

ANÁLISIS DEL CONSUMO DE GAS NATURAL DE UNA VIVIENDA EN LA CIUDAD DE LA PLATA

Vagge, Carolina¹; Czajkowski, Jorge² y Filippin, Celina³
 Cátedra de Instalaciones, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, UNLP. CONICET.
 Calle 47 nro 162 1900 La Plata, Argentina.
 Tel / fax : 54 9221 4236587 int 255.
 E - mail: carolinavagge@yahoo.com.ar

RESUMEN: Trabajos previos muestran que las viviendas unifamiliares del AMBA poseen baja calidad energética que conlleva a un alto consumo de energía en climatización con inadecuados niveles de confort higrotérmicos. Dado que se adquirió nuevo instrumental de medición se implementa una auditoría energética-ambiental que incluye la adecuación de una encuesta socio-energética junto al protocolo de monitoreo y el análisis de resultados. Con el objetivo de ajustar variables críticas e indicadores energético-ambientales para diferenciales de tejido urbano. Se exponen resultados de la auditoría detallada realizada a vivienda sub-urbana tipo dúplex, en La Plata. Se presenta el caso y la metodología empleada, se discute la adecuación del protocolo de auditoría, se analiza el comportamiento higrotérmico y el consumo de energía durante la campaña de invierno.

Palabras claves: Vivienda, tipo dúplex, eficiencia energética, consumo de energía.

INTRODUCCION:

La vivienda se encuentra en Tolosa, fuera del casco urbano de la ciudad de La Plata (lat: -34.9; long: 57,56; alt: 21 mts) a orillas del Río de la Plata sobre la margen occidental. El clima esta clasificado según normas argentinas como templado cálido húmedo, sub-zona IIIb. La vivienda se encuentra orientada según eje NE-SO.

Del análisis de los datos climáticos, surge que posee veranos suaves ($t_{\text{máxmed}} = 28.5^{\circ}\text{C}$) e inviernos poco rigurosos ($t_{\text{mínmed}} = 6.7^{\circ}\text{C}$) con alta humedad ambiente ($\text{HR} = 71 \text{ Y } 86 \%$) y vientos predominantes desde el NE a SE. La temperatura de diseño máxima para verano es 34.5°C y la mínima de invierno 2.4°C (Figura 1a). El 17 % de los días de un año estadístico las temperaturas medias se encuentran por debajo del nivel de confort esto implica garantizar el acceso al sol en los ambientes principales y prever un buen aislamiento térmico. Solamente durante el 16 % de las temperaturas máximas superan el confort aunque con temperaturas medias dentro del confort. Según el climograma de Givoni (figura 1b) deberá tenerse en cuenta el sombreado adecuado, ventilación nocturna, mínima ventilación diurna, inercia térmica y aislamiento térmico en techos principalmente.

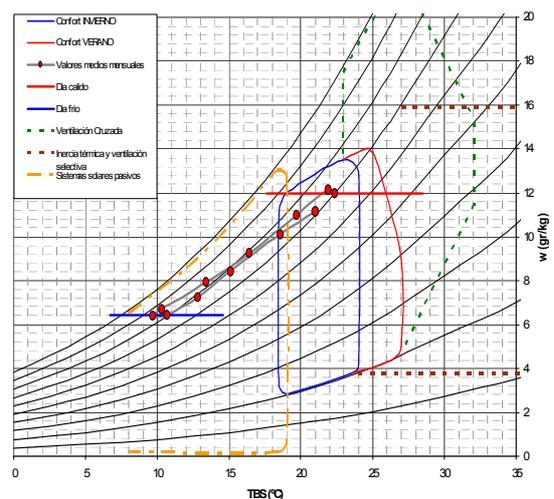
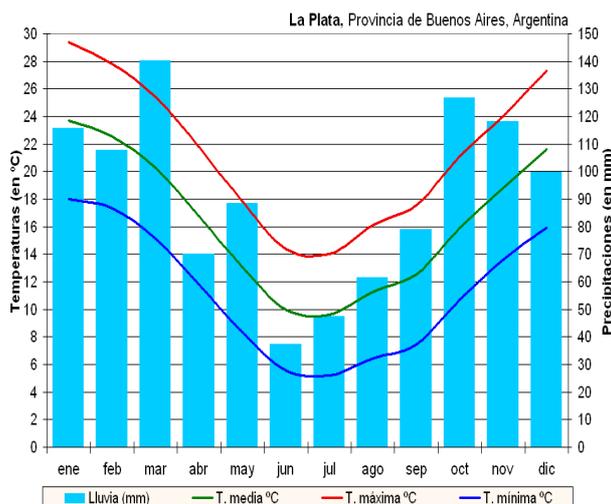


