

MODELO METODOLÓGICO DE ANÁLISIS TIPOLÓGICO ENERGÉTICO-AMBIENTAL BASADO EN TIPOS EDIFICIOS IDEALES Y MATRIZ DE DATOS AUDITADOS.

C. Vagge ¹, J. Czajkowski ².

Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable- LAyHS . FAU-UNLP-CONICET
Tel/Fax. 0221- 4236587/90 int 255 - e-mail: carolinavagge@yahoo.com.ar.

RESUMEN Este trabajo plantea una metodología de análisis a partir de procedimientos estadísticos a fin de poder validar la hipótesis de que los diferenciales de tejido urbanos a modo de tipos edilicios con pesos y atributos serían un indicador útil para explicar comportamientos y tendencias históricas. Para elaborar posteriormente un modelo predictivo que ayudará a entender comportamientos y demandas futuras de energía para facilitar no sólo una predicción por escenarios a mediano plazo, sino también mejorar la visualización de las tendencias a quienes toman las decisiones. A través de la aplicación de esta metodología sobre el sector residencial de la ciudad de La Plata, se busca construir indicadores e índices de consumo de energía típico, relación vidriado opaco y calidad térmica edilicia que describan el hábitat objeto de estudio en particular y, que aplicada como procedimiento, pueda servir para otros casos de análisis.

Palabras claves: Modelo - Tipo edilicio ideal - Levantamiento catastral - Consumo de energía

INTRODUCCIÓN

La explosión demográfica de los últimos 100 años es un fenómeno sin precedentes en la historia de la humanidad. Hacia 1900, solo el 14 % de la población vivía en ciudades, un total de 200 millones de personas. A principios del siglo XXI el 50 % de la población mundial es urbana con un estimado de 3.000 millones de personas. Pero la gran explosión demográfica del futuro próximo tendrá lugar en los países en vías de desarrollo. El banco mundial prevé que el 80% de la población de esos países vivirá en ciudades en el 2025 (Gauzin-Muller, 2002).

El crecimiento urbano fue de tal magnitud que en el plazo de 30 años el hombre ha edificado tanto como en toda su historia previa. Se estima que será necesario construir el equivalente a 1000 ciudades de tres millones de habitantes en los próximos 40 años, principalmente en los países en vías de desarrollo. Tal perspectiva da un sentido concreto de la necesidad de dotar a la edificación y planificación urbana mundial futura de una lógica cercana al desarrollo sostenible, debiéndose plantear a largo plazo (Santamouris, 2001).

La ciudad de La Plata fue fundada en 1882 por el Gobernador Dr. Dardo Rocha, para cumplir la función de Capital de la provincia de Buenos Aires. El sitio elegido se situaba a 60 Km. al sudeste de Buenos Aires y a unos 8 Km. del Río de La Plata, permitiendo una fácil comunicación con la Capital Federal y la posibilidad de contar con un puerto. Una de sus características principales es haber sido diseñada de acuerdo a un plan previo a partir de las ideas del siglo XIX. El plan regional constaba de tres elementos: Casco Urbano, Zona de chacras y quintas, y el puerto.

La estructura de la ciudad se conforma por un eje fundacional definido por dos avenidas que conectan el puerto con el interior del país, un sistema de espacios verdes, avenidas ortogonales y diagonales, y un sistema de anillos periféricos productivos de abastecimiento local. Sin embargo, la compra indiscriminada de parcelas dió origen a la suburbanización, distorsionándose de este modo la traza original de la ciudad.

Por otra parte las primeras regulaciones urbanísticas de la época fueron de carácter general, estableciéndose como criterio urbanístico una clara diferenciación entre lo público y lo privado. Los edificios públicos, de carácter institucional se implantaron en el centro de la manzana. En cambio la edificación privada se materializó, en general, a través de la casa *chorizo*, dando como resultado un lenguaje de fachada uniforme. Posteriormente la adopción masiva de la casa cajon reemplazó esta tipología (Curtit, 2003).

