

DETERMINACIÓN DE CONSUMOS ENERGÉTICOS SEGÚN AISLAMIENTO TÉRMICO Y ORIENTACIÓN, MEDIANTE SIMULACIÓN ENERGÉTICA. CASO DE LA VIVIENDA UNIFAMILIAR

V. L. Volantino, J.T. Bernacchia, D. H. Pizzorno
Unidad Técnica Habitabilidad Higrotérmica – INTI Construcciones -Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Av. General Paz 5445 CP B 1650WAB Provincia de Buenos Aires
Tel. 011 4724-6200 int. 6482 - Fax. 4753-5764 e-mail : vvolanti@inti.gov.ar

RESUMEN: Se evaluó el comportamiento energético de una vivienda tipo, unifamiliar, mediante el software Energy Plus, cuyos principios están basados en los programas BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) y DOE-2. Está compuesta de 3 ambientes, cocina, baño y lavadero, totalizando 69 m² cubiertos, y resultante de promediar datos del Censo 2001. Se ubicó en la Ciudad de Buenos Aires, por lo que los valores obtenidos responden al clima de la misma. Se determinaron las orientaciones de máximo y mínimo consumo para calefacción y refrigeración. Luego, el modelo fue procesado para ambas orientaciones extremas, con mejoras sustanciales en la aislación térmica del techo y los muros con 3” y 2” respectivamente, de un aislante térmico convencional de conductividad media; también se cambiaron las carpinterías de vidrio simple por doble vidriado hermético.

Palabras Clave: comportamiento energético, consumos de calefacción y refrigeración, orientación y aislamiento térmico,

INTRODUCCIÓN

Este ensayo obedece al compromiso y la necesidad urgentes, de acompañar los avances para la concreción en nuestro ámbito nacional, de normas y leyes relacionadas con la Eficiencia Energética, análogas a las de otros países más avanzados.

En nuestro país como en gran parte del mundo la situación energética actual y el creciente deterioro medioambiental, han dado origen al empleo intensivo del recurso informático, como una herramienta potente y eficaz para evaluadores y proyectistas; por otro lado, la reducción controlada del kWh/m² –año en el ámbito edilicio en general y en el residencial en particular, constituye un imperativo al que nos encontramos mundialmente asociados. Es necesario en este sentido recorrer el camino que nos permita nuestra propia adecuación y validación de los programas en uso.

Con la crisis energética de los años 70, surgieron diversos softwares para analizar los consumos, especialmente los asociados con calefacción y refrigeración, en distintos tipos de edificios y en el sector residencial en particular. La progresiva concientización de que el consumo energético de edificios y viviendas, ocupaba un porcentaje muy elevado dentro del total, viene generando la normativa y legislación mundial que en buena medida se sustenta mediante cálculos de simulación.

Los primeros programas intentaron abordar el problema desde distintas perspectivas (BLAST / DOE-2). Ambos softwares tuvieron sus ventajas y desventajas, sus seguidores y detractores, constituyendo en todo caso una base sólida reconocida internacionalmente. Actualmente, se dispone de tecnología y desarrollos para realizar cálculos, que permiten no sólo aproximarse a un comportamiento más cercano a la realidad sino que también componen numerosas variables, que inducen a decisiones importantes a la hora de diseñar partes y/o cuantificar consumos. El eje rector del presente trabajo es ejercitar la aplicación del Energy Plus a un caso típico de vivienda en la República Argentina, modificando su orientación en el terreno y las características aislantes térmicas de su envolvente; de manera que se pueda calcular, desglosar y comparar la demanda energética de la vivienda en distintas condiciones.

Destacamos en primer lugar, la obtención vía Internet, de los datos climáticos provenientes de una base de datos del Departamento de Energía de USA, cuyos registros se corresponden con la localización (Aeroparque) del presente estudio. Estos fueron necesarios para su reconocimiento en el software original.

Para poder reducir el consumo energético empleado en la climatización de los edificios, la aplicación original de los conceptos asociados a la arquitectura sustentable, incluye entre ellos elegir en lo posible la mejor orientación y optimizar el aislamiento térmico de los elementos de la envolvente, como medidas prioritarias para poder mejorar el comportamiento energético global de las construcciones edilicias.

El programa responde entonces a 4 casos, con la información de salida que permitiría, evaluar por comparación, así como también tomar mejores decisiones en la etapa de proyecto.

DESARROLLO DEL TRABAJO

Datos de entrada – INPUT –

En el trabajo “USO RACIONAL DE LA ENERGÍA: Ahorros mediante Aislamiento Térmico en la Construcción”, publicación de INTI Construcciones y con la información contenida en el Censo 2001, se estableció una tipología de hogares-casa por región. De allí proviene el modelo para la evaluación.

