

EVALUADOR ENERGÉTICO: METODO DE VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO Y AMBIENTAL DE VIVIENDAS.

John Martín Evans, Silvia de Schiller
Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Universidad de Buenos Aires, Pabellón 3, Piso 4, Ciudad Universitaria, (1428) Buenos Aires.
Tel / Fax: (011) 4789 6274 e-mail: evans@fadu.uba.ar / schiller@fadu.uba.ar

RESUMEN: El Evaluador Energético, EE, es una planilla electrónica que permite realizar una rápida verificación de la demanda de energía y el impacto ambiental de sistemas domésticos de calefacción. Las hojas de la planilla corresponden a las características que influyen en la demanda: ubicación geográfica, características climáticas y grados días, forma, compacidad y características térmicas de los elementos constructivos, influencia de la exposición al sol y al viento, eficiencia de las instalaciones de calefacción y tipo de combustible y tarifa. Los resultados indican el consumo, costo anual e impacto ambiental. El método de cálculo permite aplicar el método definido en la Norma IRAM 11.604, aunque incluye factores adicionales basados en el concepto de grados días con base variable, pudiéndose ajustar todas las variables por 'default', con el fin de contemplar casos no previstos en la planilla. Se presentan resultados de la aplicación del programa en un curso de posgrado.

Palabras clave: Eficiencia energética en edificios, calefacción, vivienda, impacto ambiental.

INTRODUCCION

La energía requerida para calefacción es el rubro de mayor importancia en la demanda energética de viviendas en invierno, especialmente en climas fríos. Este factor es francamente significativo en las provincias de la región patagónica donde subsiste un elevado subsidio que representa casi el 60% del precio del gas natural. Durante el proceso de diseño, la mayoría de los proyectistas no consideran el comportamiento energético de sus proyectos o no cuentan con suficiente tiempo para realizar un balance térmico previo a la etapa de dimensionamiento del sistema de calefacción.

Adicionalmente, el costo de energía para calefacción depende de una serie de factores muy diversos, que se relacionan con la localización del proyecto, la exposición al sol y al viento, la forma edilicia, la especificación constructiva, las características de la instalación de calefacción, el combustible utilizado y la tarifa. El proyectista requiere métodos sencillos y rápidos para evaluar decisiones de diseño y comparar las ventajas de soluciones alternativas.

El proyectista requiere evaluar en forma comparativa los beneficios de una forma muy compacta o una mejor exposición al sol, con formas alargadas y mayor exposición de las ventanas al norte, o el ahorro obtenido con mayores espesores de material aislante, comparado con el beneficio de una mejor calidad de aberturas a fin de reducir infiltraciones. También conviene analizar los beneficios de una instalación de calefacción de mayor eficiencia y mayor costo comparada con una instalación de menor calidad y costo.

En el marco de los proyectos de investigación sobre el desarrollo de métodos de evaluación edilicia y evaluación de nuevas tecnologías, adicionalmente un curso de posgrado dictado por integrantes del Centro de Investigación Hábitat y Energía en la Universidad de la Patagonia Austral, se desarrolló una planilla electrónica que responde a este requerimiento. Este trabajo presenta la estructura integrada de la planilla, el método de cálculo, con énfasis en el concepto de "grados días" con base variable, la verificación de facilidad de uso y conclusiones que surgen de la aplicación de la planilla.

ESTRUCTURA Y ENTRADA DE DATOS

La estructura de las planillas responde al proceso de diseño, con las siguientes hojas:

1. **Evaluador energético:** Hoja de presentación con índice de hojas, instrucciones de uso e impresión del manual.
2. **Localidad:** Selección de la ubicación, planilla de datos geográficos y climáticos, y tablas de grados días con base variable desde 10 a 20° C.
3. **Balance térmico:** La superficie y transmitancia térmica de los elementos constructivos, renovaciones de aire y pérdidas volumétricas, con gráfico que indica las pérdidas porcentuales de cada elemento.
4. **Sol y viento:** Definición de la exposición al sol y al viento, con la evaluación de las pérdidas y las ganancias correspondientes.
5. **Instalación de calefacción:** Variables de la instalación de calefacción, eficiencia y controles, con evaluación de la eficiencia.

6. **Resultados:** Tarifas de energía y resultados: consumo anual de energía, costo anual, emisiones de carbono e impacto ambiental.
7. **Personalización:** Valores por 'default' de las constantes utilizadas en los cálculos y casillas para introducir alternativas proporcionadas por el usuario.
8. **Base de datos:** Características térmicas de paredes, techos, pisos y aberturas, con datos calculados según la Norma IRAM 11.601.

