

MEDICIONES HIGROTÉRMICAS Y DE ENERGÍA EN VIVIENDAS DE CONSTRUCCIÓN MASIVA

I. Blasco Lucas¹, D. Pontoriero², L. Hoesé², C. Carestia³

(1) (3) Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa) – Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD)
Universidad Nacional de San Juan (UNSJ) – Av. Ignacio de La Roza y Meglioli – 5400 San Juan – Argentina
Tel.: +54(0)264 423 2395 / 3259 – Fax: +54(0)264 423 5397 – E-mail: iblasco@farqui.unsj.edu.ar
<http://www.unsj.edu.ar/arquitect/FAUD.htm>

(2) Instituto de Energía Eléctrica (IEE) – Facultad de Ingeniería (FI) - Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)
Avda. Lib. San Martín 1109 (O) - 5400 San Juan – Argentina - Tel: +54(0)264 422 6444 – Fax: +54(0)264 421 0299
E-mails: dpontori@iee.unsj.edu.ar, lhoese@iee.unsj.edu.ar - <http://www.iee-unsj.org>

RESUMEN

Con el fin de realizar un diagnóstico del comportamiento higrotérmico real y su relación con los consumos energéticos, de diferentes tipos de viviendas que se construyen masivamente en la ciudad de San Juan, Argentina, se llevan a cabo monitoreos durante períodos cortos en invierno y verano de dos unidades para dos orientaciones diferentes, de cada una de las cinco tipologías básicas analizadas. Los parámetros medidos en forma continua son: irradiancia solar, humedad relativa interior, temperatura interior y exterior y consumo eléctrico. Los consumos de energía (electricidad y gas) se analizan en base a datos mensuales, adicionalmente, se entrevista a los moradores. Los parámetros se interrelacionan, aplicando técnicas estadísticas sistemáticamente, realizando gráficas de evolución temporal y dispersión. Los resultados demuestran que las viviendas no se adecuan a las condiciones ambientales de la zona, permaneciendo en discomfort principalmente en verano, con elevadas temperaturas interiores, baja humedad relativa y grandes oscilaciones térmicas. En invierno, el uso de estufas a gas, permite confort diurno. El consumo de energía no guarda una relación directa con los índices térmicos. En algunos casos es evidente la incidencia de la orientación de la vivienda y en el resto, la influencia de los hábitos de los habitantes.

ABSTRACT

Aimed to get a diagnosis of the real higrothermal comfort related to the energy consumption in different type of dwellings, which are massive built in San Juan, Argentina, is carried out a monitoring during short periods of summer and winter in two units with different orientations of each one of the five basic typologies analysed. Continuously measured parameters are: solar irradiance, indoor relative humidity, indoor and outdoor temperature and electric consumption. Energy consumption is studied from monthly data, additionally inhabitants are interviewed. Parameters are interrelated applying statistic techniques systematically, obtaining timely evolution and dispersion graphics. Results show that the houses are inadequate for the local environmental and living way of the zone, staying in discomfort mainly in summer, with high temperatures, low relative humidity and large thermal swings. The use of gas stoves in winter allows diurnal comfort. Energy consumption is not direct related with the thermal indexes. In some Cases the influence of the house's orientation is evident, and in the rest the inhabitant's habits.

¹ Directora de Proyecto. Magíster en Energías Renovables (UIA-España).

1. INTRODUCCIÓN

El parque edilicio sanjuanino de uso residencial ha crecido notablemente en forma extensiva en las últimas dos décadas. La modalidad utilizada para ello, consistió en la ejecución masiva en terrenos suburbanos de bajo costo, por parte de empresas constructoras, de barrios formados por una única tipología de vivienda de 2, 3 o 4 dormitorios en cada uno de ellos, orientada arbitrariamente. La mayoría responde de esta forma a los requerimientos de operatorias FONAVI, a través del IPV, o del Banco Hipotecario Nacional y en los últimos diez años también de la banca privada. La necesidad de lograr la máxima economía en la inversión inicial, acompaña estas decisiones, al igual que la reducción extrema de superficie y el uso de elementos, materiales y técnicas constructivas no suficientemente aptas para el clima local.

Las características enunciadas repercuten en la posibilidad de experimentar bienestar en su interior por parte de los usuarios, a costos razonables, ya que son familias de ingresos medios y bajos. El interés de conocer las condiciones térmicas y energéticas reales que este tipo de solución habitacional ofrece, nos induce a llevar a cabo campañas sistemáticas de medición. En este marco se seleccionan cinco tipologías, que suman un total de 1464 viviendas individuales.