En la *Figura 1* se observa la planta de arquitectura, de 69 m² cubiertos; en la *Figura 2* la ubicación de los calefactores a gas por tiro balanceado –identificados 1,3 y 5– y equipos splits individuales para refrigeración –2,4 y 6–, que se corresponde con una distribución habitual en vivienda de tres ambientes. En cuanto a la zonificación de la superficie acondicionada, hay una por cada dormitorio, y se han considerado integrados en una tercera, el estar-comedor-cocina- paso, por ser frecuente su conexión directa a través de un breakfast o por mantener las puertas abiertas. El baño y el lavadero constituyen la superficie no calefaccionada de la vivienda. Vale aclarar que la vegetación representada en la perspectiva del modelo –Figura 3–, no ha sido considerada a los efectos de la simulación.

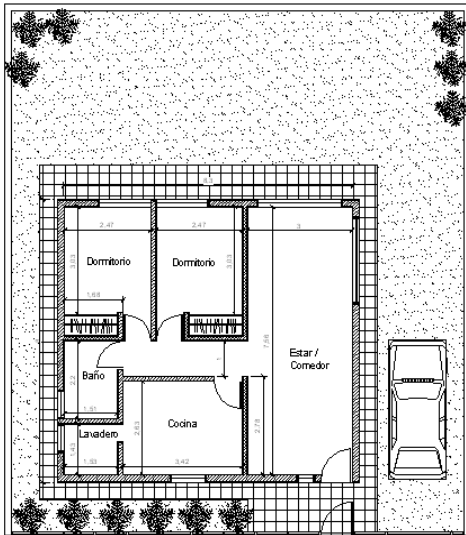


Figura 1: Planta de vivienda tipo “Hogares Casas”

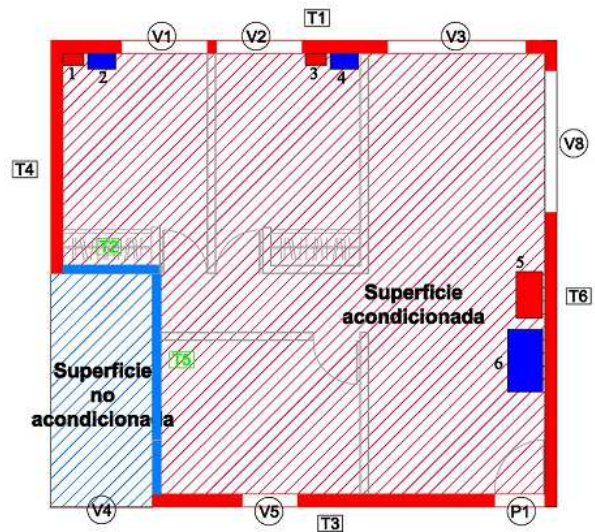


Figura 2: Superficie acondicionada para la vivienda



Figura 3: Perspectiva del modelo analizado por el Energy Plus.

Se enfocó entonces, el comportamiento de una vivienda unifamiliar en la Ciudad de Buenos Aires, con un sistema constructivo constituido en principio, por muros de ladrillos huecos de 18cm de espesor con ambas caras revocadas, una cubierta de chapa metálica con cielorraso de placa de yeso y ventanas con vidrio simple; esto es, con franca subestimación de las necesidades de aislación térmica.

Para esta situación, en la Tabla 1, y a los efectos de su validación, se comparan los valores de Transmitancia Térmica (K) que calcula el programa Energy Plus a partir de datos físicos y geométricos de los materiales –columna 3–, con los que se obtienen mediante la utilización de un programa de simulación numérica que analiza el fenómeno de transmisión de calor en geometría bidimensional –columna 2–

| Sistema Constructivo | Transmitancia Térmica [W/m ² K] Según Physibel - Kobru 86 | Transmitancia Térmica [W/m ² K] Según Energy Plus |
|--|---|---|
| Muro de Ladrillo Hueco del 18-revocado- | 1,53 | 1,53 |
| Carpintería de vidrio simple | 5,82 | 5,95 |
| Cubierta de chapa metálica y cielorraso sin aislar | 2,50 | 2,44 |

Tabla 1: Transmitancia térmica de muros y techos considerados en la vivienda sin aislación térmica.

Con esta vivienda, mal aislada, se procesaron dos modelos, los identificados como MAMO –mal aislado y mal orientado, y el MABO –mal aislado y bien orientado-.

Como segundo paso se aisló el sistema, mediante el agregado de un material aislante térmico convencional de conductividad térmica media igual a 0,040 W/m.K, incorporando 3” (7,5cm) de espesor en el techo y 2” (5cm) en los muros. En cuanto a las carpinterías, se reemplazó el vidrio simple por el doble vidriado hermético. Para cada caso se obtuvieron nuevamente las respectivas Transmitancias Térmicas, resultando los valores detallados en la Tabla 2. El valor de transmitancia térmica en muros del modelo aislado se corresponde prácticamente con el nivel A de confort higrotérmico para la condición de verano de la norma IRAM 11605, mientras que el del techo está más cercano al nivel B. Para la condición de invierno ambos coeficientes se ubican entre los niveles A y B de la citada norma; por lo que se trata entonces de una vivienda aislada entre los niveles “medio” y “recomendado”.