Cada hoja contiene casillas de entrada de datos, principalmente en la forma de menús desplegables de opciones predeterminadas. Las casillas con selección de datos están indicadas en color amarillo, mientras el color amarillo claro indica las casillas con selección de opciones. Las casillas de resultados o variables que cambian según la selección de alternativas están indicadas en color celeste. La impresión de las hojas de cálculo permite obtener un manual de uso de 10 hojas con un ejemplo de aplicación e instrucciones.

METODO

Las Hojas incorporan una serie de métodos que permiten estimar la influencia de diversas variables de ubicación, diseño arquitectónico, construcción, exposición al sol y al viento, comportamiento del usuario/s, especificación de las instalaciones y tarifa del combustible. A continuación, se presentan los conceptos y métodos utilizados según el orden de las hojas:

Grados días con base variable:

La base de datos climáticos incluye estadísticas meteorológicas del Anexo A de la Norma IRAM 11.603 (1998) y del Servicio Meteorológico Nacional (1992). Los datos de la temperatura media mensual se utilizan para estimar la distribución acumulativa de temperatura durante el año. Con esa distribución de temperatura se obtiene el gráfico de la curva de distribución, con el número de días con temperaturas inferiores a distintos umbrales. Este gráfico y la fórmula que define la recta permiten obtener los grados días con distintas temperaturas base, desde 10° C a 22° C. La Hoja incluye un gráfico de la curva de grados días según temperatura base, permitiendo comparar con la temperatura de diseño del interior (Figura 1).

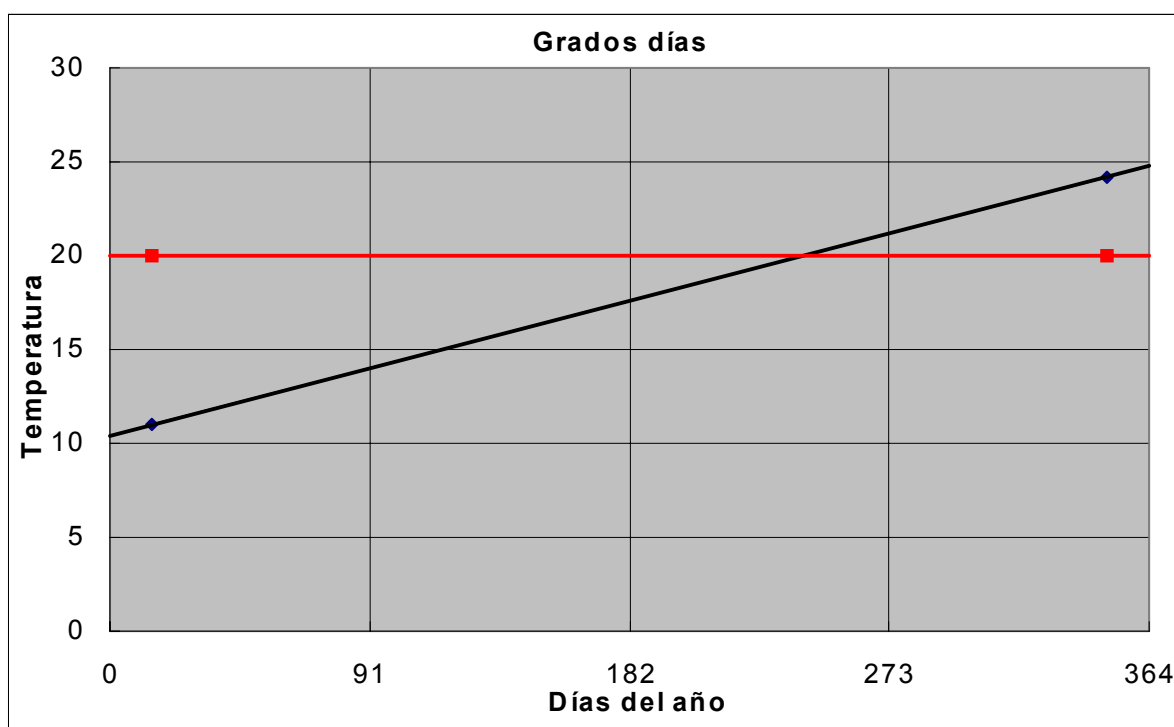


Figura 1. Distribución de la temperatura media diaria de un año, en orden ascendente (línea negra) comparada con la temperatura de diseño interior (línea roja).