Las auditorías energéticas edilicias resultan de suma utilidad para efectuar verificaciones, diagnósticos y formulación de programas orientados a lograr una mayor eficiencia en el parque construido. En el exterior (HERAS & MARCO, 1991) y en nuestro país (ROSENFELD et al., 2000) se han realizado importantes trabajos en esta línea, aplicando diferentes procedimientos apropiados al enfoque de los mismos, o adaptados a los medios con que se contaba. El presente trabajo pretende realizar un aporte en esta dirección, continuando investigaciones iniciadas en el año 1999 (BLASCO LUCAS et al., 2000).

2. PROCEDIMIENTO APLICADO

En función del equipamiento para mediciones que se disponía, se dividió cada vivienda en dos zonas funcionales y se instalaron a 1.7 m de altura, adheridos a paredes de cada zona, dos dataloggers HOBO tipo 8, los que grabaron lecturas cada 10 minutos. Además se contó con una estación meteorológica para realizar el monitoreo de datos climáticos y registradores de perfil de carga cada 1 minuto, colocados en los domicilios, por la empresa distribuidora de electricidad (Energía San Juan).

Los parámetros térmicos analizados fueron: irradiancia solar (I), humedad relativa interior y temperatura interior y exterior. Con el objeto de determinar los niveles de confort o desconfort en las viviendas se interrelacionan los parámetros, aplicando técnicas estadísticas. Para el estudio térmico se realizó el análisis de dispersión, relacionando: la diferencia de temperaturas horarias internas versus las respectivas externas, temperaturas internas horarias versus humedad interna horaria, temperatura interna versus temperatura externa y diferencias de temperaturas externa e internas versus temperatura externa.

Análisis mixtos relacionan el consumo eléctrico horario con tres variables: diferencia de temperaturas interiores y exteriores, grados días horarios (GD) y sus respectivos índices climáticos (I/GD). El análisis energético se realiza en base a datos mensuales de consumo eléctrico y de gas, cedidos por las respectivas empresas distribuidoras, comparando los consumos totales de cada caso con los del conjunto de los barrios correspondientes y obteniendo la ubicación en los rangos de frecuencias. También se obtienen los consumos totales y los porcentajes de consumo de gas y electricidad, mensuales, estacionales y anuales.

Adicionalmente se estudia la evolución temporal de todos los parámetros durante el período medido. Al mismo tiempo se realiza una entrevista a los habitantes de la vivienda, para poder distinguir aquellos hábitos que tienen influencia en el comportamiento térmico y energético, que podrían distorsionar la interpretación de los resultados. La información se procesa en planillas EXCEL, especialmente programadas para este fin y se utiliza la facilidad de filtrado para seleccionar la cantidad de días y la vivienda que se desea analizar.

3. DATOS DE VIVIENDAS ANALIZADAS

Para el propósito de la investigación era suficiente que las viviendas pertenecieran a los barrios con mayor cantidad de unidades, cuya información fuese accesible. En ellos se hizo una selección aleatoria de dos hogares por barrio, orientados en las dos direcciones predominantes, entre los pocos usuarios que aceptaron colaborar con la investigación. En la Tabla 1A del Apéndice se puede observar en valores absolutos y relativos que la mayor cantidad de viviendas en los barrios analizados orientan su fachada hacia el Norte (NS) o el Sur (SN), seguidas por las que enfrentan el Oeste (OE) y el Este (EO). Se designan los barrios por siglas: Ar (Aramburu), CRa (CGT Rawson), MBSJ (Mutual Banco San Juan, CRI (CGT Rivadavia) y RiN (Rivadavia Norte). Las otras siglas corresponden a: Noreste (NESO), Sudeste (SENO), Sudoeste (SONE) y Noroeste (NOSE). La Figura 1A del Apéndice representa las fachadas y plantas de cada Caso, con su zonificación, localización de sensores y equipamiento para acondicionamiento térmico.

La Figura 1 nos muestra datos de cada vivienda e índices calculados. El volumen de masa relativo es el cociente entre el volumen de masa térmica total y el volumen de la vivienda. El porcentaje de aventanamiento se obtiene de relacionar la superficie total de ventanas con la superficie neta de muros. Se utiliza el método del Laboratorio Los Álamos (BALCOMB et al., 1982) para el cálculo de los Coeficientes de Carga Térmica (CCT), Neto de Pérdidas de Carga (CNPC) y de Carga Colector (CCC).