| Sistema Constructivo | Transmitancia Térmica [W/m ² K] Según Physibel - Kobru 86 | Transmitancia Térmica [W/m ² K] Según Energy Plus |
|--|---|---|
| Muro de Ladrillo Hueco del 18- revocado y con 2” de aislación- | 0,47 | 0,47 |
| Carpintería DVH | 2,90 | 2,77 |
| Cubierta de chapa metálica y cielorraso con 3” de aislación | 0,43 | 0,51 |

Tabla 2: Transmitancia térmica de muros y techos aislados térmicamente y con DVH en las ventanas

Con esta vivienda, bien aislada, se procesaron otros dos modelos, los identificados como BAMO –bien aislado y mal orientado, y el BABO –bien aislado y bien orientado-.

Ocupación:

En todos los casos se consideró la vivienda habitada por 4 personas, configurando así una familia tipo, de una pareja adulta y dos menores. En la simulación se le asignó una rutina a cada integrante. Es decir, una persona cumple horario laboral, dos horario escolar, y la restante con permanencia total. Los sábados y domingos se encuentra ocupada durante la mañana y la noche. Se tienen en cuenta 20 días de vacaciones durante el mes de enero. De esta manera, se pueda observar el comportamiento de la vivienda cuando se encuentra deshabitada por tiempo prolongado. La ocupación tiene incidencia directa en la utilización de los equipos de refrigeración y/o calefacción cuando la temperatura de confort lo requiera (24°C en verano/ 20°C en invierno). Otros consumos, tanto en electrodomésticos como en iluminación, también se relacionan con los horarios y por el nivel de ocupación..

Electrodomésticos

Para la carga de datos necesarios en la simulación, se consideraron artefactos de potencia media correspondiente con lavarropas, heladera, microondas, plancha, televisor, reproductores de audio y video, computadora, etc., obteniéndose la densidad de potencia de los artefactos electrodomésticos por zona según la Tabla 3.

| ZONA | Área (m ²) | Acondicionada (S/N) | Volumen (m ³) | Superficie Opaca (m ²) | Superficie Vidriada (m ²) | Densidad de Pot. Artif. Eléctricos (W/m ²) |
|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--|
| ESTAR COMEDOR-COCINA-PASO | 37,16 | SI | 115,2 | 48,8 | 10,6 | 68 |
| BAÑO LAVADERO | 6,13 | No | 8,23 | 12 | 1 | 30 |
| HABITACION 1 | 9,41 | SI | 39,9 | 22,2 | 1,8 | 53 |
| HABITACION 2 | 9,71 | SI | 28,78 | 6,81 | 1,80 | 52 |

Tabla 3: Distribución de la potencia instalada en artefactos eléctricos por zona.

Iluminación artificial:

La potencia instalada de iluminación es de 1060 watts distribuidas en: 120 en cada dormitorio, 580 en el estar, living y cocina, 240 en el núcleo húmedo (baño y lavadero).

| ZONA | Densidad de potencia en Iluminación (W/m2) | Área (m2) | Potencia total (W) | Schedule Name | Acondicionado (S/N) |
|---------------------------|--|-----------|--------------------|------------------------------|---------------------|
| ESTAR COMEDOR-COCINA-PASO | 15,6 | 37,16 | 580 | MULTIFAMILY ONEZONE LIGHTING | S |
| HABITACION 1 | 12,8 | 9,41 | 120 | MULTIFAMILY ONEZONE LIGHTING | S |
| HABITACION 2 | 12,4 | 9,71 | 120 | MULTIFAMILY ONEZONE LIGHTING | S |
| BAÑO LAVADERO | 39,2 | 6,13 | 240 | MULTIFAMILY ONEZONE LIGHTING | N |
| ILUMINACIÓN TOTAL | 17,0 | 62,41 | 1060 | | |

Tabla 4: Distribución de potencia instalada en iluminación por zona.

Producción de agua caliente:

Se consideró un termotanque eléctrico de 1500W

Infiltración de aire en ventanas:

Se han considerado una distribución en las aberturas del modelo, equivalente a una renovación y media horaria del volumen interior del mismo: tanto en invierno como en verano.

Acondicionamiento térmico:

El equipamiento se definió a partir de los resultados obtenidos para los picos de carga en la vivienda sin aislamiento y en la condición de orientación más desfavorable –modelo MAMO-. El factor de uso está asociado a la ocupación de cada zona térmica cuando la temperatura de confort lo requiera, tanto para calefacción como para refrigeración.

