

CONSUMOS ENERGÉTICOS DE VIVIENDAS SUBURBANAS Y SU RELACION CON PARÁMETROS URBANO-ARQUITECTÓNICOS

I. Blasco Lucas¹, M. Facchini², D. Pontoriero², R. Rosés², C. Carestia

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
Internet: <http://www.unsj.edu.ar/arquitect/FAUD.htm>

RESUMEN

La investigación aborda un estudio experimental que realiza importantes aportes para permitir un mejor conocimiento del grado de influencia que tiene el diseño urbano-arquitectónico en el consumo energético de viviendas suburbanas. Con este objetivo se desarrolla y aplica un procedimiento que consta de tres partes, una que es de tipo global y utiliza los consumos de gas y electricidad, otra que es específica y se basa en el análisis de mediciones de consumos y de parámetros térmicos y lumínicos y otra que es analítica y combina las dos anteriores. De la aplicación del mismo a un caso de estudio se extraen conclusiones y se detectan los resultados que serían extrapolables en una generalización.

INTRODUCCION

Existen estudios analíticos de diferente índole que contribuyen a la interpretación del comportamiento energético edilicio en su relación con parámetros de diseño urbano-arquitectónico. Los mismos abarcan desde la aplicación de métodos generales que utilizan fundamentalmente datos climáticos, hasta aquellos que utilizan cálculos térmicos de diferente complejidad o que analizan estadísticamente consumos energéticos a nivel residencial. Si bien todos ellos realizan aportes para develar el objetivo en alguna medida, con diferentes grados de certeza, se enriquecen si se los complementa realizando mediciones reales de los parámetros de mayor importancia. De este modo surgen procedimientos combinados que constan de dos o tres partes como el que aquí se presenta. A continuación se explicita el procedimiento aplicado a un caso de estudio consistente en barrios suburbanos de la ciudad de San Juan, Argentina, construidos con ligeras variantes de una misma tipología y que suman un total de 1564 viviendas.

PALABRAS CLAVE

Consumo energético, viviendas suburbanas, parámetros urbano-arquitectónicos.

ANÁLISIS GLOBAL

En esta parte se analizan estadísticamente consumos de gas y electricidad de un año completo, se los agrupa por rangos de consumo para períodos de verano, invierno y neutro, obteniendo los respectivos índices característicos anuales y estacionales por vivienda (Tanides, 1998). Los índices calculados relacionan el consumo total y el diferenciado (gas o electricidad) por unidad de superficie cubierta. Las superficies utilizadas para el cálculo de los índices se obtienen relacionando la base de datos elaborada con la de Dirección de Catastro y Geodesia, ya que muchas viviendas han sido modificadas. Los resultados definen los casos más representativos y el grado de dispersión de la muestra (Bornancini, 1992; Moreno, 1992).

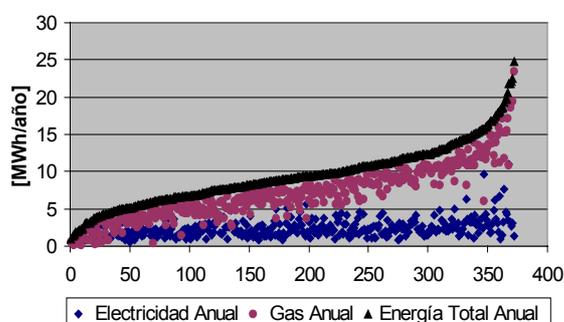


Fig. 1. Dispersión general de los datos de la muestra

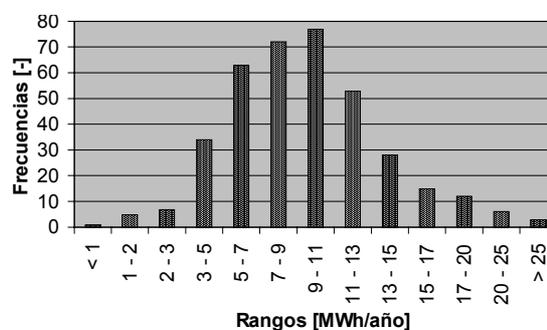


Fig. 2. Distribución de consumo anual de energía

¹ Miembro de ASADES. Directora de Proyecto.