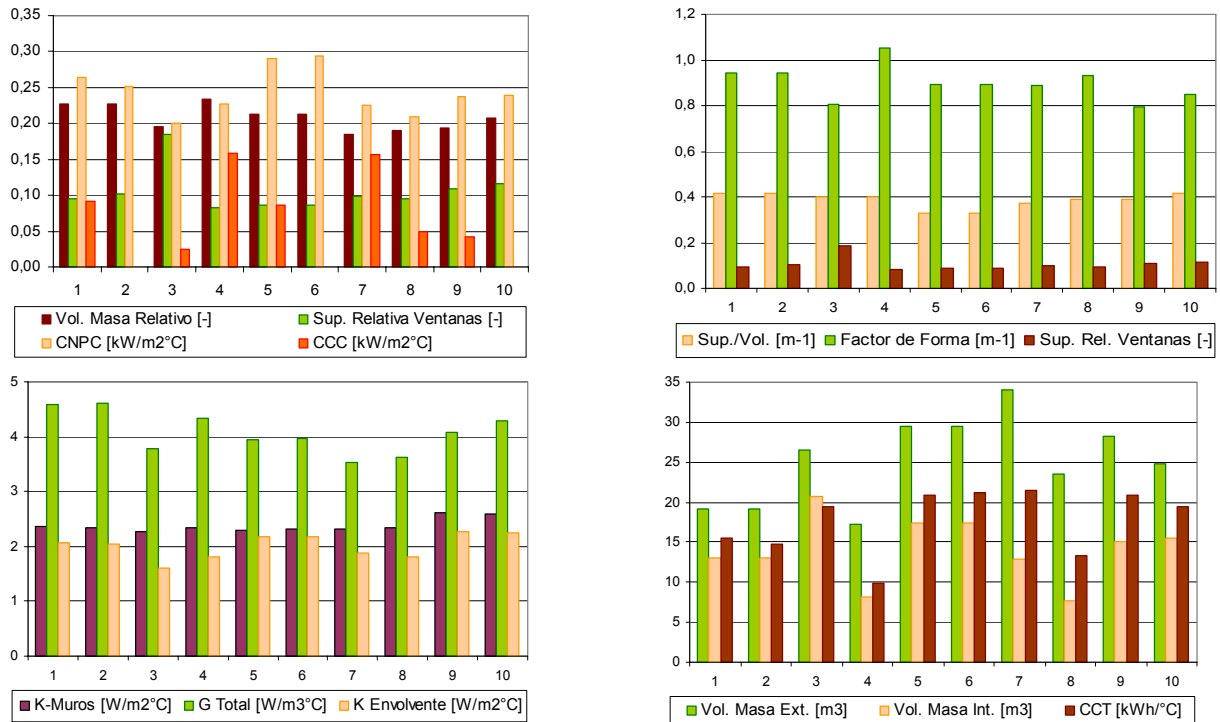


Figura 1 - Datos e índices de las viviendas analizadas

4. ANÁLISIS TÉRMICO

4.1. Mediciones y cálculos realizados

Las Tablas 1 y 2 muestran los períodos de medición efectuados y los datos promedios de irradiancia, humedad relativa y temperaturas con sus respectivas desviaciones estándar. Se incluye el cálculo de los Grados-Día sobre la base de temperatura exterior y temperatura de referencia de 18°C para invierno y 20°C para verano y el consumo de energía diario total (electricidad y gas). Los Casos 1, 2, 7 y 8 resultan

los más desfavorables en verano, cuyas mediciones fueron realizadas durante un período de temperaturas muy elevadas.