Calefacción:

Se adoptan los artefactos a partir de los valores en la columna Design Load (W) MAMO de la Tabla 5, esto es: 3 estufas de tiro balanceado, 2 de 1700 kcal/h (1 y 3) en cada dormitorio y 1 de 4500 kcal/h (5) en el estar comedor-cocina-paso (Ver figura 2).

| Zone | Design Load (W) MAMO | Design Load (W) MABO | Design Load (W) BABO | Calculated Design Air Flow (m3/s) | User Design Air Flow (m3/s) | Design Day Name | Date/Time Of Peak | Temperature at Peak (°C) | Humidity Ratio at Peak (kgWater/kgAir) |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------|--|
| Comedor cocina | 4824 | 4479 | 2679 | 0,109 | 0,131 | BUENOS AIRES ANN HTG 99.6% CONDNS DB | 21 July 17:00 | -0,2 | 0,00372 |
| Habitación 1 | 1681 | 1583 | 956 | 0,029 | 0,035 | BUENOS AIRES ANN HTG 99.6% CONDNS DB | 21 July 17:00 | -0,2 | 0,00372 |
| Habitación 2 | 1298 | 1192 | 758 | 0,038 | 0,046 | BUENOS AIRES ANN HTG 99.6% CONDNS DB | 21 July 17:00 | -0,2 | 0,00372 |

Tabla 5: carga de diseño para calefacción, para el modelo mal aislado y mal orientado.

Refrigeración:

Se resuelve con 3 equipos split frío: 2 de 2250 frigorías (2 y 4) en cada dormitorio, y 1 de 5000 frigorías (6) en el estar comedor (Ver figura 2). Esto es a partir de los valores obtenidos en la columna Design Load (W) MAMO de la Tabla 6.

| Zone | Design Load (W) MAMO | Design Load (W) MABO | Design Load (W) BABO | Calculated Design Air Flow (m3/s) | User Design Air Flow (m3/s) | Design Day Name | Date/Time Of Peak | Temperature at Peak (°C) | Humidity Ratio at Peak (kgWater/kgAir) |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---|-------------------|--------------------------|--|
| Comedor cocina | 5402 | 4942 | 3021 | 0,37 | 0,44 | BUENOS AIRES ANN CLG .4% CONDNS DB=>MWB | 21 Jan 15:00 | 33,6 | 0,01246 |
| Habitación 1 | 1488 | 1209 | 784 | 0,10 | 0,12 | BUENOS AIRES ANN CLG .4% CONDNS DB=>MWB | 21 Jan 15:00 | 33,51 | 0,01246 |
| Habitación 2 | 1425 | 962 | 720 | 0,10 | 0,12 | BUENOS AIRES ANN CLG .4% CONDNS DB=>MWB | 21 Jan 15:00 | 33,51 | 0,01246 |

Tabla 6: carga de diseño para refrigeración, para el modelo mal aislado y mal orientado.

Datos climáticos

Los resultados obtenidos tanto en dimensionamiento de equipos, como en consumos, están sujetos a la variación del clima exterior, en este caso para Buenos Aires, se adoptó la estación meteorológica de Aeroparque. Son registros de 1989 al día de la fecha, que contienen: temperatura ambiente, radiación directa y difusa, velocidad de viento, precipitaciones, humedad relativa, presión atmosférica y porcentaje de nubosidad. Para estos registros, se tiene acceso a un IWEC, un archivo estadístico, utilizado a la hora de simular. Esta es la herramienta que permite realizar los cálculos en régimen variable, superando la aplicación de criterios y ecuaciones sólo válidas en régimen estacionario. En la *Figura 4* se muestra a modo ilustrativo los valores de temperatura durante un año como resultado estadístico del período 1989 – 2009.