Figura 1a y b: Izquierda: datos del clima de la Ciudad de Plata. Características bioclimáticas de La Plata, Buenos Aires, Argentina a partir de datos medios de temperatura y humedad e indicando los días típicamente cálidos y fríos.

La vivienda fue diseñada y construida por un arquitecto local en el año 1996. La familia que habita actualmente la vivienda, la ocupó en el año 1998. Tiene 140 m^2 cubiertos, se encuentra emplazada en un terreno $10 \times 20 \text{ m}$. Es tipo dúplex, compacta,

¹ Beca tipo I CONICET; ² Prof. UNLP e Inv. Adj. CONICET (Director); ³ Inv. Indep. CONICET (Co-Director).

dispuesta en dos niveles: en la planta baja se encuentran el estar, comedor, estudio, baño y cocina, y en la planta superior 3 dormitorios, 2 baños y una biblioteca.

Su tecnología constructiva es convencional con estructura de H° A° (bases y vigas de fundación, columnas y vigas) entrepiso de viguetas pretensadas, con ladrillo cerámico hueco y capa de compresión. Cielorraso suspendido de placa de roca de yeso en estructura de hierro galvanizado. La cubierta es de chapa con entablado de machimbre a la vista de pino, aislamiento térmico e hidrófugo, materializado con cartón alquitranado y EPS de 20 mm y chapa galvanizada ondulada N° 25 ($K= 1.8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$). Los muros exteriores son de ladrillo hueco de 18x18x33 ($K= 1.8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$). Revoque externo con azotado hidrófugo y jaharro enlucido a la cal. Revoque interior: grueso y fino a la cal. Las carpinterías son de aluminio con vidrio simple de 4 mm y persianas de aluminio ($K= 5,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$). Los pisos son cerámicos sobre contrapiso de 10 cm de espesor sobre terreno natural.

Como sistema de calefacción cuenta con dos estufas de tiro balanceado de 2500 kcal/h cada una en la planta baja. No cuenta con sistema de refrigeración.

Los objetivos de este trabajo son: analizar las condiciones higrotérmicas de las distintas habitaciones de la casa según ubicación y orientación predominante, comparar el consumo de gas natural y análisis comparativo entre el consumo calculado y medido.



Figura 2: Foto de la fachada de la vivienda unifamiliar ubicada en Tolosa, La Plata.

INSTRUMENTOS Y MÉTODOS:

Se realizó una auditoría detallada que incluyó una encuesta socio-energética y una campaña de medición de invierno entre el 12-06-2008 y el 20-06-2008. Para realizar las auditorías se utilizaron 8 micro-adquisidores de datos HOBO U10 (temperatura y humedad), un micro-adquisidor de datos HOBO U12 (temperatura, humedad e iluminación), una estación meteorológica HOBO Pro V2 (temperatura y humedad), un termómetro infrarrojo Lutron TM-949 y un termómetro /anemómetro Lutron LM 8000.

En cuanto al instrumental de procesamiento de la información se utilizó el "Excel", el "HOBOWarePro" y el "BoxCarPro", para los datos generados por los hobos. En el análisis de la auditoría se usó el programa AuditCAD (Czajkowski, 1999). Dado que en La Plata la facturación es bimestral se debió convertir los consumos de gas natural y electricidad a valores mensuales a fin de poder contrastar con los valores generados por el AuditCAD (Czajkowski y Corredera, 2003).