Tabla 1 – Períodos de medición de invierno: promedios de mediciones y cálculos

Caso	Promedios de Mediciones y Cálculos de Invierno																
	Fechas		Horas Medidas	Irradiancia [kWh/m2]		Temperatura [°C]						Humedad Relativa [%]				GD (18) [°C]	Energía Diaria Total [kWh]
	Inicio	Final		Promedio	Desv. Est.	Exterior		Estar		Dormir		Estar		Dormir			
						Promedio	Desv. Est.	Promedio	Desv. Est.	Promedio	Desv. Est.	Promedio	Desv. Est.	Promedio	Desv. Est.		
1	26/07/02	11/08/02	296	418	234	13,0	4,2	17,4	2,0	16,7	1,0	58,3	8,1	69,7	7,4	5,0	16,4
2	30/07/02	17/08/02	391	379	230	12,7	4,1	18,9	1,7	17,4	1,0	49,6	8,2	59,7	9,2	5,3	18,5
3	04/07/02	17/07/02	311	325	193	12,0	4,1	16,8	1,4	16,6	1,6	50,9	9,0	58,6	11,6	6,1	23,5
4	04/07/02	17/07/02	311	330	193	12,0	4,1	16,7	1,9	15,3	8,5	49,6	8,5	56,6	10,9	6,1	21,7
5	12/06/02	26/06/02	342	326	199	9,8	4,1	19,7	1,9	15,7	1,3	34,6	3,8	50,1	6,4	8,3	38,3
6	12/06/02	26/06/02	342	324	200	9,8	4,1	20,1	2,0	20,9	3,5	42,7	5,6	48,4	9,3	8,2	41,8
7	02/05/02	17/05/02	365	182	138	16,8	3,5	21,6	1,0	21,0	0,7	53,8	6,4	61,5	7,5	1,2	43,5
8	02/05/02	17/05/02	365	161	138	16,8	3,5	20,0	1,1	20,4	1,5	61,3	10,3	60,3	11,3	1,2	29,1
9	22/05/02	05/06/02	334	132	102	13,5	3,8	20,5	1,3	17,7	0,9	54,9	7,7	72,3	7,2	4,5	33,3
10	22/05/02	05/06/02	334	138	105	13,5	3,8	20,1	1,6	17,9	1,0	46,9	9,0	56,3	11,3	4,5	27,5

Tabla 2 – Períodos de medición de verano: promedios de mediciones y cálculos

Caso	Promedios de Mediciones y Cálculos de Verano																
	Fechas		Horas Medidas	Irradiancia [kWh/m2]		Temperatura [°C]						Humedad Relativa [%]				GD (20) [°C]	Energía Diaria Total [kWh]
	Inicio	Final		Promedio	Desv. Est.	Exterior		Estar		Dormir		Estar		Dormir			
						Promedio	Desv. Est.	Promedio	Desv. Est.	Promedio	Desv. Est.	Promedio	Desv. Est.	Promedio	Desv. Est.		
1	07/02/01	22/02/01	361	512	315	28,5	5,6	29,8	2,0	29,7	1,6	37,3	7,9	39,4	8,5	8,5	12,7
2	07/02/01	22/02/01	361	515	315	28,5	5,6	31,6	1,7	30,6	1,7	35,8	7,9	38,2	8,6	8,5	9,7
3	07/11/00	22/11/00	358	600	396	23,4	5,9	25,9	2,3	26,4	2,0	31,8	8,4	33,1	7,9	3,4	15,8
4	07/11/00	22/11/00	358	590	396	23,4	5,9	25,6	2,8	26,0	2,8	30,9	2,8	31,2	7,7	3,4	9,0
5	06/03/01	29/03/01	549	385	262	22,3	6,2	25,5	2,8	26,1	3,2	51,0	9,5	50,5	8,6	2,3	9,7
6	06/03/01	29/03/01	549	400	269	24,3	6,3	28,5	3,7	28,3	3,4	45,5	7,9	47,1	7,4	4,3	10,1
7	28/12/01	29/01/02	787	616	393	28,5	5,1	29,9	1,9	30,7	1,8	34,4	5,9	32,0	4,8	8,5	36,9
8	28/12/01	29/01/02	787	615	393	28,5	5,1	29,9	2,6	28,5	2,8	34,7	7,1	38,4	8,5	8,5	33,1
9	07/12/00	22/12/00	356	591	395	27,9	4,6	30,2	1,4	28,9	1,5	29,5	4,9	31,9	5,5	7,9	19,0
10	07/12/00	22/12/00	356	622	395	27,9	4,6	30,8	1,3	29,7	1,8	30,6	5,4	32,7	6,1	7,9	20,3

4.2. Estudio estadístico de dispersión

La Figura 2 muestra algunas de las gráficas de dispersión tipo realizadas para el análisis térmico de los Casos 7 y 8. Se puede apreciar el importante desfasaje que existe respecto a la zona de confort, las grandes amplitudes y oscilaciones térmicas interiores, y el incremento de consumo eléctrico a medida que se acentúan los Grados Día en base 20°C (tomados negativos, por tratarse de verano). Es de destacar que estos Casos se encuentran entre los más consumidores de energía (Ver Tabla 3). Sin embargo, el resto de los Casos también se comportan térmicamente en forma muy similar.