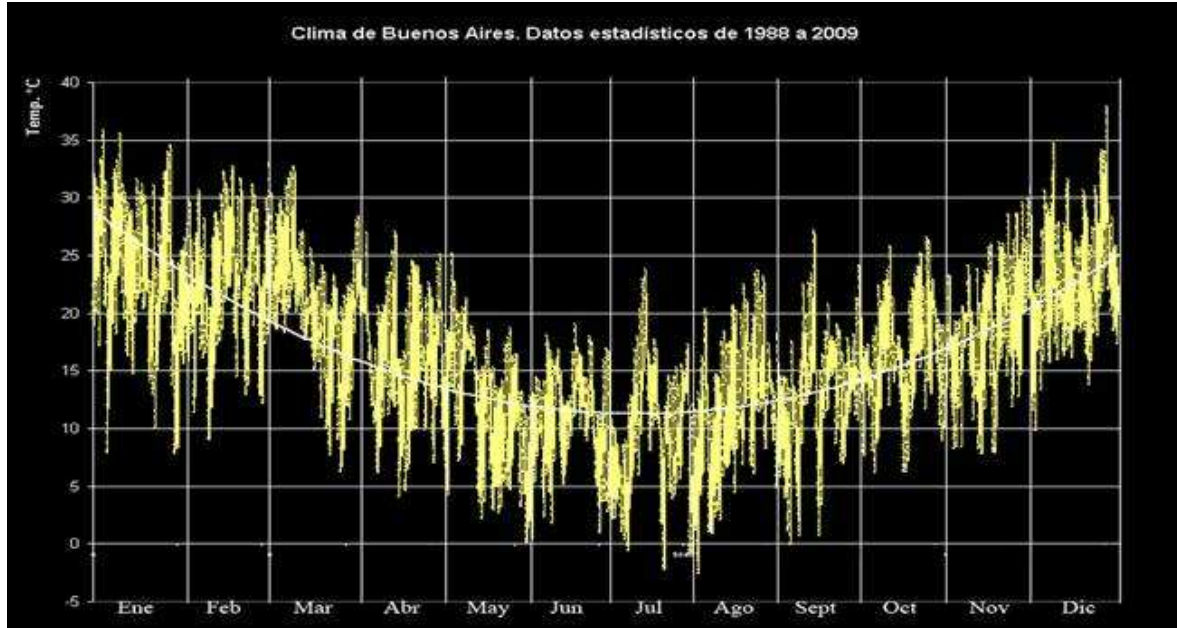


Figura 4: archivo de clima utilizado para la simulación de la vivienda

Con la simulación del modelo en estas condiciones se calcularon las demandas energéticas para los cuatro puntos cardinales. Con el muro T6 que contiene a la abertura V8 (*Figura 2*), orientada al Este, resultó la de menor consumo, mientras que con ese mismo muro mirando al Oeste el consumo fue máximo.

RESULTADOS OBTENIDOS

Procesamiento y obtención de datos –OUTPUT–

Se procesaron los 4 modelos de vivienda que se identificaron como: MAMO: mal aislado y mal orientado; MABO: mal aislado y bien orientado; BAMO: bien aislado y mal orientado y BABO: bien aislado y bien orientado. Los resultados se vuelcan en la *Tabla 7*, desglosando el consumo por tipo y con el cálculo de los kWh/ m²-año en cada caso, tradicionalmente representativo o indicativo, del nivel de eficiencia energética.

| DESGLOSE | CONSUMOS ANUALES SEGÚN MODELO DE SIMULACIÓN | | | | | | | |
|-----------------------|---|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | BABO | | BAMO | | MABO | | MAMO | |
| | kWh/año | kWh/m2-año | kWh/año | kWh/m2-año | kWh/año | kWh/m2-año | kWh/año | kWh/m2-año |
| Calefacción | 2.628 | 37,9 | 3.053 | 44,1 | 4.831 | 69,7 | 5.214 | 75,3 |
| Refrigeración | 1.328 | 19,2 | 1.439 | 20,8 | 1.833 | 26,5 | 2.222 | 32,1 |
| Iluminación | 1.406 | 20,3 | 1.406 | 20,3 | 1.406 | 20,3 | 1.406 | 20,3 |
| Artefactos eléctricos | 3.128 | 45,1 | 3.128 | 45,1 | 3.128 | 45,1 | 3.128 | 45,1 |
| Agua caliente | 2.994 | 43,2 | 2.994 | 43,2 | 2.994 | 43,2 | 2.994 | 43,2 |
| Cocinar | 2.124 | 30,7 | 2.124 | 30,7 | 2.124 | 30,7 | 2.124 | 30,7 |
| Totales | 13.608 | 196,4 | 14.143 | 204,1 | 16.315 | 235,5 | 17.088 | 246,6 |

Tabla 7 : consumos anuales según modelo de simulación

La *Figura 5*, permite visualizar el orden creciente de consumos para el acondicionamiento del aire, que resultan de la mala orientación y por la falta de adecuadas aislaciones térmicas del modelo.

Entre las dos situaciones extremas, esto es, la vivienda sin aislaciones y desfavorablemente orientada- MAMO- y la adecuadamente aislada y mejor orientada- BABO-, la diferencia anual en consumos de calefacción y refrigeración es de 3480 kWh, equivalentes a un 20,30% más de consumo respecto del total (17088 kWh/año)

La posibilidad de optimizar la orientación en el modelo BABO, economiza 536kWh/año- 12%- en consumos de calefacción y refrigeración, mientras que la adecuada aislación térmica del mismo representa 2708kWh/año – 41%-.

CONSUMOS ANUALES SEGÚN MODELO DE SIMULACIÓN (kWh/m²)