² Docentes-Investigadores del Instituto de Energía Eléctrica (IEE) de la Facultad de Ingeniería (FI) – UNSJ.

De las empresas de suministro se consiguieron 715 registros de consumos bimestrales de gas y 515 de electricidad del año 1998. De ellos se seleccionaron sólo aquellos que contenían los datos de ambos servicios durante todo el año y se excluyeron los que correspondían a viviendas destinadas para uso no-residencial, completando una muestra de 370 registros. La Fig. 1 muestra la dispersión general de los datos y la Fig. 2 la distribución de los mismos por rangos de consumo total anual de energía. La Tabla 1 contiene entre otros los datos estadísticos correspondientes a la muestra.

Tabla 1. Valores estadísticos de la muestra para un rango entre 2 y 25 MWh de consumo anual de energía

Concepto	Promedio	Mínimo	Máximo	Desv. Estándar	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Energía Total Anual [kWh/año]	9548.97	2053.98	24793.24	3947.97	17594.28	8926.64	4888.99
Porcentaje Anual de Electricidad [%]	28	5	93	16	21	19	30
Porcentaje Anual de Gas [%]	72	7	95	16	79	81	70
Porcentaje de Energía Invierno [%]	51	20	73	9	62	63	45
Porcentaje de Energía Verano [%]	19	5	65	7	11	12	20
Porcentaje de Energía Período Neutro [%]	30	13	59	5	27	25	35
Costo Variable Anual de Energía [US\$/año]	287.29	83.81	955.01	108.99	483.76	236.64	159.42
Rango de Consumo Anual por Unidad de Superficie [kWh/m ² año]	129.79 157.57	27.92 33.89	337.00 409.13	53.66 65.15	180.64	107.62	66.45
Rango de Consumo Anual por Unidad de Envolverte [kWh/m ² año]	50.67 60.12	10.90 12.93	131.55 156.11	20.95 24.86	71.76	41.42	25.94
Energía Total Anual NS (86) [kWh / año]	9110.32	3298.00	19787.98	3214.94	IV		
Energía Total Anual SN (124) [kWh / año]	9231.68	2053.98	22083.59	3973.10			XV
Energía Total Anual EO (63) [kWh / año]	9598.45	2243.67	21807.96	3914.03		VI	
Energía Total Anual OE (61) [kWh / año]	9064.41	3075.00	24793.24	3853.90			

ANÁLISIS ESPECÍFICO

En un trabajo anterior (Blasco et al., 2000) se realiza un estudio analítico comparativo de diferentes tipologías de viviendas suburbanas de San Juan. De los resultados obtenidos se puede observar que los Barrios Natania se ubican dentro del promedio, tanto en consumos como en cantidad de viviendas. Por este motivo se seleccionan para realizar un estudio más exhaustivo, basado en mediciones, en el presente trabajo. Conforme a datos estadísticos generales de población y de consumos de la Provincia, la cantidad de usuarios residenciales del servicio eléctrico para el año 1998 suman 125.000, por lo que las 1564 viviendas de los barrios Natania representan un 1.25% del total provincial. Si consideramos que la ciudad de San Juan absorbe el 70% de las viviendas, los barrios seleccionados representan un 1.8% del total de la ciudad. Las viviendas son ofertadas por la empresa constructora e inmobiliaria ECIPSA, mediante crédito bancario, a un valor que varía entre \$45.000 para 2 dormitorios y \$54.000 para 3 dormitorios, el que también se sitúa en el nivel medio del mercado de la vivienda. Este valor incluye un predio de 10m de ancho por 25m de largo y una superficie construida de 60.60 m² (2D) o 73.57 m² (3D). Los barrios son relativamente nuevos, ya que se comenzaron a construir hace 13 años y se encuentran actualmente habitados.