El objetivo de este trabajo es plantear un método de análisis tipológico a partir de la construcción de un tipo ideal para poder determinar la demanda potencial de energía. Para de este modo poder reorientar el comportamiento de las actuales conurbaciones hacia bases más sostenibles, modelizar su funcionamiento, replantearlo, y seguir los cambios que se operen en las cantidades de recursos y de territorio que se venían dilapidando, directa o indirectamente, en aras de la sostenibilidad local de las mismas. La modelización del comportamiento de los sistemas urbanos y el establecimiento de baterías de indicadores que faciliten su comparación y seguimiento, deben de apoyarse mutuamente (Naredo, 1997).

METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo se partió de un relevamiento fotográfico de 300 viviendas de la ciudad de La Plata, que se llevó a cabo durante los meses de Julio y Agosto de 2009. A partir de este relevamiento se seleccionaron dos fotografías, correspondientes a las tipologías *Casa Chorizo* y *Casa Cajón*. Al mismo tiempo se identificaron satelitalmente con el Google Earth (figuras 2 y 3), de este modo pudieron obtenerse a partir de las fotos, los datos referidos al tipo; dimensiones, forma, materialidad y tecnología, como también la medida del lote, el área y el perímetro de la vivienda (figura 1).



Figura 1: gráfico de flujos del modelo propuesto

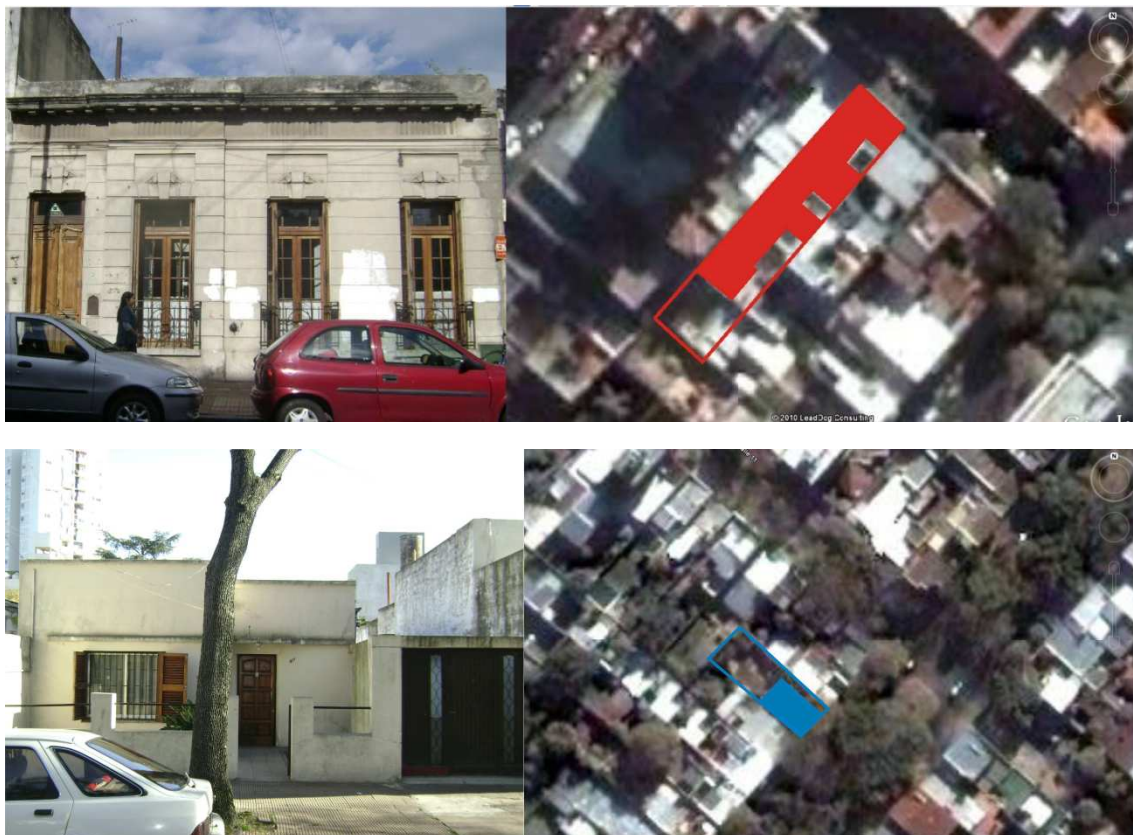


Figura 2 y 3: relevamiento fotográfico y satelital de las tipologías analizadas. Arriba tipología Casa Chorizo. Abajo Casa Cajón.