Durante el periodo frío se siguió la siguiente metodología de medición:

- a Se utilizaron 6 Hobos para registrar las condiciones higrotérmicas en ambientes diurnos: estar , comedor , estudio y biblioteca, y dormitorios. También se colocaron dos micro-adquisidores de datos para medir cocción y agua caliente
- b Se verificaron los datos consignados en la encuesta.
- c Se instaló una estación meteorológica en el patio de la vivienda. El periodo de medición fue de 8 días incluyendo un fin de semana para medir durante días laborales y no laborales. El intervalo de toma de datos se fijó en 15 minutos y 30 segundos en los hobos ubicados en los distintos ambientes y para medir agua caliente y cocción respectivamente.

El programa auditCAD permite ingresar un valor variable de renovaciones de aire. La norma IRAM 11604 prevé dos

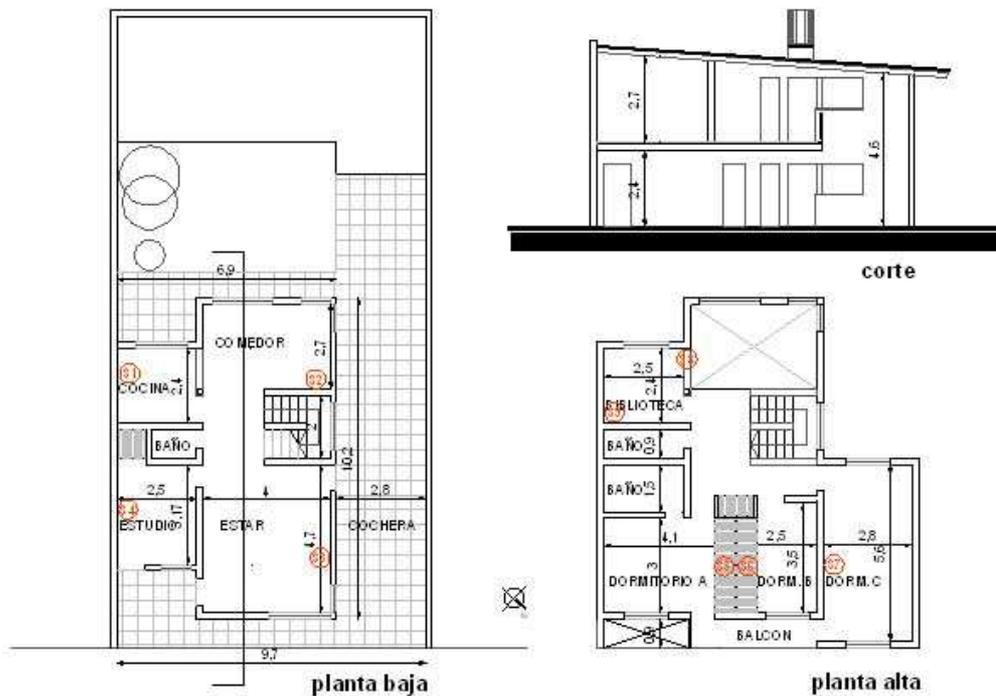


Figura 4: planta baja , planta alta y corte de la vivienda.

procedimientos para definir la tasa de renovaciones de aire: según zona bioambiental corresponde un valor de $N = 2$ para la verificación del Gadm; o una expresión que resulta del cociente entre el caudal de aire a renovar y el volumen calefacciando. Por otra parte la Ley de Higiene y Seguridad en el trabajo estipula para viviendas un $N_{\min} = 1,2$ y recomendado de $N = 1,5$. Pero en la definición del mínimo sanitario prevé un caudal de aire de $15 \text{ m}^3/\text{h}$. persona y en función de la aplicación de la expresión del anexo b (IRAM 11604) la tasa de renovaciones de aire mínima sanitaria para esta vivienda es $N = 0,18$. Esto nos da un margen de flexibilidad para ajustar el balance en función de encontrar el N adecuado; para nuestro caso resultara $N = 1,4$.