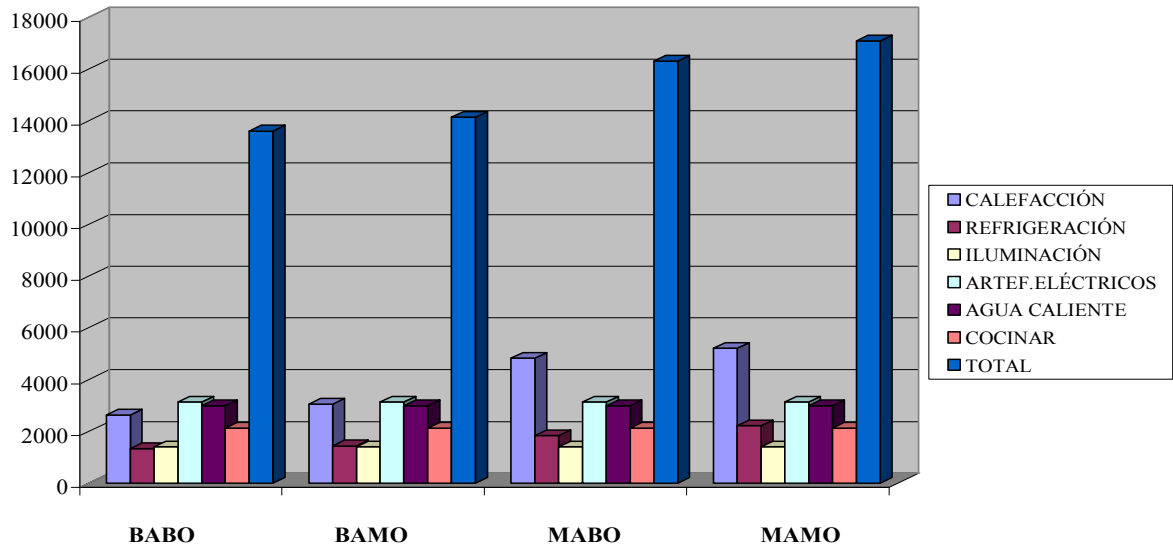


Figura 5: consumos anuales según modelo de simulación

Las Figuras 6, 7, 8 y 9, a modo de ejemplo, muestran el comportamiento de la temperatura del aire interior de las zonas climatizadas y no climatizadas, para los modelos BABO y MAMO, a lo largo de un día típico de verano (10 de enero) y otro de invierno (21 de julio). En todas las figuras, el azul corresponde a la temperatura exterior, el amarillo a la de la habitación 1, fucsia para el estar y celeste para el lavadero y el baño que no están acondicionados. Los períodos de estos días representativos, en que la temperatura de los ambientes climatizados está por encima de 24°C en verano o por debajo de 20 °C en invierno, es decir fuera de la condición de confort, obedece a los períodos de ocupación por zona asignados en la simulación. Esto presupone un uso racional de los equipos, se encienden cuando la casa está ocupada, y se apagan cuando no lo está.