Construcción del tipo ideal:

Entendemos al tipo ideal (Hughes, 1988) (Czajkowski, 1994) como un espacio de atributos cuali-cuantitativo de n dimensiones, que sintetiza el valor medio y la desviación standard de un conjunto de variables que definen al tipo edilicio y su desem-

peño energético; como ser, formas constructivas (superficies, volumen, altura de locales, etc) y térmicas (transmitancia térmica), participación porcentual de diversas soluciones constructivas de techos, muros, aberturas y consumos de energía auditados (Czajkowski, 2009).

Del análisis de los tipos seleccionados a partir del relevamiento peatonal, y del catálogo de tipologías (Rosenfeld y Czajkowski 1992) se construyó un tipo ideal (Figura 4) del cual se obtuvieron los pesos relativos a la relación entre superficies de cada componente constructivo al total de la envolvente:

Casa Chorizo: muros expuestos (31 %), muros en contacto con espacio no calefaccionado (27%) ventanas (4 %), puertas (1%) y cubierta (37 %).

Casa Cajón: muros expuestos (50 %), muros en contacto con espacio no calefaccionado (5,5 %) ventanas (2,5 %), puertas (2%) y cubierta (40 %).

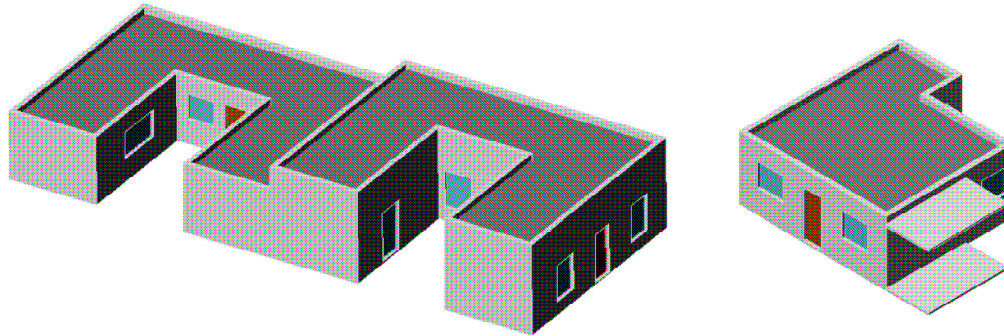


Figura 4: Modelos ideales de las tipologías Casa Chorizo y Casa Cajón.

Luego, para cada tipología se fijaron los distintos valores de transmitancia térmica de cada elemento de la envolvente, dejando como incógnita el valor de transmitancia térmica de techos (k_t). Si bien es la parte de la envolvente donde se producen las mayores pérdidas en invierno y las mayores ganancias en verano, resultó de gran dificultad poder establecer la solución constructiva de este elemento. Las imágenes satelitales permiten observar cuál es el tipo de cubierta, sin embargo no puede conocerse con mayor precisión cuál es el grado de aislamiento térmico.

Para la obtención de los valores de transmitancia térmica de los distintos elementos de la envolvente, se partió del análisis de casos auditados:

Casa Chorizo: muros expuestos $k= 1,9 \text{ W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$, muros en contacto con espacio no calefaccionado $k= 0,95 \text{ W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$, ventanas $k= 5 \text{ W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$ y puertas $3,5 \text{ W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Casa Cajón: muros expuestos $k= 2,21 \text{ W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$, muros en contacto con espacio no calefaccionado $k= 1,1 \text{ W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$, ventanas $k= 5 \text{ W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$ y puertas $3,5 \text{ W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Posteriormente esta información se cruzó con la base de datos de auditorias realizadas en distintos proyectos por el LAyHS. En las auditorias se realizó una encuesta detallada al grupo familiar, se relevaron las características dimensionales y constructivas de la vivienda, se consignaron los consumos de energía y las opiniones sobre su uso.