Para discriminar el consumo de gas para agua caliente sanitaria (acs), se ubicó un Hobo en el conducto de salida de gases de combustión a fin de que registre los saltos térmicos provocados por el encendido del quemador. Dado que la potencia del quemador figura en el equipo y este combustiona gas natural a caudal casi constante podríamos inferir que conociendo el periodo de tiempo diario y/o semanal de funcionamiento junto al poder calorífico del combustible conocer el caudal

consumido. Así en una hoja excel se graficó y cuantificó los momentos de encendido y apagado que sumados nos dan el tiempo total de encendido. Mediante este procedimiento puede conocerse el porcentaje de gas utilizado en ACS. Similar procedimiento podría utilizarse para conocer el consumo de gas en cocción, que desde ya tendrá un mayor margen de error debido a que tiene que relevarse en la encuesta socio energética cuáles son los quemadores más utilizados y en que momentos del día. Aunque no se expone en este trabajo hemos encontrado que cada quemador registra una curva característica.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la tabla 1 se puede ver una síntesis de las características climáticas exteriores durante la campaña de medición. Por otro lado, la tabla 2 muestra las temperaturas medias de cada ambiente de la vivienda y del exterior durante los días 12-06-2008 al 20-06-2008. En la figura 5 se muestra que la variación de temperatura en los ambientes interiores es mínima y relativamente homogénea. Como excepción el hobo localizado en la doble altura con la cocina en planta baja, la estufa del comedor y el tiro

	12/06/08	13/06/08	14/06/08	15/06/08	16/06/08	17/06/08	18/06/08	19/06/08
Temp. Media (°C)	9,9	11,4	11,1	8,0	8,5	9,9	9,6	10,8
Temp. Máx (°C)	14,7	17,6	13,4	12	14,1	15	14,5	12
Temp. Mín. (°C)	5,5	5,5	6,7	5,7	3,2	6,2	5,0	9,9
Amplitud térmica (°C)	9,2	12,1	6,7	6,3	10,9	8,8	9,5	12,1
Punto Rocío (°C)	0,8	2,8	-1	0,9	0,9	1,8	3,5	7,6
Humedad Relativa media (%)	49	49	41	59	55	51	67	87
Vel. media del viento (km/h)	9,3	9,1	22,6	18,1	8,9	13,7	15,2	23

Tabla 1 datos obtenidos con la estación meteorológica durante el periodo de medición 12-06-08 al 19-06-08

del termotanque en planta alta muestra una diferencia media de 3°C. La temperatura dentro de la vivienda entre los distintos ambientes varían entre los 16.6°C y 22.3°C. Mientras que la temperatura exterior varía durante el periodo de medición entre los 8°C y 11.1°C promedio. Por lo tanto la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior prácticamente constante con un valor medio de 8.6°C.

El comedor y el living se encuentran a la misma temperatura. Los dormitorios a y c alcanzan temperaturas mínimas cercanas a los 16 °C.

	12-Jun	13-Jun	14-Jun	15-Jun	16-Jun	17-Jun	18-Jun	19-Jun	Tmed.
biblioteca	17,4	17,2	18,3	17,2	16,6	17,1	17,0	16,5	17,2 ± 1
dor a	17,9	17,8	18,1	17,2	16,4	16,9	16,8	17,2	17,3 ± 0,85
dor b	19,2	19,2	20,1	18,6	17,8	18,0	18,4	18,5	18,7 ± 0,75
dor c	18,5	18,2	18,7	17,7	16,9	18,1	17,5	18,3	18,0 ± 2,4
doble altura	21,7	21,6	22,3	20,4	20,2	21,0	20,9	21,0	21,1 ± 0,85
comedor	19,1	18,9	19,8	17,8	17,7	18,5	18,3	18,3	18,6 ± 1,2
living	19,2	19,1	19,8	18,1	18,0	18,7	18,5	18,5	18,7 ± 1,4
exterior	9,9	11,4	11,1	8,0	8,5	9,9	9,6	10,8	18,5 ± 4,1

Tabla 2: Temperaturas registradas en los distintos ambientes de la vivienda y el exterior durante el período 12-06-2008 al 20-06-2008.