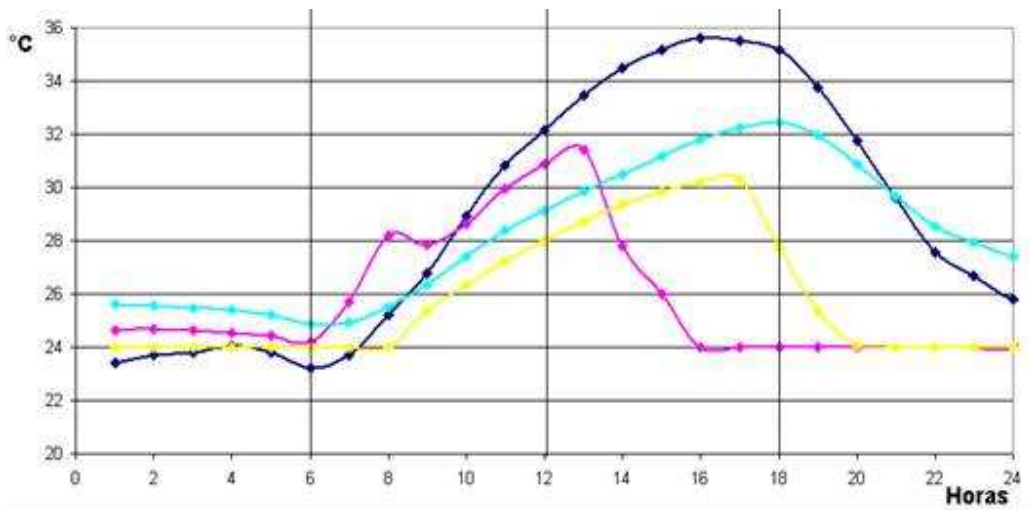


Figura 6: temperaturas en modelo de simulación BABO- caso de verano

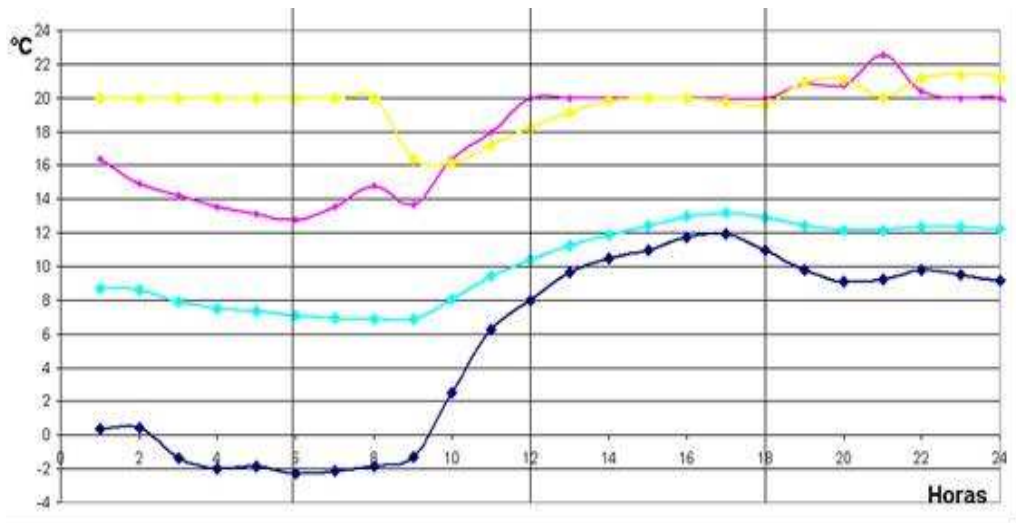


Figura 7: temperaturas en modelo de simulación BABO- caso de invierno

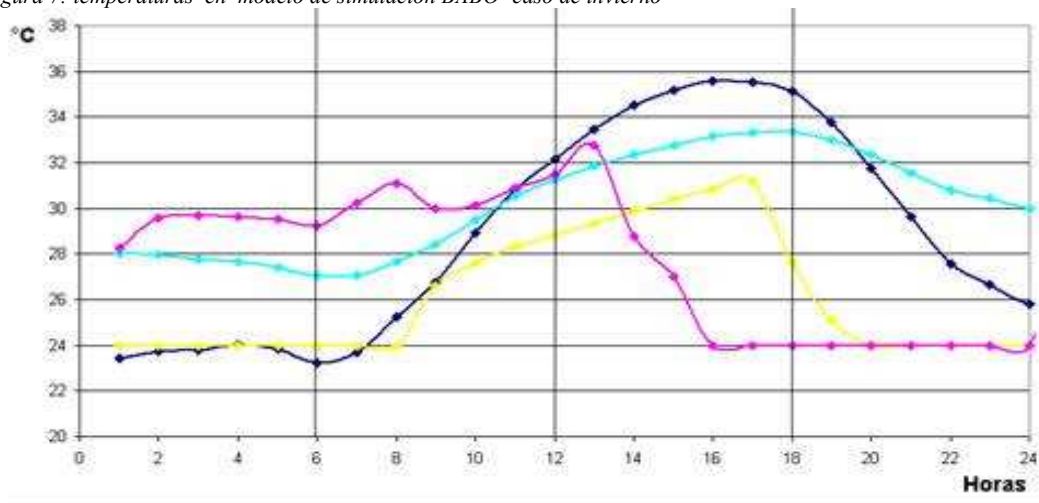


Figura 8: temperaturas en modelo de simulación MAMO- caso de verano

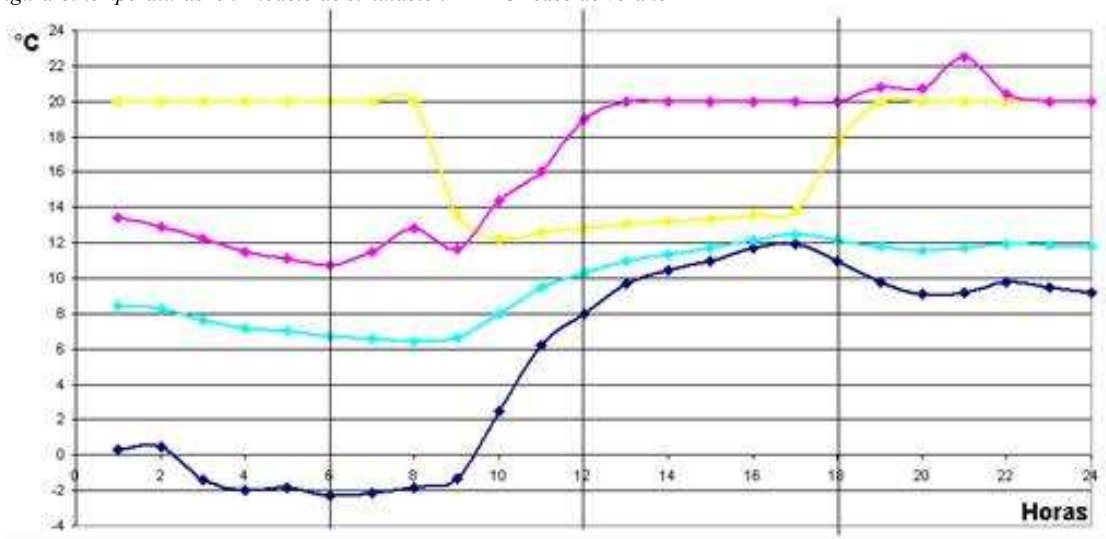


Figura 9: temperaturas en modelo de simulación MAMO- caso de invierno

En la Figura 10 se muestra a modo ilustrativo para el modelo BABO (Bien Aislado Bien Orientado), el consumo diario tanto de calefacción como de refrigeración durante un año. En el mismo se observa el mayor peso del consumo debido a la calefacción comparado con el de refrigeración.