En el caso de la tipología *Casa Chorizo*, se trabajó sobre 23 casos, y en el caso de la tipología *Casa Cajón* se trabajó con una muestra de 57 casos auditados. Se tomaron dimensiones de los distintos casos, los valores de G (1) y el número de renovaciones de aire, que para ambas tipologías se fijó en $n=1,5$. De este modo pudo despejarse el valor ponderado de transmitancia térmica del techo para cada tipología (2).

$$G = \frac{k_{m,e} \cdot S_{me} + K_{mp} \cdot S_{mp} + k_v \cdot S_v + k_t \cdot S_t + k_P \cdot S_P + 0,35 \cdot n}{\text{Vol.}} \quad (1)$$

$$k_t = \frac{(G - 0,35 \cdot n) \cdot \text{Vol} - k_{m,e} \cdot S_{me} - k_v \cdot S_v - k_P \cdot S_P}{S_t} \quad (2)$$

Donde:

G : coeficiente global de pérdidas térmicas ($\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$)

$k_{m,e}$: transmitancia térmica cerramiento opaco vertical en contacto con el exterior ($\text{W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$)

S_{me} : área de cerramiento opaco vertical en contacto con el exterior (m^2)

k_{mp} : transmitancia térmica cerramiento opaco vertical en contacto con volumen no calefaccionado ($\text{W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$)

S_{mp} : área de cerramiento opaco vertical en contacto con volumen no calefaccionado (m^2)

k_v : transmitancia térmica cerramiento vidriado ($\text{W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$)

S_v : área de cerramiento vidriado (m^2)

k_t : transmitancia térmica cerramiento opaco horizontal ($\text{W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$)

S_t : área de cerramiento opaco horizontal (m^2)

k_P : transmitancia térmica carpintería opaca ($\text{W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$)

S_P : área de carpintería opaca (m^2)

0,35: calor específico del aire ($W/m^3 \text{ } ^\circ K$)
 n: número de renovaciones de aire promedio por hora.
 Vol: volumen del edificio (m^3)

RESULTADOS

La tabla 1 muestra los valores mínimos, máximos y de tendencia central para las transmitancia térmicas de techo (k_t) de los casos auditados, obtenidas a partir de la ecuación 2. Esta tabla también permite observar con que frecuencia la variable kt se repite dentro de cada rango de valores. Previamente se calcularon los valores mínimos y máximos.

Para preparar la tabla de frecuencia para un histograma, primero se estableció el número de intervalos que se deseaba tener en cada uno de los casos: se determinaron 5 rangos de datos para ambas situaciones. Luego, se determinó el ancho común de los intervalos. Para esto, se calculó la diferencia entre el dato mayor y el menor para cada uno de los casos, y se dividió entre el número de intervalos deseados para cada caso. Finalmente, se determinó el límite superior de cada intervalo: como límite superior del primer intervalo, se seleccionó un valor mayor que el dato menor para que no quede vacío, en el caso de la casa chorizo fue 1,57 y en la cajón 1,2.

x_i	n_i	f_i	p_i	
1,57	4	4/23	18%	
2,17	5	5/23	19%	
2,77	8	8/23	35%	
3,37	3	3/23	14%	
3,97	3	3/23	14%	
N=23		$\sum f_i=1$	$\sum p_i=100\%$	
Min.	Max.	Media	Mediana	DESVEST
0,97	3,89	2,32	2,29	0,81

x_i	n_i	f_i	p_i	
1,2	8	8/57	15%	
2,4	21	21/57	37%	
3,6	22	22/57	38%	
4,8	3	3/57	5%	
6	3	3/57	5%	
N=57		$\sum f_i=1$	$\sum p_i=100\%$	
Min.	Max.	Media	Mediana	DESVEST
0,25	6,27	2,41	2,17	1,33

Tabla 1: frecuencia de la variable kt . x_i : rango en el que aparece en el estudio este valor- n_i : frecuencia absoluta- f_i : frecuencia relativa - p_i : porcentaje-N: numero de la muestra. (Izq. Casa Chorizo. Der. Casa Cajón).