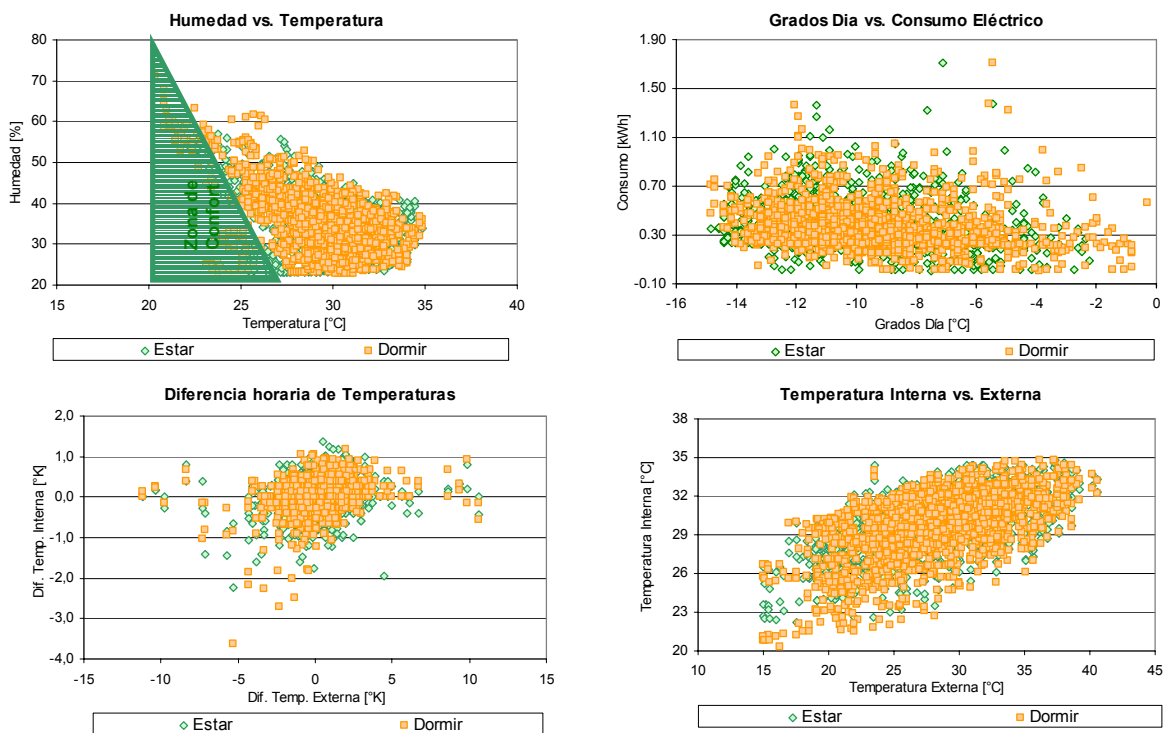


Figura 2 - Diagramas de dispersión de datos térmicos de los Casos 7 y 8, para verano

4.2. Estudio de la evolución temporal

Se analizan los datos en cuatro tipo de gráficos, uno como el de la Figura 3, donde E indica la zona Estar y D la Dormir. En otro gráfico similar, pero en vez de irradiancia solar, se incluye consumo eléctrico y otros dos que comparan las zonas respectivas de ambas viviendas. El ejemplo muestra un período crítico de verano para el Caso 7.

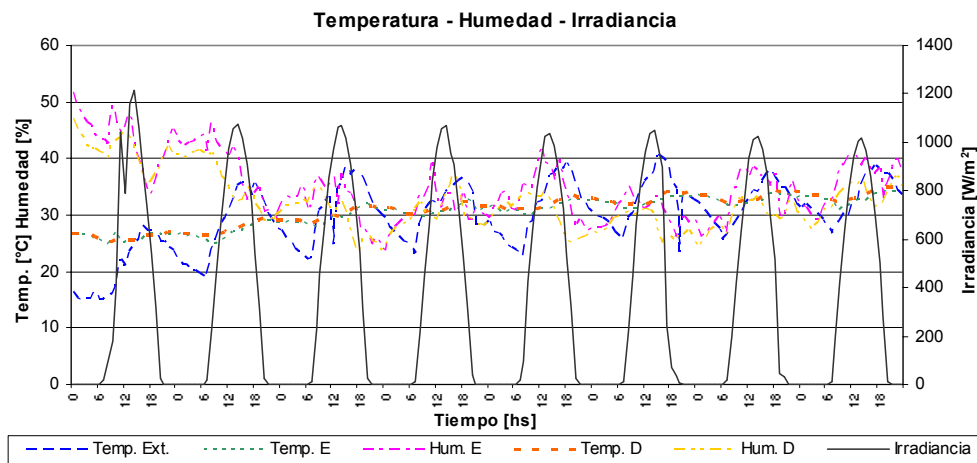


Figura 3 - Evolución temporal de un período para el Caso 7, en verano

5. CONSUMO DE ENERGÍA

Entre el comportamiento térmico de las viviendas y los niveles de consumo de energía existe una estrecha interrelación (BLASCO LUCAS et al., 2002). Por este motivo se incluye información al respecto. Los consumos anuales, mensuales y estacionales de cada Caso, en valores absolutos y relativos para el año 1999, se observan en la Tabla 3. Además figuran las frecuencias del intervalo de consumo