El dormitorio a se encuentra sobre la biblioteca y dos de sus muros dan al exterior. El 80% de la envolvente del dormitorio c se encuentra expuesta (incluido el piso), además cuenta con grandes superficies vidriadas que corresponden a dos ventanas, una orientada al noreste y la otra al sudoeste respectivamente, y una puerta que comunica el dormitorio con el balcón. En la figura 5 se puede ver como las temperaturas mínimas de este dormitorio se encuentre fuera de la zona de confort comprendida entre 17.5°C y 23.5 °C (Givoni 1969) . El dormitorio b se encuentra ubicado entre los dos dormitorios antes mencionado, recibiendo parte del calor que sube de la doble altura.

De las mediciones realizadas se deduce que aproximadamente el 12% del consumo de gas natural se consume en agua caliente , por lo tanto si este porcentaje se lo suma al valor que arrojó el balance, da como resultado que el valor calculado es un 8% mayor que el medido.

La vivienda tiene un consumo de gas natural de 2506 m³/año, (según encuesta), para 1080 grados día de calefacción (Temp base= 18°C) . Esto implica un consumo anual de gas natural de 20 m³/m².año con una media mensual de 209 m³.

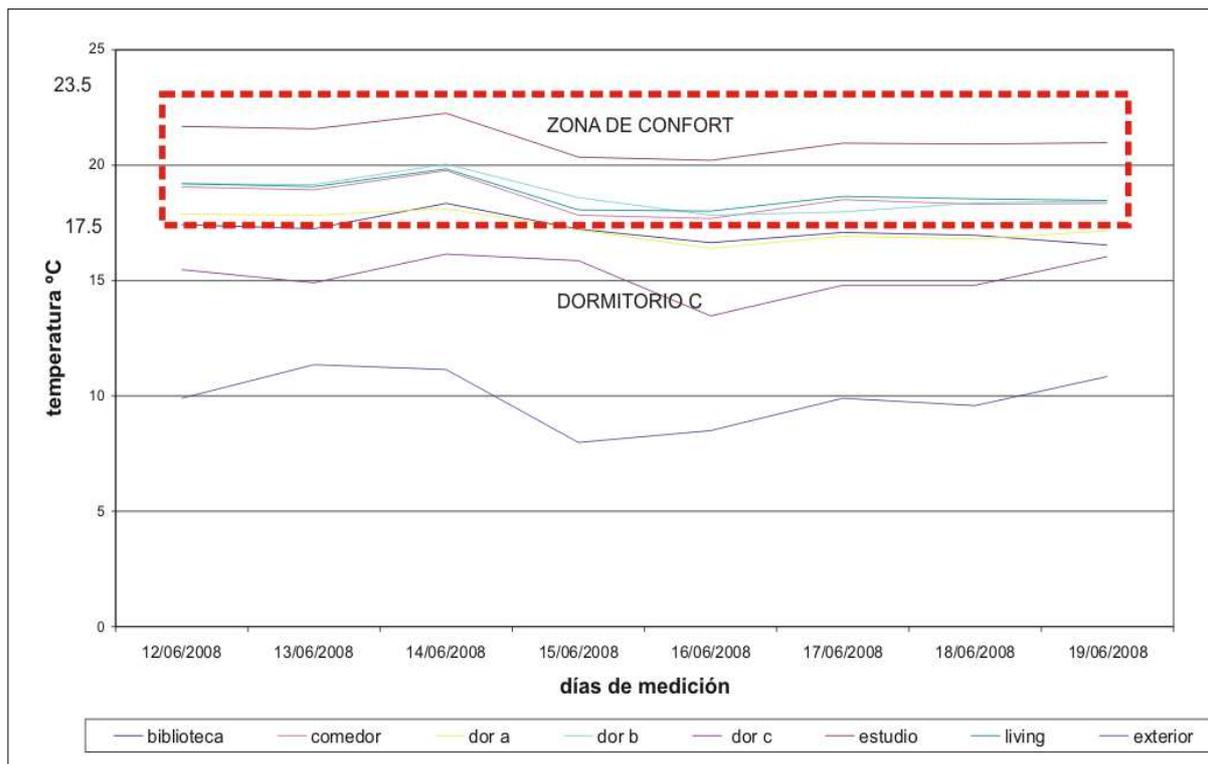


Figura 5. Gráfico de temperaturas en los distintos ambientes de la vivienda y el exterior durante el 12-06-2008 al 19-06-2008.