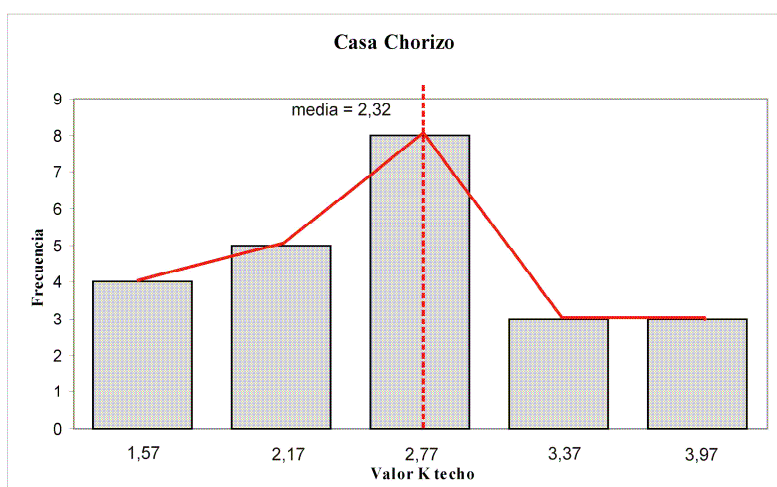


Figura 5: Histograma de frecuencia de variable Kt de tipología Casa Chorizo

Por su parte, los histogramas de las figuras 5 y 6 muestran los polígonos de frecuencias de la variable k_t . Puede observarse que los valores de tendencia central se encuentran en el intervalo con mayor frecuencia, por lo tanto se puede inferir que son representativos. A partir de este procedimiento se obtuvieron valores ponderados de $kt_{\text{chorizo}} = 2,32 \text{ } W/m^3 \text{ } ^\circ C$ y $kt_{\text{cajon}} = 2,41 \text{ } W/m^3 \text{ } ^\circ C$ (tabla 2 y 3). Luego estos valores se reemplazaron en la ecuación 1, obteniéndose de este modo un $G_{\text{chorizo}} = 1,52$ y $G_{\text{cajon}} = 2,09$ (tabla 2 y 3).

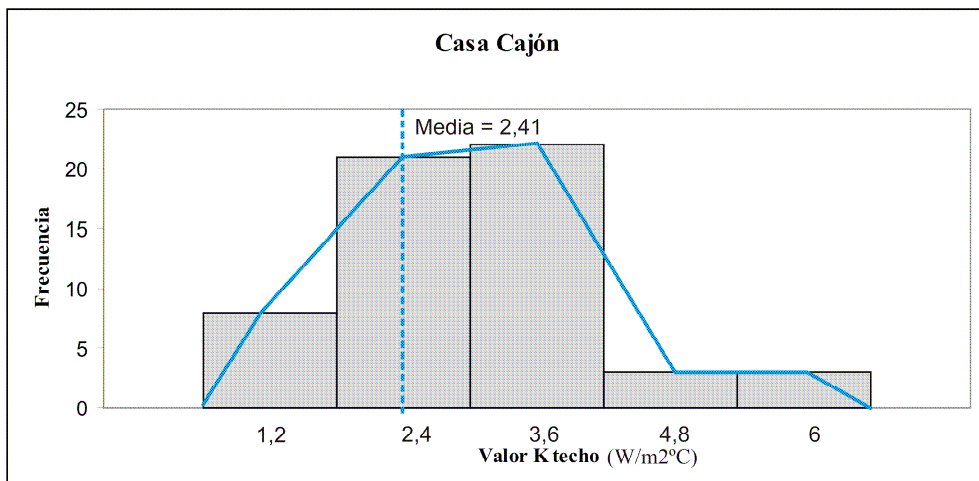


Figura 6 : Histograma de frecuencia de variable K_t de tipología Casa Cajón.

Reconstrucción del tipo:

Con los valores de k de techo ponderado para cada una de las tipologías, ($k_{\text{chorizo}} = 2,32 \text{ W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$ y $k_{\text{cajon}} = 2,41 \text{ W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$) más la información de base de datos auditados mencionados anteriormente, y la información del relevamiento fotográfico y satelital a partir de Google Earth se calculó el área, altura media de la vivienda, volúmen, área envolvente, factor de compacidad de la vivienda, factor de forma, factor de exposición y coeficiente de pérdidas térmicas. Luego, con el programa Auto-Cad 3D pudo reconstruirse cada una de las tipologías (figura 7).