Tabla 2. Características de las viviendas analizadas

Concepto	Unidades	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Cantidad de Habitantes	[Hab.]	6	5	3
Consumo Anual por Persona	[kWh / Pers. año]	2932.38	1785.33	1629.66
Ingreso Mensual	[US\$/ mes]	> 2000	> 2000	< 1500
Cantidad de Casos en el Rango de Consumo Anual de Energía	[-]	15	72	34
Area Cubierta (Ac)	[m ²]	97.90	82.96	73.57
Area Envolverte (Ae)	[m ²]	245.15	215.54	188.47
Volumen (V)	[m ³]	301.09	265.66	228.08
Factor de Forma (Ae/V)	[1/m]	1.23	1.23	0.83
Coefficiente de Fenestración (A ventanas / A muros)	[-]	0.11	0.08	0.08

En tres viviendas elegidas al azar se realizan mediciones de consumos eléctricos cada 15 minutos, obteniendo las curvas de carga típicas por tipo de día (laboral, sábado y festivos) y mes o período. Estos valores se relacionan con la constitución del grupo familiar, sus niveles de ingreso, el uso de equipamiento eléctrico y la vivienda. La Tabla 2 muestra las características de las viviendas monitoreadas y la Fig. 3 las plantas, equipamiento y una vista de las mismas.

Además se realizan, mediciones de parámetros térmicos interiores y exteriores por períodos cortos relacionándolas con el uso de equipamiento eléctrico y a gas. Con toda la información se conforman bases de datos relacionales para facilitar su análisis (Rosenfeld et al., 1999).

En la Fig. 3 se comparan algunos resultados de la simulación sin acondicionamiento térmico realizada anteriormente, con los obtenidos en las mediciones para un día con clima similar, en el Caso 2. Las siglas significan: Sim.: Simulado, Med.: Medido, Exterior: Temperatura Exterior, sC: Sin Acondicionamiento, cC: Con Acondicionamiento, E: Zona Estar, D: Zona Dormir.