En la figura 6 se puede ver la coincidencia entre la curva de consumo promedio medida y los valores medios máximos calculados. Por otro lado se puede inferir que la calefacción es encendida en la vivienda alrededor del mes abril y se apaga para el mes de noviembre, teniendo un pico de máximo consumo en el mes de agosto coincidiendo con el mes más frío en la ciudad de La Plata.

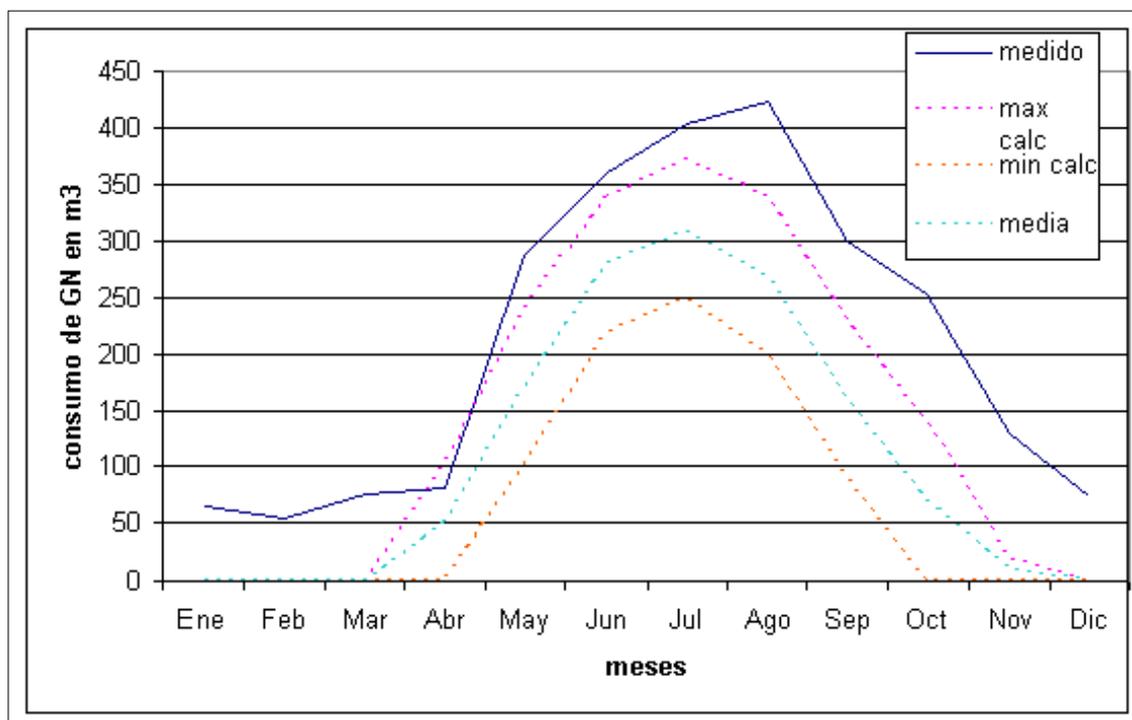


Figura 6: Gráfico comparativo entre consumo medido y calculado.

En la tabla 3 se puede ver los consumos mes por mes medidos obtenidos a partir de la encuesta socio energética y los consumos calculados por el programa auditCAD a partir de los datos obtenidos por los hobos. . También se comparan valores totales de consumo, promedios y cantidad de m³ de GN se gastan por m² (tabla 2). El consumo anual total de gas medido es superior al calculado, porque no se está considerando el GN natural consumido para agua caliente y cocción.