AH	AltLocal	Volumen	Aenv	Aexp	Co	Ff	Fe	K techo	G
m^2	m	m^3	m^2	m^2	$\text{Co}=\text{AH}/\text{AE}$	$f=\text{AH}/\text{Vol}$	AExp/AEnv	$\text{W}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}$	$\text{W}/\text{m}^3\text{ }^\circ\text{C}$
263	3,5	920	695	558	0,38	0,28	0,8	2,32	1,52

Tabla 2: síntesis de valores K_t ponderado y G para Casa Chorizo.

AH	AltLocal	Volumen	Aenv	Aexp	Co	Ff	Fe	K techo	G
m^2	m	m^3	m^2	m^2	$\text{Co}=\text{AH}/\text{AE}$	$f=\text{AH}/\text{Vol}$	AExp/AEnv	$\text{W}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}$	$\text{W}/\text{m}^3\text{ }^\circ\text{C}$
60	2,5	150	140	117,5	0,42	0,4	0,83	2,41	2,09

Tabla 3: síntesis de valores K_t ponderado y G para Casa Cajón.

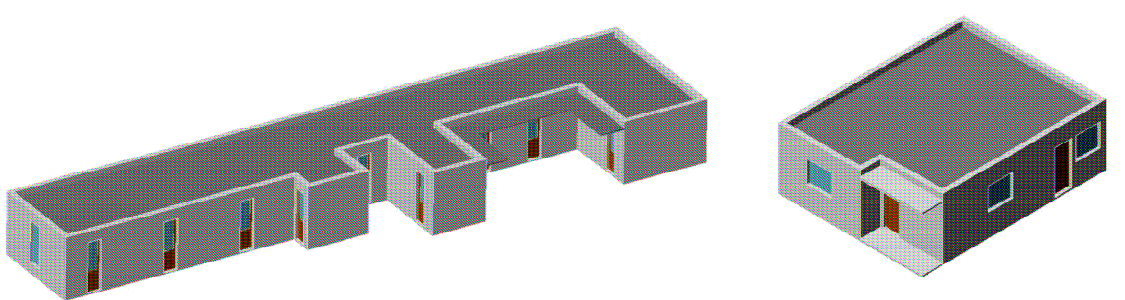


Figura 7: Reconstrucción de las tipologías del relevamiento peatonal. (Izq. Casa Chorizo. Der. Casa Cajón)

Demanda de energía:

Para el análisis de los valores de consumo de energía, se tomaron de los casos auditados de ambas tipologías los valores de energía primaria. Para simplificar el proceso de clasificación, como muestra la tabla 5, se discriminó la variable consumo de energía primaria en forma tricotómica (Czajkowski 2009): 0-0.0150 TEP/ m^2 (Bajo); 0.0150-0.0250 TEP/ m^2 (Medio) y + 0.0250 TEP/ m^2 (Alto).

Al igual que como ocurrió con la variable transmitancia térmica de techo, los valores promedio de consumo de energía se encuentran dentro de los rangos de mayor ocurrencia de los datos. Por lo tanto se pueden tomar como valores ponderados ya que son representativos de las muestras.

El histograma de la figura 8 muestra un polígono de frecuencia, para la tipología Chorizo, alabeado a la derecha con la cola a la derecha, que indica que valor promedio de consumo de energía TEP/ m^2 , se encuentra dentro del rango 0-0.0150 TEP/ m^2 (Bajo). Por su parte el histograma de la figura 9 muestra un polígono de frecuencia, para la tipología cajón que indica un valor promedio dentro del rango 0.0150-0.0250 TEP/ m^2 (Medio).

x_i	n_i	f_i	p_i	x_i	n_i	f_i	p_i		
0-0.0150	12	12/23	53%	0-0.0150	23	23/57	40%		
0.0150-0.0250	10	10/23	43%	0.0150-0.0250	27	27/57	48%		
+ 0.0250	1	1/23	4%	+ 0.0250	7	7/57	12%		
N=23 $\sum f_i=1$ $\sum p_i=100\%$				N=57 $\sum f_i=1$ $\sum p_i=100\%$					
Min.	Max.	Media	Mediana	DESVEST	Min.	Max.	Media	Mediana	DESVEST
0,004	0,029	0,015	0,014	0,007	0,004	0,033	0,018	0,018	0,007

Tabla 5: frecuencia de la variable consumo de energía. x_i : rango en el que aparece en el estudio este valor- n_i : frecuencia absoluta- f_i : frecuencia relativa - p_i : porcentaje-N: número de la muestra. (Izq. Casa Chorizo. Der. Casa Cajón).