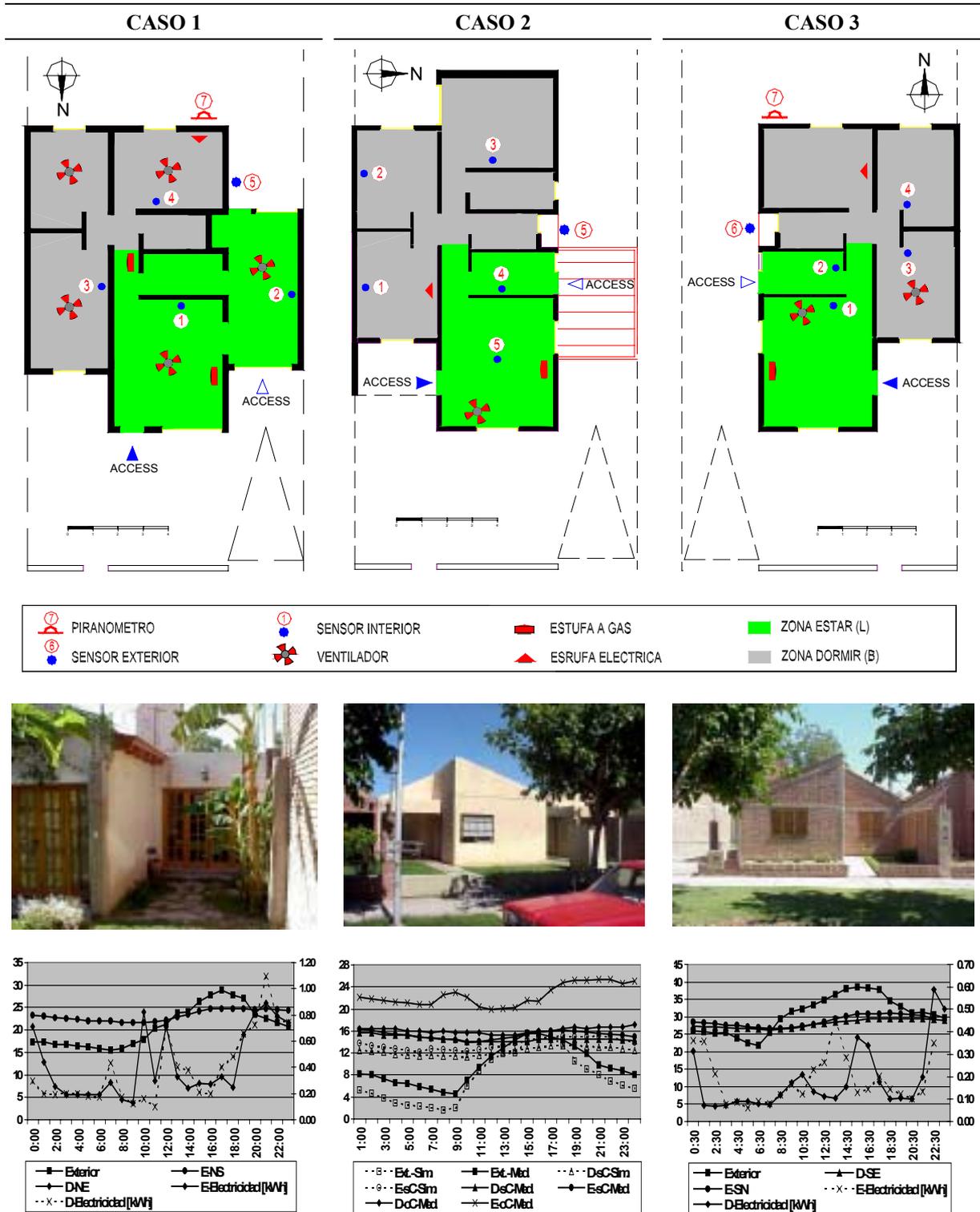


Fig. 3. Características, mediciones de temperatura y consumo eléctrico de los casos analizados.

Las mediciones realizadas con 2 dataloggers modelo HOBO tipo H8 (temperatura, humedad relativa e iluminación) se efectuaron cada 5 minutos, promediándolas en forma horaria. Del mismo modo, se utilizaron también 4 sensores de termocupla tipo K (Nickel-Chromium Vs. Nickel Aluminum) y un piranómetro KIPP & ZONEN modelo CM6B, cuyas lecturas fueron registradas por un datalogger FLUKE de 10 canales. La Tabla 3 resume los datos estadísticos de las mediciones. Las siglas significan: DF: Día Festivo, DL: Día Laboral, Sab.: Sábado, Inv.: Invierno, Neutro: Primavera-Otoño. Las Figs. 4 a 5 muestran las curvas de carga de potencia eléctrica (kW) de los Casos C1 y C3.

Tabla 3. Valores estadísticos de las mediciones

Concepto	Caso 1		Caso 2		Caso 3	
	D	E	D	E	D	E
Período [h]	200 (7 - 14/10)	200 (29/9 - 5/10)	400 (1 - 18/06)	400 (1 - 18/06)	300 (19/11 - 2/12)	150 (13 - 19/11)
Temp. Promedio Int. (Ti) [°C]	22.74 - 23.31	21.51 - 23.38	16.83 - 17.89	20.51 - 22.50	26.39 - 26.55	27.06 - 28.05
Temp. Mínima Int. (Ti) [°C]	20.80 - 21.71	18.43-19.81	13.32 - 14.09	14.00 - 15.30	23.32 - 23.71	24.63 - 25.40
Temp. Máxima Int. (Ti) [°C]	24.07 - 25.23	25.80 - 25.94	20.95 - 23.63	25.20 - 27.40	29.66 - 30.31	31.04 - 31.77
Temp. Promedio Ext. (To) [°C]	20.82	15.23	10.48	10.48	25.32	26.30
Rango Temp. Ext. (To) [°C]	13.00 - 29.10	7.60 - 28.80	3.80 - 21.00	3.80 - 21.00	15.50 - 38.60	19.50 - 37.50
Rango (Ti - To) [°C]	(-) 6.04 - 24.52	(-) 4.82 - 17.34	(-) 3.48 - 14.30	(-) 0.10 - 19.40	(-) 9.5 - 9.58	(-) 8.83 - 7.29
Radiación Prom. (I) [kWh/m2]	265.80	176.86	94.53	94.53	330.42	309.50
Radiación Max. (I) [kWh/m2]	1005.77	964.07	541.85	541.85	1341.49	1123.45
Grados Día (DG) [°C]	142.10	(-) 848.50	(-) 2880.40	(-) 2880.40	1018.40	747.50
Ind. Climático (CI) [kWh/m2°C]	284.23	(-) 36.13	(-) 12.52	(-) 12.52	62.29	46.42
Electric. Prom. hd [kW]	0.30	0.30	-	-	0.20	0.20
Electric. Prom. wd [kW]	0.39	0.39	-	-	0.17	0.17
Electric. Prom. sat. [kW]	0.24	0.24	-	-	0.17	0.17
Electric. Rango hd [kW]	0.14 - 0.73	0.14 - 0.73	-	-	0.03 - 0.64	0.03 - 0.64
Electric. Rango wd [kW]	0.14 - 1.21	0.14 - 1.21	-	-	0.05 - 0.64	0.05 - 0.64
Electric. Rango sat. [kW]	0.09 - 0.53	0.09 - 0.53	-	-	0.04 - 0.62	0.04 - 0.62