correspondiente, por lo que se puede afirmar que los Casos analizados representan a un universo de 657 viviendas. La fracción de consumo de electricidad y gas se obtiene dividiendo el consumo respectivo por estación, en el consumo de energía total anual. La Figura 4 representa el consumo de energía mensual, estacional y anual en valores absolutos.

Tabla 3 - Consumo de energía total anual, mensual, estacional y frecuencias

Caso	Cantidad de Habitantes	Ingresos mensual [€]	Frecuencia por intervalo de consumo [-]	Consumo de Energía Total [kWh]											
				Anual	Promedio Mensual	Anual / m ²	Invierno			Verano			Resto del Año		
							Total	Fracción del Total	Promedio Mensual	Total	Fracción del Total	Promedio Mensual	Total	Fracción del Total	Promedio Mensual
1	4	610	147	5241	437	89	2392	0.46	598	1273	0.24	318	1575	0.30	394
2	3	1295	147	5699	475	96	2815	0.49	704	1184	0.21	296	1699	0.30	425
3	6	500	147	6367	531	66	2505	0.39	626	1737	0.27	434	2124	0.33	531
4	2	400	86	4539	378	104	2205	0.49	551	905	0.20	226	1428	0.31	357
5	5	2200	155	7048	587	98	3494	0.50	873	1511	0.21	378	2043	0.29	511
6	5	1100	155	7657	638	106	4283	0.56	1071	1384	0.18	346	1990	0.26	498
7	5	1500	24	17672	1473	185	9232	0.52	2308	3633	0.21	908	4806	0.27	1201
8	7	1633	38	13072	1089	205	5062	0.39	1265	3066	0.23	766	4945	0.38	1236
9	3	400	86	12000	1000	137	5582	0.47	1395	2476	0.21	619	3942	0.33	985
10	4	370	121	9802	817	121	4752	0.48	1188	2084	0.21	521	2966	0.30	742

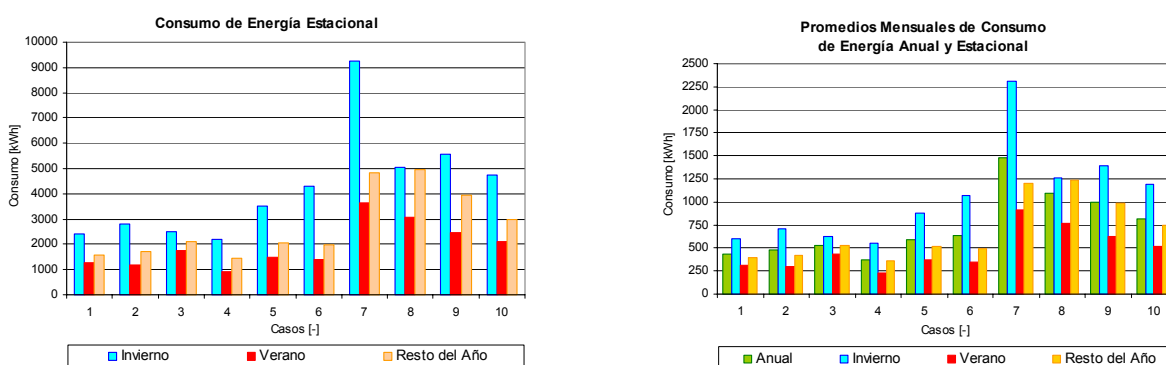


Figura 4 – Consumo de energía mensual, estacional y anual en valores absolutos

6. CONCLUSIONES

El universo de análisis es amplio y variado (Fig. 1A), si consideramos el diseño de las viviendas, sus dimensiones y la cantidad de habitantes. Con excepción de los Casos 3, 10 y 9 todos presentan una superficie relativa de ventanas menor al 10% (Fig. 1), que es lo recomendable para la región según los métodos de Mahony-Evans y Givoni-Watson-Szokolay. Los factores de forma varían entre 1,05 (Caso 4) y 0,8 (Casos 3 y 9), siendo razonables. La transmitancia térmica (K) de la envolvente varía entre 1,6 (Caso 3) y 2,3 (Casos 9 y 10) y el Coeficiente de Transmitancia Global (G) entre 3,8 (Caso3) y 4,6 (Casos 1 y 2), resultando ser valores muy altos en la mayoría. El volumen de masa térmica guarda una relación directa con el CCT, que alcanza valores en un rango comprendido entre 21,45 (Caso 7) y 9,93 (Caso 4).