Los gráficos de la figura 10 muestran qué porcentaje de las viviendas auditadas entra en cada rango. En el caso de la tipología chorizo la mayoría de los casos corresponde a un consumo bajo con el 53 %. Mientras que para el tipo Cajón el mayor porcentaje de viviendas muestra un consumo medio (48 %).

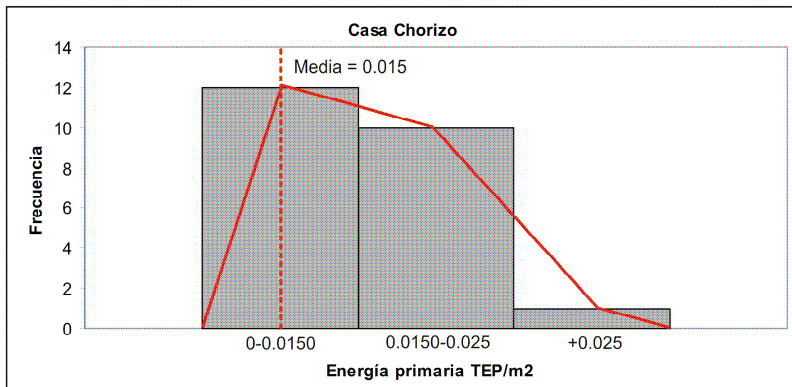


Figura 8: Histograma de frecuencia de variable Energía primaria TEP/m2 para tipología Casa Chorizo.

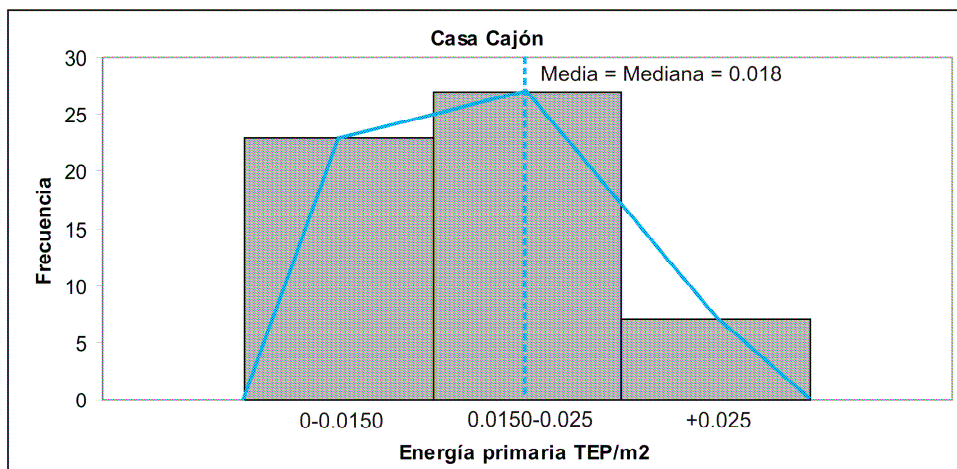


Figura 9: Histograma de frecuencia de variable Energía primaria TEP/m2 para tipología Casa Cajón