En realidad, para obtener el comportamiento térmico de un edificio bastaría con disponer de un buen simulador microdinámico y una completa y detallada descripción de micronivel de la construcción. Con esto también se logra obtener su comportamiento térmico a largo plazo. Aunque sería factible conseguir un buen simulador microdinámico (por ej.: DOE-2, BLAST, etc.), es muy difícil disponer de la descripción de micronivel arriba mencionada, y sin estas características no se satisface la ecuación de balance energético en la cual se basan estos simuladores.

Para solucionar este inconveniente se puede hacer uso del método PSTAR, el cual combina la macrodinámica con la microdinámica de la construcción para producir una desagregación de los flujos de calor de la misma. El método PSTAR-STEM (Burch et al., 1990), debido al escaso presupuesto y equipamiento de medición disponible no fue posible aplicarlo.

Como se explicita en Blasco et al., 2000, la simulación fue efectuada con el QUICK (Mathews et al., 1990; Mathews et al. 1992) con datos edilicios teóricos de los prototipos de vivienda básicos de 2 y 3 dormitorios y datos climáticos medidos en forma horaria del año 1995. Sin embargo, la observación de las mediciones efectuadas nos permite una visión global de los hábitos de los moradores y las condiciones de confort (o disconfort) de las viviendas.

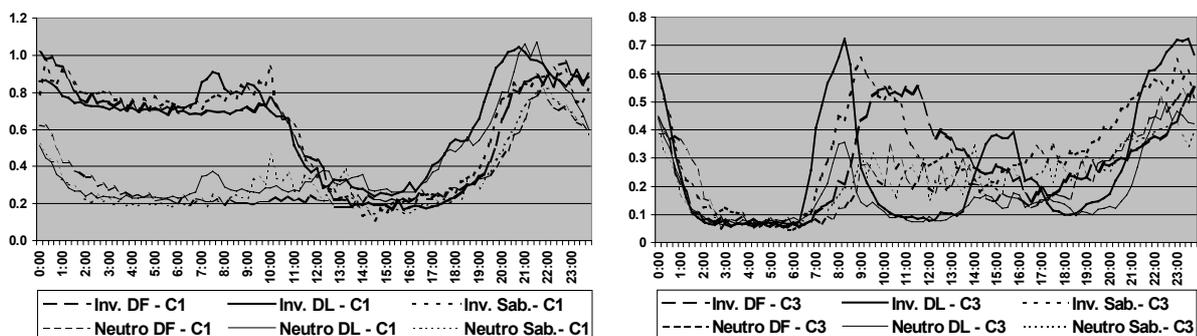


Fig. 4. Curvas de carga de potencia para las estaciones de invierno y neutras (primavera-otoño) para los Casos 1 y 3

ANÁLISIS COMBINADO

En esta etapa se relacionan las características de las viviendas monitoreadas con las de la muestra global. La Tabla 1 reúne los valores obtenidos en las dos etapas de análisis anteriores. Los casos analizados corresponden a diferentes rangos de niveles de consumo como indica la Tabla 2, siendo el del Caso 2 uno de los más numerosos. Los consumos por unidad de superficie se encuentran en los tres casos fuera del rango promedio de la muestra, estando cerca del mismo el Caso 1 por exceso y el Caso 2 por defecto. El Caso 3 se ubica más cerca del rango de mínimos. Sin embargo se corresponden con el consumo promedio del rango respectivo. Los resultados de las mediciones efectuadas se pueden extrapolar al conjunto de viviendas del mismo nivel de consumo energético, que posean similar composición familiar e índices de factores urbano-arquitectónicos de mayor influencia.

CONCLUSIONES

La parte global y la combinada del análisis sobre la influencia de los factores urbano-arquitectónicos permite afirmar que los factores de mayor incidencia son la orientación, la compacidad (Factor de Forma), el aventanamiento y el equipamiento de la vivienda. El gas por su uso para calefacción es el que mayor incidencia tiene en unidades de energía en el consumo anual, pero se equipara en costos al de electricidad por su bajo precio. El consumo de electricidad aumenta en verano principalmente por el uso de ventiladores.