La intersección de las líneas en la figura 1 indica la duración del período de calefacción, mientras la superficie del triángulo debajo de la línea roja corresponde a los grados días con la base indicada, 20°C en este caso. Esta figura aparece en la Hoja 2 de la planilla electrónica.

Balance térmico:

El método utilizado para obtener el balance térmico de la vivienda proviene de la Norma IRAM 11.604, con algunas limitaciones a fin de simplificar la evaluación. Sólo se permite un tipo de ventana, con vidrio simple o vidrio doble sellado herméticamente, y un tipo de pared y de techo en cada vivienda. Aunque será posible aumentar las opciones, se considera que limitadas opciones al inicio del proceso de diseño facilitan el uso de la planilla y la evaluación temprana de decisiones. La Hoja presenta 15 alternativas de techos y paredes, con la opción de agregar una alternativa adicional. A fin de identificar

los elementos constructivos que provocan las pérdidas más importantes, la Hoja 2 indica las pérdidas porcentuales a través de cada elemento o debido a infiltraciones (Figura 2).

Exposición al viento:

El viento aumenta las pérdidas de calor en invierno debido a dos fenómenos. El primero, el viento sobre las superficies exteriores disminuye la resistencia superficial exterior, aumentando el flujo de calor desde el interior al exterior. En la Hoja 3, se comparan las pérdidas de calor con condiciones normales según la Norma IRAM 11.601 (1998) y las pérdidas con menor resistencia superficial. El factor de exposición depende de la velocidad media del viento en la localidad, la altura del edificio y la protección proporcionada por la vegetación y otros edificios cercanos. El segundo efecto es el aumento de las infiltraciones. En todos los casos, las pérdidas por infiltración son mayores a las pérdidas adicionales debido al aumento de la transmisión. El efecto del viento sobre la transmisión es proporcionalmente mayor con elementos de alta transmitancia térmica. La Hoja 3 indica el aumento porcentual de las pérdidas debido a la exposición al viento, comparado con el balance térmico convencional según la Norma IRAM.

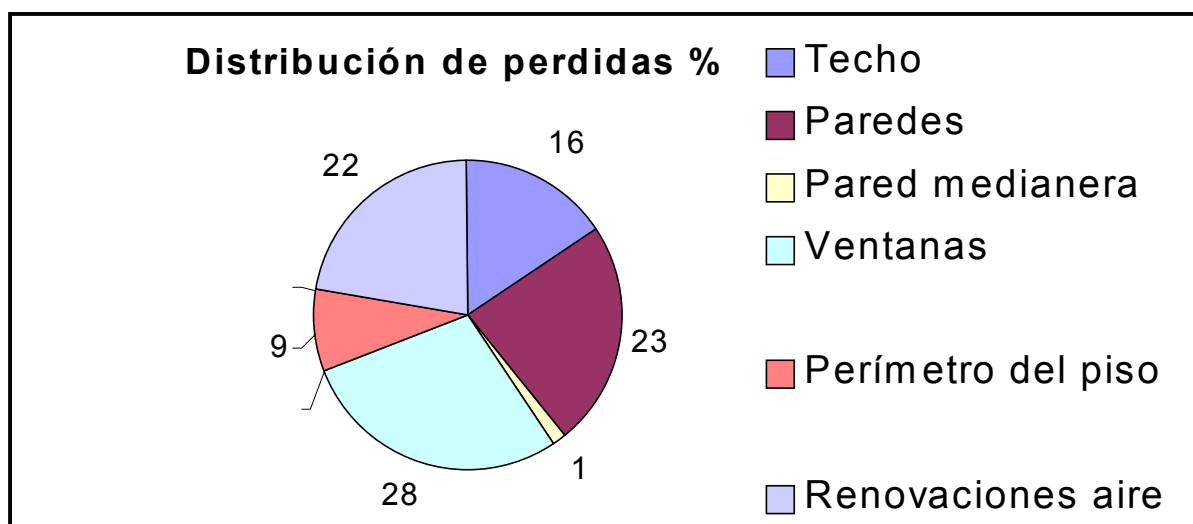


Figura 2: Gráfico de la distribución de pérdidas a través de los distintos elementos de la envolvente edilicia.

Este gráfico de la figura 3, generado automáticamente en la Hoja 3 de la planilla, permite identificar los elementos prioritarios para lograr mejoras térmicas.