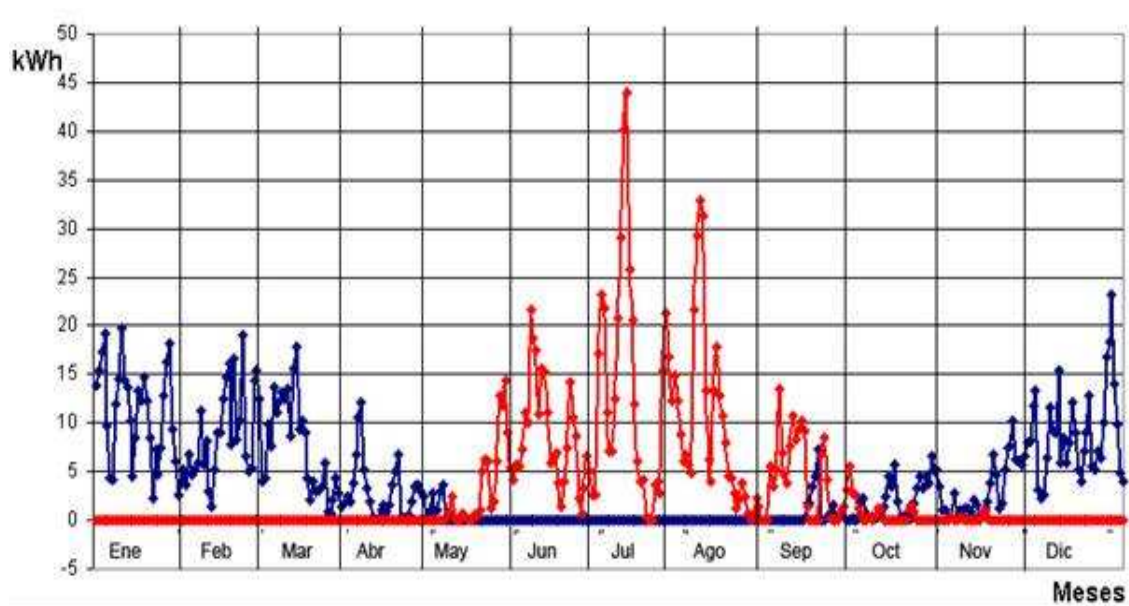


Figura 10: consumo diario en un año del modelo BABO en calefacción (rojo) y refrigeración (azul)

CONSIDERACIONES

Vale advertir que en ningún caso se han tenido en cuenta elementos de protección solar, u oscurecimiento, como postigones, cortinas de enrollar o celosías. Esto implica que los consumos obtenidos en calefacción y refrigeración en todos los casos, podrían moderarse significativamente, a favor del ahorro energético.

Tampoco se han considerado algunos otros efectos beneficiosos, que resultarían de analizar por ejemplo, el manejo de áreas de radiación o el uso de variantes constructivas de muros con poder de acumulación energética.

CONCLUSIONES

La optimización durante las etapas de planificación y proyecto, de la orientación y la aislación de la envolvente, permite alcanzar en viviendas unifamiliares aisladas, economías en calefacción y refrigeración de hasta un 25%.

200kWh/m²-año de consumo en todo concepto, aparece como un valor de referencia válido para la zona bioambiental IIIb de la norma IRAM 11603, en el sentido de que tolerar en los proyectos futuros, comportamientos energéticos que superen ese índice de consumo, implicaría no respetar un nivel mínimo de eficiencia energética racionalmente exigible.

REFERENCIAS:

- Volantino V. L., Bilbao P. A. (2007) USO RACIONAL DE LA ENERGÍA: Ahorros mediante Aislamiento Térmico en la Construcción Publicación de INTI Construcciones. www.inti.gob.ar/construcciones
- Pizzorno D. H. (2008). USO RACIONAL DE LA ENERGÍA: Costo de Aislación Térmica versus Ahorro en Calefacción. Actas XXXI Reunión de Trabajo ASADES.
- ASHRAE (2005) Fundamentals Handbook.
- Bernacchia J. T. (2009). Tratamiento de Base de Datos Climáticos de Aplicación al programa Energy Plus – INTI Construcciones – Inédito-
- Physibel (1996). Consulting engineers. Research Advice Software. Bélgica.
- U.S. Department of Energy, Energy efficiency and renewable energy International Weather for Energy calculation (IWEC)
- Programa de simulación Energy Plus.
- IRAM, Normas de Acondicionamiento Térmico de Edificios N°: 11603 (1996) y 11605 (1996).

ABSTRACT: The energetic performance of a typical single- family home, was evaluated using Energy Plus software, which is based on features of BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) and DOE-2 programs. It contains two bedrooms, a living room, a kitchen, a bathroom and a laundry, totaling a covered area of 69 m², and it is the result of averaged data from 2001 Census. As it is located in the city of Buenos Aires, values obtained are related to its climate. The orientations for maximum and minimum heating and cooling consumption was determined. Then, the model was processed for both extreme orientations with substantial improvement in thermal insulation of roof and walls using 3” and 2” conventional medium conductivity insulating material, respectively, and replacing simple glass windows by double glazing.

Keywords: energy performance, heating and cooling consumption, geographic guidance and thermal insulation