

Una investigación es siempre una etapa concluida, pero abre la puerta a otras investigaciones sobre pautas de diseño bioclimático:

Continuar las investigaciones sobre confort en el sector residencial: Ajuste de los rangos de confort en Montevideo y en Salto a partir del modelo adaptativo de confort y su relación con pautas de uso.

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.

Avanzar en el estudio y simulación de la ventilación natural y sus posibilidades de aplicación.

Establecer el consumo anual de energía kWh/m<sup>2</sup>/año (en calefacción y refrigeración) de modo de contar con un parámetro global para evaluar eficiencia energética y a su vez dúctil para los proyectistas.

Otra línea importante que se comienza a desarrollar refiere a la eficiencia energética en edificios comerciales y de servicios.



## Capítulo 6: BIBLIOGRAFIA

- ALTENER (2000). Programme for Energy, AIOLOS Project (Passive ventilation for buildings), ZEPHYR Architectural Competition – Energy research Group. Disponible en: <http://www.managenergy.net/indexes/I32.htm>. Acceso: 17 de junio de 2009.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, ASHRAE Standard 140-2001, Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs.
- BUENO, et al. (2006). Análise comparativa na simulacao de modelo habitacional nos softwares Energy Plus e Tas. Anales de XI Entac 2006. Florianópolis, Brasil
- CHAUVIE, V.(2003). Selección de programas para la predicción del comportamiento térmico de edificios. Informe final. Montevideo.
- CALDES, L. (2007). Matriz energética y evolución económica del Uruguay (1965 - 2005). Disponible en: [www.fcs.edu.uy/investigacion/Jornadas2007/Documentos/Caldes.pdf](http://www.fcs.edu.uy/investigacion/Jornadas2007/Documentos/Caldes.pdf). Acceso: mayo 2009
- CORBELLA, O y S. YANAS (2001). Learning from build examples in Rio de Janeiro, Brasil.
- DIRECCIÓN NACIONAL DE METEOROLOGÍA (1996). Normales Climatológicas, Uruguay.
- DIRECCIÓN NACIONAL DE ENERGÍA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR (DNETN), Balance energético, 2007. Disponible en: [www.dnetn.gub.uy](http://www.dnetn.gub.uy), Acceso en mayo 2009.
- ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. BUILDING TECHNOLOGIES PROGRAM - **Weather Data**. Disponible en: [www.eere.energy.gov/buildings/EnergyPlus](http://www.eere.energy.gov/buildings/EnergyPlus). Acceso: 6 de marzo de 2009.
- FLORES LARSEN et all (2001). Simedif, Software. Desarrollado por el Instituto de Investigación en Energía no convencional, Universidad Nacional de Salta. Argentina.
- GIVONI B. (1969) Man, Climate and Architecture. Elsevier Architectural Science Series. Editor Henry J. Cowan.
- GIVONI B. (1992) Comfort, climate analysis and building design guidelines. Energy and Buildings. Vol. 18,1;11-25.
- GIVONI B. (1994) Passive and low energy cooling of buildings. Nova lorque: Van Nostrand Reinhold.
- GIVONI ET AL. (2002) Predicting thermal performance of housing types in developing countries with minimum climatic data. In: World Renewable Energy Congress VII, Colônia-Alemanha, 2002. Anais... Colônia: Elsevier Science Ltd.
- GROSSI GALLEGOS H., et al. (2003). Algunos comentarios sobre el modelo de Suehrcke y su aplicación en Argentina. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 7(2), 11.01-11.05 versión CD-ROM.
- KOLOKOTROINI M y YOUNG A (1990). Guidelines for bioclimatic housing design in Greece.
- KRÜGER. E. (2003) O uso de equações preditivas na avaliação do desempenho térmico de um sistema construtivo alternativo para habitação de interesse social. **Revista do Ambiente Construído**, Edição Especial sobre Conforto e Energia, pp. 77-86. 2003.
- LAVINGE P, ET AL, (2003) Arquitectura Climática. Tomo 1: Bases físicas. Tomo 2: Conceptos y dispositivos. Universidad Nacional de Talca, 1ª edición.
- LOMAS K. y EPPEL H. (1992) Sensitivity analysis techniques for building thermal simulation programs. Energy and Buildings 19,1, 21-45.
- MATHEWS, ET AL, (1994) Validation and futher development of a novel thermal analysis method. Building & Environment, vol. 29, Nº2 1994.
- NEGRETE, J et al (2002). Viviendas rurales: principales estrategias hacia un acondicionamiento bioclimático en el Valle de Calchaquí provincia de Tucumán.
- NEILA J. Y BEDOYA C. (2004). Técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental.
- RIVERO, R. (1988). Arquitectura y clima. Acondicionamiento natural. División publicaciones y ediciones Universidad de la República.



Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo

Departamento de Clima y Confort en Arquitectura – Instituto de la Construcción  
Facultad de Arquitectura UDELAR  
Proyecto de Investigación financiado por el PDT – DICyT – MEC. 2006 / 2008.

PAPST, A. (2004). Método estimativo da temperatura interna de edificações residenciais em uso. Tesis de doctorado.

PAPST, A. y LAMBERTS. R, (2001). Thermal Performance Evaluation of three houses in Florianópolis, South of Brazil. In: PLEA 2001, 18.,2001, Florianópolis. **Anais...**Florianópolis: Pereira et al., 2001. p. 293-298.

PICCIÓN. A, et al. (2004). Evaluación del desempeño térmico de un sistema constructivo liviano para la situación climática de Uruguay. Informe final Csic, Montevideo.

PICCIÓN, A y MILICUA, S. (2005). Tratamiento de datos climáticos de localidades de Uruguay para evaluación térmica y energética de proyectos y edificios. Informe final Csic, Montevideo.

PICCIÓN. A, et al. (2007). Definición de prototipos para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial público de Uruguay, en Anales Encac, 2007.

PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO, PNUD, PNUMA, (2008). Geo Uruguay. Informe del Estado del Ambiente. Uruguay . Ed. Mosca. Uruguay, 348pp

RIGHINI R. y GROSSI GALLEGOS H. (2003) Aproximación a un trazado de nuevas cartas de irradiación solar para Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 7(2)*: 11.07-11.11 versión CD-ROM.

SOARES, J et al (1991). Introdução à estatística. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

USINAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA, UTE (2008). Disponible en: [http://www.ursea.gub.uy/electricidad/sector\\_electrico/sist\\_electrico.htm](http://www.ursea.gub.uy/electricidad/sector_electrico/sist_electrico.htm). Acceso: 22 de Junio de 2009.

VUAN, B. Perspectivas de la industria energética en el Uruguay: la participación del Estado como empresario en el sector (<http://www.laondadigital.com/laonda/LaOnda/Documentos/Perspectivas%20de%20la%20industria%20energetica%20en%20el%20Uruguay.htm>). Acceso junio 2009

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Building Simulation Calibration Using Sensitivity Analysis. In: BUILDING SIMULATION, 9., 2005, Montreal. **Proceedings...** Montreal: IBPSA, 2005. p. 1331-1338.

UNIT- Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. UNIT - ISO 1026:99 (2009). Energía solar vocabulario. Montevideo.

UNIVERSIDAD DE ZULIA (2000), Arquitectura y urbanismo en el trópico, Maracaibo-Venezuela.

#### **PAGINAS WEB CONSULTADAS:**

[http://www.miliarium.com/Monografias/Construccion\\_Verde/Herramientas\\_Disenio\\_Bioclimatico.htm](http://www.miliarium.com/Monografias/Construccion_Verde/Herramientas_Disenio_Bioclimatico.htm). Acceso junio 2009

[http://www.construmatica.com/construpedia/Imagen:Carta\\_Bioclim%C3%A1tica.jpg](http://www.construmatica.com/construpedia/Imagen:Carta_Bioclim%C3%A1tica.jpg)

<http://www.dnetn.gub.uy>, Acceso en agosto 2008

[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data2.cfm/region=3\\_south\\_america\\_wmo\\_region\\_3](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data2.cfm/region=3_south_america_wmo_region_3). Acceso junio 2009