Exposición al sol:

Las ganancias solares dependen de la latitud y otras variables climáticas, la superficie y orientación de las aberturas vidriadas, las características térmicas de la envolvente y las superficie internas, etc. Las ganancias promedio diarias por metro cuadrado de ventana con orientación favorable durante un día típico de invierno fueron calculadas con el programa Isol, considerando la absorción del vidrio. En este caso, el término ‘invierno’ corresponde al período de calefacción, no al período astronómico entre el solsticio de invierno y el equinoccio. Adicionalmente, se incorpora un factor de 50% para tomar en cuenta la eficiencia media de aprovechamiento de la energía solar. Con las ganancias por metro cuadrado multiplicado por la superficie neta de ventanas con orientación favorable, dividida por las pérdidas totales en Watts por grado Kelvin se indica la diferencia media en temperatura que se puede lograr con las ganancias solares. Estos resultados aparecen en la Hoja 3.

Modificación de los grados días:

En forma análoga se calcula el salto térmico debido a las ganancias internas de personas y artefactos eléctricos. Con la estimación de las ganancias solares (qs) e internas (qi), las pérdidas volumétricas por grado de diferencia entre interior y exterior (G) y el volumen calefaccionado (V), se puede estimar el salto térmico entre la temperatura de diseño interior (Ti) y la temperatura exterior media que no requiere calefacción (temperatura base ajustada Tb para los grados días).

$$T_b = T_i - (q_s + q_i) / G \cdot V \quad 1)..$$

Esta metodología es similar al concepto aplicado en el Código de Edificación Británico del SAP (Standard Assessment Procedure) o Procedimiento Normalizado de Evaluación, incorporado al Código de Edificación (Building Regulations, Section L, 2000).

Condiciones interiores:

La variación de la temperatura interior de diseño es otro factor que influye fuertemente en la demanda de energía. Mediciones realizadas en Río Gallegos indicaban temperaturas interiores altas, con un caso de temperatura de 29° y una temperatura superficial de una losa radiante de 41°C. Temperaturas típicas en viviendas de nivel medio oscilan entre 23 a 25°C. La temperatura interior elegida permite re-calcular los grados días con una nueva base. El programa calcula automáticamente el porcentaje de aumento de la demanda de energía, según la temperatura interior, descontando el efecto de las ganancias internas y solar.

Tarifas y consumos:

En la Hoja 6, las variables a seleccionar son:

- Sistemas de calefacción con su eficiencia nominal.
- Sistema de control de la instalación de calefacción: termostático, termostático con ajuste nocturno ('night set-back') o control manual.
- Tarifa de gas: la base de datos incluye los subsidios, impuestos nacionales, provinciales y municipales, cargas fijas y costo por metro cúbico con valor calorífico nominal.

Los resultados indican el consumo anual de energía requerida para calefacción, el costo anual y las emisiones de CO2 en kg según la composición media de gas natural en Argentina. Adicionalmente se evalúa la huella ecológica definida como la superficie de bosque necesaria para retener y fijar el CO2 producido (Macpherson et al, 1999). La Figura 3 presenta los resultados mientras la Figura 4 sintetiza todas las variables de entrada.

EVALUADOR DE DEMANDA: ENERGIA	
Costo de energía	Gas
Cargo fijo por bimestre	9.637
Costo / m3	0.194
Eficiencia artefacto	0.660
Valor energético de gas	
Calorías / m3	9300
Kcal. según KJ	1.161
Demanda energía	
Kwatt horas anuales	107933
Kcal. anuales	1624177
Megajoules anuales	388559
Volumen anual (M3)	174.64
Costo anual (calef)	91.75
Emisiones	Kg.
CO2 anual	342.3
Eficiencia artefacto	%
1. Tiro balanceado	66
2. Caldera	78
3. Caldera eficiente	85
Control de temperatura	
Sistema utilizada	%
1. Manual	30
Ahorros	
Ganancias solares	1
Temperatura de diseño	-27
Protección de Viento	8
Aislación térmica	
Factor de forma	0.93
Gas	\$
Regimen de tarifa	1. Bs As
Cargo fijo	7.54
Costo gas / m3	0.15
Impuestos %	27.81
Subsidio %	0
Facturas/año	6
Costo de gas	
Cargo fijo	7.54
Cargo fijo con imp.	9.637
Gas \$/m3	0.152
Gas \$/m3 con imp.	0.194
Gas \$/m3 con subs	0.194
Huella ecológica	
Hectáreas	0.076