Los datos e índices característicos concuerdan con las condiciones térmicas interiores medidas, las que revelan situaciones de gran discomfort higrotérmico principalmente en el periodo estival (Tabla 2), ya que en la mayoría de los Casos, los niveles de ingresos de los ocupantes no les permiten contar con equipos de aire acondicionado. En invierno (Tabla 1), no resulta tan notorio debido a que todas las viviendas están

abastecidas por gas natural, que resulta económico para calefaccionarlas en horarios diurnos. Se detecta la influencia de diferentes factores en el comportamiento térmico de las tipologías seleccionadas, en relación con el consumo energético. El diseño de la vivienda, la superficie, el volumen y los materiales empleados, inciden en el CCT respectivo, que resulta muy elevado en todos los Casos, siendo notorio en el Caso 7, seguido por los 5, 6 y 9, 3 y 10, 1 y 2, 8 y finalmente el 4 (Fig. 1). El consumo por unidad de superficie también es alto en todas las viviendas, si tomamos en cuenta el estándar medio recomendado por la UE (50 kWh/m²). En el Caso 3, si consideramos la superficie real utilizada, el índice aumenta a 109 kWh/m².

El consumo anual es también muy alto en el Caso 7 y el más bajo es el 4, aunque en el resto no coincide con el orden de importancia indicado para el CCT. Esto se debe a la intervención de factores que no son tenidos en cuenta en el cálculo del CCT, tales como la orientación, que demuestra su influencia en los Casos 7 y 8, 5 y 6, 1 y 2; y en aquellos que no la evidencian se debe a la ponderación de otros factores como son la cantidad y edad de moradores o sus niveles de ingreso y fundamentalmente los hábitos de los mismos. Los resultados obtenidos indican la urgente necesidad de elaborar proyectos de viviendas que mejoren las condiciones de bienestar de los habitantes, optimizando su adecuación a las características ambientales y a los modos de vida locales.

7. REFERENCIAS

- BALCOMB D., JONES R., KOSIEWICZ C., MAC FARLAND R., WRAY W. (1982). *Passive solar. Design Handbook. Volume 3 and Supplement*. Solar Energy Society, USA, 475 p.
- BLASCO LUCAS I., FACCHINI M., PONTORIERO D. ROSÉS R., CARESTÍA C. (2000). Analysis of Energy Consumption at Suburban Dwellings in Relation to Urban-Architectonic Parameters. In: WORLD RENEWABLE ENERGY CONGRESS VI, *Renewable Energy*, Part I, Elsevier Science and Pergamon, p 1882-1885.
- BLASCO LUCAS I., FACCHINI M., GOMEZ W., PONTORIERO D., HOESE L., CARESTÍA C. (2002). Análisis de Consumos Energéticos en Barrios Suburbanos de la Ciudad de San Juan. *Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA)*, Vol. 11, p. 11-18.
- HERAS M., MARCO, J. (1990). *Comportamiento energético de edificios solares pasivos. Plan de monitorización del Instituto de Energías Renovables*, CIEMAT, España, 178 p.
- ROSENFELD E., DÍSCOLI C., SAN JUAN G., MARTINI I., HOSES S., BARBERO D., DOMINGUEZ G. (2001). Estudio del comportamiento de mallas de redes e infraestructura y servicios de la aglomeración del gran Buenos Aires-La Plata, evaluación de eficiencia energética y calidad urbana. *Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA)*, Vol. 5, p. 07.61-07.66.