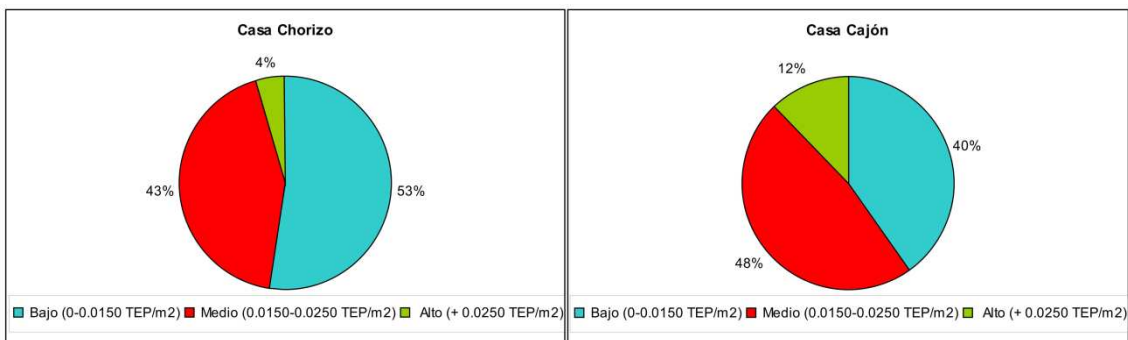


Figura 10: porcentajes de consumo de energía primaria de las tipologías analizadas

CONCLUSIONES

El trabajo permitió, mediante el relevamiento fotográfico satelital y peatonal, obtener datos relevantes característicos de los elementos que constituyen la envolvente de cada tipología. Asimismo pudieron inferirse valores de transmitancia térmica de techos, para luego calcular un G según tipo.

Por otra parte pudieron estimarse valores medios de consumo de energía primaria para las distintas tipologías analizadas; casa chorizo y cajón. Observándose que en ambas tipologías predominan consumos de energía bajos y medios.

Con este trabajo se busca desarrollar un método que permita analizar de forma sistémica las distintas variables de los tipos que conforman el tejido urbano, y de este modo obtener índices de consumo de energía típicos.

El desarrollo de herramientas de diagnóstico energético, apoyada en bases de datos de redes edilicias, permitirá mejorar el proceso de diseño y gestión de redes urbanas.

REFERENCIAS

Hughes, M; Griffon, B.; y Bouveyron, C. (1988). Segmentación y Tipología, Edit. Saltés, Madrid.

Czajkowski, J. y Rosenfeld, E. (1994). Evaluación del comportamiento energético de hospitales de complejidad media en la región del gran La Plata. Actas ASADES'17, Rosario. Pág 463-472.

Rosenfeld, E. y Czajkowski, J. (1992) Catálogo de tipologías de viviendas urbanas en el área metropolitana de Buenos Aires. Su funcionamiento energético y bioclimático. Instituto de Estudios del Hábitat, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata. La Plata.

Naredo, J.M. (1997) La "ciudad sostenible": Resumen y Conclusiones [en línea] :[fecha de consulta: 1 de mayo de 2010] Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a010.html>.

Czajkowski, J. (1999). Programa AuditCAD para el analisis del comportamiento energetico edilicio basado en auditorias energeticas y de confort. Anais del V Encontro de Conforto no Ambiente Construido.

Santamouris, M. (2001). Passive Cooling of Buildings. James&James, Londres.

Gauzin-Muller, D. (2002). Arquitectura Ecológica, 29 ejemplos europeos. Gustavo Gilli, Barcelona.

Curtit, G. (2003). Ciudad, gestion local y nuevos desafíos ambientales. Reflexiones entorno a las políticas neoliberales y sus efectos sobre nuestro territorio Estudio de caso: eje de crecimiento noroeste de la ciudad de La Plata. CIAM-Espacio, Buenos Aires.

Czajkowski, J. (2009). Tesis de Doctor. Facultad de Ingeniería : Análisis y modelización energético-ambiental de la edificación urbana basado en técnicas de auditoria y procedimientos estadísticos multivariados. Desarrollo de herramientas de diagnóstico y simulación. La Plata, UNLP.

ABSTRACT: This paper presents an analysis methodology based on statistical procedures in order to validate the hypothesis that urban tissue differentials as a building type with weights and attributes would be useful indicators to explain historical behaviors and trends.

This analysis is made in order to further develop a predictive model that will help understanding behaviors and future energy demands to facilitate not only a prediction for medium-term scenarios, but also improve trends visualization to decision makers. The application of this methodology to the residential sector of the city of La Plata, seeks to build typical energy consumption indicators and indices, relationship opaque-glazed and building thermal quality, to describe the habitat under study in particular, and to be used as a procedure applied to other cases of analysis.

Keywords: Model - ideal building type - Cadastral Survey - Energy consumption.