Figura 3. Tabla de resultados

Datos de ingreso				
Localidad	5 Río Gallegos		Zona Bioamb	VI Muy Fría
			Temperatura base	18
				Latitud sur 51
				Grados días 4052
Envolvente	Elemento	Construcción	K	M2
	Techo	2 Chapa, cámara, 25mm aislación, cieloraso	0.92	63
	Pared	8 lad 150mm, cámara, lad hueco 100mm, rev.	1.2	72
	Medianera	5 ladrillo cerámico 150 mm, revocado	6	6
	Ventana	1 Vidrio simple incoloro 3-5 mm	5.82	18
	Piso	5 Aislación perimetral (zona III y IV)	m lineales	31
	Ventilación	3 Ventilación controlada	renovaciones	1.5
	Volumen	167.4	Superficie con calefacción	62
				Altura 2.7
				Cumple IRAM 11604
Sol y viento	Ventanas con orientación norte		8	Ganancias solares 15
	Exposición al viento	Coeficiente	1.3	Perdidas por viento % 7.8
Interior	Temperatura interior de diseño		21	Grados días ajuste 4782
	Ganancias interiores, personas		2	
	Ganancias interiores equipamiento		2	
Energía	Eficiencia de las instalaciones de calefacción		0.66	
	Sistema de control	1. Manual	30	%
	Tarifa de gas	1. Bs As		

Figura 4. Resumen de las variables de entrada.

CONCLUSIONES

Las Hojas fueron utilizadas durante un curso de posgrado dictado por miembros del CIHE en la Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Río Gallegos, Provincia de Santa Cruz, con la asistencia de 35 profesionales que aplicaron las Hojas a proyectos de vivienda. También fue evaluado por docentes de la FADU-UBA con resultados positivos. Dado que las opciones de selección de menús desplegables de Excel permiten un máximo de 30 alternativas, las bases de datos son limitadas en cada Hoja. Sin embargo, se han preparado distintas versiones regionales, cada una con una base de datos climáticos y regionales: por ej, para la Patagonia Austral y para la Provincia de Mendoza. En todos los casos, se ha estructurado la Hoja de modo de permitir la inserción de nuevos datos.

Las Hojas cumplen los objetivos planteados de permitir una rápida evaluación del impacto de las decisiones de diseño comparado con otros factores que influyen en la demanda de energía de calefacción: localidad, forma y diseño de la envolvente, acceso al sol y exposición de viento, comportamiento de los usuarios y las instalaciones de calefacción. Ello ofrece al proyectista la posibilidad de verificar el comportamiento del diseño en una etapa inicial del desarrollo de un proyecto habitacional.

REFERENCIAS

- Department of the Environment (2000), Building Regulations - Conservation of Fuel and Power Part L, Her Majesty's Stationary Office, Londres.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (1996), Norma IRAM 11.601, Acondicionamiento térmico de edificios - métodos de cálculo, IRAM, Buenos Aires.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (1996), Norma IRAM 11.603, Acondicionamiento térmico de edificios - clasificación bioambiental de la República Argentina, IRAM, Buenos Aires.
- Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (1998), Norma IRAM 11.604, Acondicionamiento térmico de edificios - coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor, IRAM, Buenos Aires.
- Macpherson, E G, Simpson, J. R. 1999, Carbon Dioxide reduction throug urban forestry, Pacific Southwets Research Station, US Dept of Agriculture, Albany, CA.

RECONOCIMIENTO

Este trabajo se inscribe en el marco de los Proyectos Bienales UBACyT, Programación Científica 2001-2002, A-022 'Arquitectura sostenible: evaluación del impacto de decisiones de diseño' y A-025 'Arquitectura energéticamente eficiente: aplicación de nuevas tecnologías de acondicionamiento'

ABSTRACT

The Energy Evaluator (Evaluador Energético, EE) is an electronic worksheet that allows a rapid evaluation of the energy demand and the environmental impact of domestic heating systems. The pages of the worksheet correspond to the factors that influence energy demand: geographic location, climate and heating degree days, compactness and thermal characteristics of building elements, exposure to sun and wind, efficiency of heating installations, control systems and tariff for gas. The results show the annual energy demand, the cost and environmental impact. The calculation method follows the indications of the Argentine Standard IRAM 11.604, although additional factors are included based on the concept of degree days with a variable base. All the default values can be changes by the user in order to respond to special cases not foreseen in the worksheet. The worksheet was presented and tested in a regional postgraduate course in southern Patagonia.

Keywords: energy efficiency in buildings, heating, housing, environmental impact