APENDICE

Tabla 1A - Cantidad de viviendas individuales por barrio según orientación

Orientación	Cantidad de Viviendas por Barrio											
	RiN		Ar		CRa		MBSJ		CRi		Total	
	Viv.	%	Viv.	%	Viv.	%	Viv.	%	Viv.	%	Viv.	%
EO	32	17.4	95	24.8	20	5.9	31	18.1	74	19.0	252	17.2
NS	36	19.6	112	29.2	133	39.5	55	32.2	131	33.7	467	31.9
OE	57	31.0	74	19.3	52	15.4	40	23.4	44	11.3	267	18.2
SN	45	24.5	102	26.6	132	39.2	42	24.6	139	35.7	460	31.4
NESO	4	2.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	0.3	5	0.3
SENO	0	0.0	0	0.0	0	0.0	3	1.8	0	0.0	3	0.2
SONE	4	2.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	4	0.3
NOSE	6	3.3	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	6	0.4
Total	184	100	383	100	337	100	171	100	389	100	1464	100
		12.6		26.2		23.0		11.7		26.6		

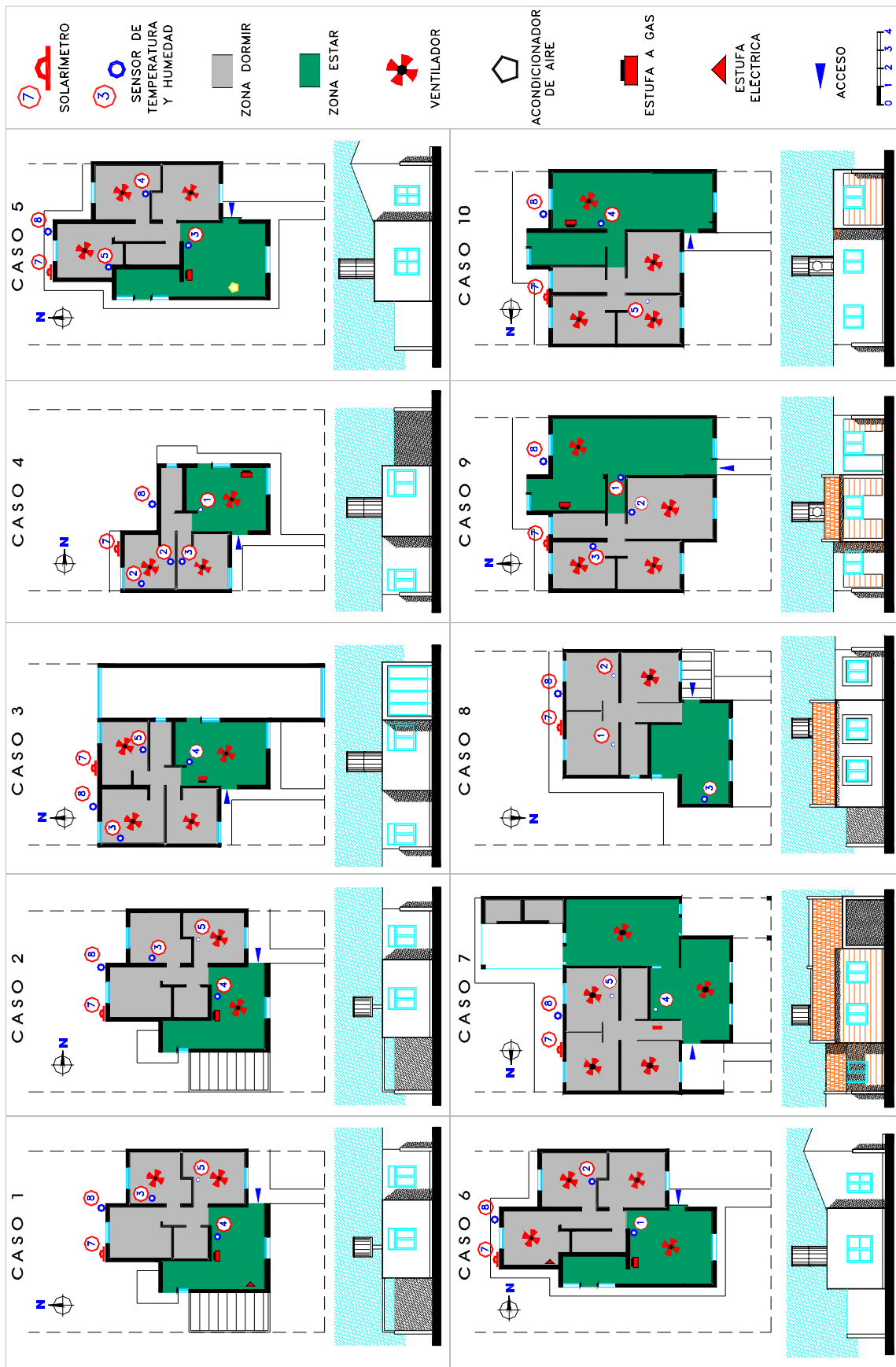


Figura 1A - Plantas, fachadas, sensores y equipamiento de acondicionamiento térmico de los casos analizados