COMPARACIÓN BALANCES ENTRE APORTES MEDIDOS Y CALCULADOS

Horas medición consumo energía:	192	hs	Días medición:	8.00	días
Consumo gas natural	: 123.80	m ³			
Consumo Gas Envasado	: 0.00	Kg			
Consumo Energía Eléctrica	: 136.80	KW/h			
Temperatura del exterior media:	9.90	°C			
Temperatura del interior media:	18.00	°C			
Número de renovaciones de aire:	1.40	ra			
Número de habitantes	: 4	Hab			
Área habitable estudiada	: 76.86	m ²			
Volumen climatizado estudiado	: 327.97	m ³			
CALCULADAS POR BALANCE				: 3333.01	MJ
Aportes de energía debidos al Gas Natural	: 2561.55	MJ	75.7%		
Aportes de energía debidos al Gas Envasado	: 0.00	MJ	0.0 %		
Aportes de energía debidos a la Energía Eléctrica	: 492.48	MJ	14.6 %		
Aportes de energía debidos a la ocupación	: 124.42	MJ	3.7 %		
Aportes de energía debidos a la insolación	: 204.11	MJ	6.0 %		

APORTES DE ENERGIA INFERIDO A PARTIR DE MEDICIONES				: 3382.55	MJ
DIFERENCIA PORCENTUAL ENTRE CONSUMO CALCULADO Y MEDIDO:				-1.46	%

ASIGNACIÓN PORCENTUAL DE PÉRDIDAS TÉRMICAS SEGÚN BALANCE

CONSUMO DEBIDO A PÉRDIDAS POR MUROS.....W/°C	138	23.20	%
TECHOS..... W/°C	112	18.76	%
VENTANAS.....W/°C	83	13.97	%
PUERTAS.....W/°C	55	9.30	%
PISOS.....W/°C	46	7.80	%
RENOV. DE AIRE.W/°C	161	27.00	%

Figura 7: Resultados arrojados por el programa AuditCAD.

En la figura 8 se ve la baja dispersión entre el consumo de GN medido y el consumo calculado. Esta diferencia está directamente relacionada con el consumo de de gas en agua caliente y en cocción. Además de medir situación de confort en la vivienda se registraron datos de consumo de GN para agua caliente y cocción. En la figura se comparan los consumos calculados con los consumos medidos en la vivienda. Se observa una baja dispersión con R² = 0,9142.

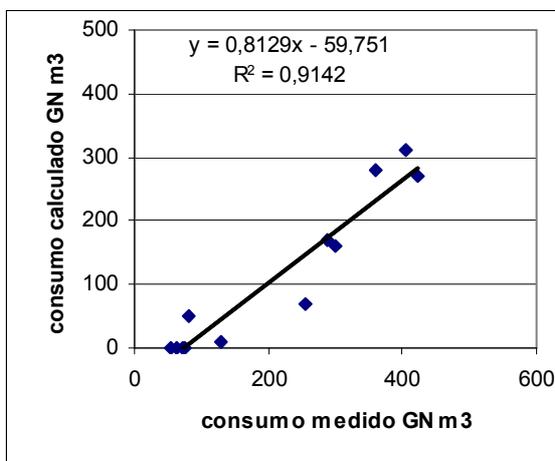


Figura 8: Gráfico que muestra la dispersión entre el consumo medido calculado.

	Consumo GN m3	Consumo GN calc. m3
Enero	64	0
Febrero	54	0
Marzo	76	0
Abril	81	50
Mayo	288	170
Junio	360	280
Julio	404	310
Agosto	423	270
Septiembre	300	160
Octubre	254	70
Noviembre	129	10
Diciembre	73	0
Total	2506	1320
Prom	209	110
Consumo GN/m2 año	20	11

Tabla 3: Valores de consumos de gas natural medidos y calculados

AH	AltLocal	Volumen	Aenv	Aexp	Co	Ff	Fe	G	Gadm	Qc
m ²	m	m ³	m ²	m ²	Co=AH/AE	f=AH/Vol	AExp/AEnv	W/m ³ °C	W/m ³ °C	Kw.h
120	2,7	328	278	254	0,43	0,36	0,9	1,8	1,6	19327

Tabla 3: Indicadores dimensionales, morfológicos y energéticos. CO: coeficiente de compacidad ; Ff: factor de forma, Fe: Factor de exposición; G: coeficiente global de pérdidas , Q: calor auxiliar (calculado en función del valor G y para una temperatura base de 18 °C).