El análisis específico mediante mediciones en tres viviendas muestra que éstas sufren grandes amplitudes térmicas diarias y están fuera de los rangos de confort la mayor parte del año. Las mediciones efectuadas sin acondicionamiento térmico en el Caso 2 muestran una buena aproximación a la simulación con QUICK, pero los consumos medidos anuales resultan un 0.3 de los calculados para este Caso, debido a la diferencia de equipamiento, ya que el QUICK supone la existencia de un equipo de aire acondicionado frío-calor. Los consumos anuales medidos representan en el Caso 1 un 0.7 de los simulados y en el Caso 3 un 0.2. El comportamiento del grupo familiar influye fuertemente. Para una mejor determinación del grado de influencia de cada factor es necesario continuar realizando estudios sistemáticos.

El procedimiento de análisis de consumos energéticos de viviendas suburbanas en relación a parámetros urbano-arquitectónicos resulta adecuado en su parte global y en su parte específica debe ser mejorado con la incorporación de todo el instrumental de medición necesario para poder aplicar el método STEM-PSTAR. A pesar de esta carencia se logra conocer las condiciones reales en las que viven las familias monitoreadas, que a su vez son representativas del conjunto del mismo tipo comprendidas en un rango de consumo.

REFERENCIAS

- Tanides C. (1998). Uso Eficiente de la Energía Eléctrica en la Iluminación Residencial. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 2, N° 2, pp. 06.5-06.8.
- Bornancini A. (1992). Aplicación de la Estadística Descriptiva a la Distribución de Consumos de la Clientela Residencial. VI Congreso Latinoamericano del Caribe sobre Tarifas Económicas de Energía Eléctrica, Tomo III. Mendoza, Argentina.
- Moreno A. (1992). Funciones de Demanda de Energía Eléctrica en el Sector Residencial. Actas del VI Congreso Latinoamericano del Caribe sobre Tarifas Económicas de Energía Eléctrica, Tomo IV. Mendoza.
- Blasco I., Albarracín O. y Carestia C. (2000). Thermal performance of neighborhood prototypes built in San Juan – Argentina. *Renewable Energy*, Part. I, pp. 557-560.
- Rosenfeld E., Discoli C., Dubrovsky H., Czajkowsky J., San Juan G., Ferreyro C., Rosenfeld Y., Gómez A., Gentile C., Martini I., Hoses S. y Pinedo A. (1999). Eficiencia Energética y URE en los Sectores Residencial-Terciarios Metropolitanos. Las Aglomeraciones del Gran Buenos Aires y Gran La Plata. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 6, N° 1.
- Burch J., Subbarao K., Hancock C. y Balcomb D. (1990). Repeatability and Predictive Accuracy of the PSTAR Short-term Building Monitoring Method. SERI/TR-254-3606. Solar Energy Research Institute. Virginia, Golden.
- Mathews E. y Kruger W. (1990). Thermal Norms to Ensure Low Energy Architecture: A New Approach. Proceedings of the World Renewable Energy Congress, Part 4, pp. 2643-2647. Reading.
- Mathews E., Grobler L., Holm D., Kleingeld M., Kruger W., Lombard C., Mouton A. Richards P., Rousseau P., Shuttleworth A. y van der Watt A. (1992). QUICK software. A & E Compuserv, Pretoria.

ABSTRACT

The research attempts an experimental study that contributes to know more about the urban-architectonic influence level on the energy consumption at suburban dwelling houses. Therefore, a procedure comprised of three parts is developed and applied. The first part is a global type and uses available data of gas and electricity consumption. The second is a specific one, based on the analysis of consumption as well as thermal and lighting measurements parameters. The third is an analytical one and combines the previous two. Certain conclusions arisen from their application in a case study as well as results feasible of taking place in a generalization are explained.

(*) Especial reconocimiento a las empresas Energía San Juan, ECOGAS y ECIPSA, a los habitantes de las viviendas monitoreadas, la Prof. Sonia Daverio, la Arq. Marina de La Torre y al estudiante Dante Aguiar Blasco.