Carga térmica anual de los departamentos:

El análisis de la demanda anual se realizó mediante el *EnergCAD* que muestra los siguientes resultados (Figura 7):

$$Q_c = \frac{N \times GD20 \times G \times V}{1000} \quad (\text{Eq. 1})$$

donde:

Qc : carga térmica anual en calefacción en (Kwh/año)

N: tiempo de calefacción en horas diarias según ocupación de la vivienda

GD20: grados días anuales (20°C).

G: coeficiente global de pérdidas térmicas (W/m³).

V: volumen calefaccionado del edificio (m³).

Al analizar la vivienda según norma IRAM 11604 el Gproyecto= 1.8 W/m³ °C y el Gadm= 1.6 W/m³ °C; con lo cual el edificio no cumple con la norma vigente.

CONCLUSIONES:

Este trabajo permitió aplicar un protocolo de auditoría ambiental edilicia y obtener información del comportamiento real de una vivienda unifamiliar.

En el presente trabajo se ve claramente la relación entre superficie expuesta y temperatura interior de los ambientes, la distribución del calor según el diseño de la vivienda ya que en este caso se registraron las mayores temperaturas en la doble altura. También se pudo comprobar que las temperaturas interiores varían en promedio 1.2 °C con una variación mínima de ±0.75 en el dormitorio b y una variación máxima de ±2.4 en el dormitorio c que registra las temperaturas más bajas y se encuentra expuesto en casi la totalidad de su envolvente. En cambio las temperaturas medias exteriores varían en ± 4°C.

A nivel de cumplimiento de normas, la vivienda no lo hace pero está cerca de hacerlo, si se redujeran las renovaciones de aire o incorporar aislamiento térmico en los muros.

En una continuación del trabajo podrían introducirse resultados a partir de analizar el consumo de gas en cocción y un análisis de las condiciones de confort de la vivienda.

REFERENCIAS:

- Czajkowski Jorge (1999). Desarrollo del programa AuditCAD para el análisis de edificios a partir de auditorías ambientales. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente N°3. ISSN 0329-5184.
- Czajkowski Jorge y Gomez Analía (2002). Diseño Bioclimático y Economía Energética Edilicia. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.
- Czajkowski Jorge et Al. (2003). Análisis de la relación entre demanda de gas natural en calefacción según EnergCAD y consumos reales en viviendas unifamiliares del gran La Plata. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente N°7. Formosa, Argentina. ISSN 0329-5184.
- Givoni, B. Hombre clima y arquitectura. Elsevier, Inglaterra, 1969.
- Filippín, Celina (2007). Análisis del consumo de gas natural en viviendas multifamiliares en bloque en un clima templado frío de Argentina. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente N°11. Formosa, Argentina. ISSN 0329-5184. San Luis, Argentina.
- Norma IRAM 11604. Aislamiento térmico de edificios. Coeficiente volumétrico de pérdidas térmicas G. Buenos Aires, Argentina.

ABSTRACT: Previous investigations show that the AMBA family houses have low quality energy and leads to high energy consumption in air conditioning depending on the economic level of occupants. The new instrumental measurement is implemented an energy audit, which includes a survey socio-energy with a protocol of monitoring and analysis of results. The objective is to adjusting critical variables and indicators of energy for environmental differentials urban fabric. Results of a detailed audit performed to a sub-urban housing for a middle-class family in the town of Tolosa, Partido de La Plata are outlined. The case and the utilized methodology is explained, and the hicro-thermal behaviour and energy consumption during the winter season is evaluated.

Key words: Single family house, duplex, energy efficiency, energy consumption.