

DESARROLLO DE UN SIMULADOR PARA EL ANÁLISIS TERMO - ECONÓMICO COMPARATIVO DE TRES TIPOS DE CONSTRUCCIÓN EN UNA CASA - HABITACIÓN

Ignacio R. Martín Domínguez ⁽¹⁾, Ma. Teresa Alarcón-Herrera ⁽²⁾,
José A. Pérez Galindo ⁽³⁾

⁽¹⁾⁽²⁾ Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.
Miguel de Cervantes 120 Complejo Ind. Chihuahua
31109 Chihuahua, Chih. México Tel. 439-1111 FAX 439-1112
⁽¹⁾ imartin@mail.cimav.edu.mx ⁽²⁾ alarcont@mail.cimav.edu.mx

⁽³⁾ Instituto Tecnológico de Durango
Felipe Pescador 1830 Ote. 34080 Durango, Dgo. México
Tel. (18) 18-5586 FAX (18) 18-4813

RESUMEN

En las zonas geográficas de nuestro país sujetas a condiciones ambientales con temperaturas extremas, se sabe empíricamente que el incluir materiales aislantes en paredes y techos reduce los costos futuros de calefacción y aire acondicionado. Sin embargo no siempre están al alcance del constructor los medios adecuados para cuantificar los ahorros futuros, que resultarían del uso de aislamiento térmico. Por el contrario, el incremento en el costo de inversión que resulta de incluir materiales aislantes es fácilmente calculable. Consecuentemente, la mayoría de la gente opta por no utilizar aislamiento térmico, por su mayor costo inicial y lo subjetivo que les resultan los costos de operación futuros, en que incurrirán para acondicionar el clima de la vivienda.

En este trabajo se describe el diseño, operación y resultados obtenidos mediante un simulador, que permite evaluar las cargas térmicas y los costos asociados requeridos para mantener una vivienda tipo interés social a las condiciones de confort. Para un primer ejemplo se consideraron las condiciones ambientales de Ciudad Juárez, Chih. y una vivienda con distribución específica.

El cálculo de las cargas térmicas está basado en los métodos propuestos por ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado), para la determinación de cargas de diseño (ASHRAE, 1997 y McQuiston, 1994).

El simulador fue desarrollado en hoja de cálculo electrónica (Excel), utilizando Visual BASIC y controles visuales. Permite al usuario seleccionar la temperatura interior deseada en la vivienda, el costo de la energía, la

eficiencia energética del equipo de calefacción y refrigeración y el tiempo de operación diaria de los equipos, para verano y para invierno. Se dispone de tres tipos constructivos para comparar, dos que utilizan materiales aislantes y uno que utiliza materiales tradicionales. Es posible también especificar la hermeticidad de puertas y ventanas y la utilización de vidrio sencillo o doble.

Ante cualquier cambio en los parámetros antes mencionados, el simulador presenta las cargas térmicas resultantes y los costos de operación incurridos.

Utilizando el simulador se calcularon curvas de comportamiento de los costos, en función de temperatura interior, precio de la energía, eficiencia energética de los equipos, y espesor adicional de aislamiento, mismas que se presentan gráficamente.

INTRODUCCIÓN

El objetivo que se persigue es el poder cuantificar y visualizar objetivamente las ventajas económicas que se derivan de la utilización de dos sistemas constructivos novedosos, que introducen aislamiento térmico como parte integral de muros y techos, cuando se comparan contra el sistema tradicional

Una de las funciones primordiales de la moderna vivienda humana, aparte de proveer seguridad para sus ocupantes y bienes, es la de proveer resguardo contra los elementos atmosféricos adversos, y dotar de una atmósfera de confort a sus habitantes.

El tener una atmósfera limpia y confortable en la vivienda humana es de primordial importancia para mantener niveles de salud adecuados y para

incrementar la productividad de los individuos en sus labores cotidianas.

Confort humano

Los humanos somos seres de sangre caliente, y la temperatura corporal debe de mantenerse a ciertos valores muy específicos. El cuerpo humano genera calor continuamente, como consecuencia del metabolismo de los alimentos que consume. El calor así generado debe ser disipado continuamente hacia el medio ambiente circundante. La rapidez con la cual se gana o pierde energía depende, entre otras cosas, de la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el medio circundante. El factor que determina si un individuo siente *calor ó frío* es la *tasa (rapidez) de pérdida de calor corporal*. Por lo anterior es fácil apreciar que es necesario mantener niveles de temperatura (y humedad) muy específicos dentro de las edificaciones, para lograr que los ocupantes de las mismas tengan condiciones de salud y confort.

Balances de energía

La rapidez con la que un cuerpo gana o pierde energía a través de su envolvente, depende de la diferencia de temperaturas entre el cuerpo y sus alrededores, del área expuesta y de la resistencia al paso del calor que ofrezca la envolvente que separa al el cuerpo del medio circundante.

Durante la temporada invernal el medio ambiente que circunda las edificaciones está a temperaturas inferiores a las de confort, y se establecen flujos de calor hacia el exterior. Durante el verano ocurre lo contrario, y además se pueden tener importantes cantidades de energía radiante (solar) incidiendo sobre techos y paredes, mas la energía generada dentro de la misma edificación por los ocupantes y por aparatos eléctricos en funcionamiento. Estos flujos de calor ocurren de forma natural, y originan que las temperatura en el interior de las casas (aire, paredes, pisos, etc.) "sigan", y en verano hasta puedan sobrepasar, a la temperatura exterior.

Para lograr mantener una temperatura confortable en el interior de una vivienda, se requiere establecer un flujo de calor inverso, y *de igual magnitud*, al total que ocurre naturalmente. Con la diferencia de que este flujo inverso tiene un costo que debemos pagar, tanto en adquisición de equipos de aire acondicionado o calefacción como por la operación de los mismos (combustibles, energía eléctrica).

Importancia del aislamiento térmico

De lo anterior se observa que si se desea mantener condiciones de confort en una vivienda cuando las condiciones ambientales externas son adversas, y al mismo tiempo se desea lograrlo al mínimo costo posible, casi la única variable que es posible modificar es la resistencia al paso del calor de la envolvente. Esto es, dotar a la vivienda de materiales con baja conductividad térmica (alta resistencia al paso del calor), como parte integral de sus diferentes elementos constructivos (paredes, techos, etc.).

ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DE LA VIVIENDA

En este trabajo se estudian tres sistemas constructivos aplicados a una misma vivienda.

Sistema tradicional

Consta de muros construidos con *Adobón* (ladrillo), aplanado rústico exterior y aplanado de yeso interior. Las losas son de concreto, aligeradas con casetón de poliestireno, y con aplanados interiores de yeso.

Sistema NovaTek

Este sistema consiste en tres placas, una de concreto armado en el exterior, una de poliestireno y una de concreto celular en la parte interna. Muros y losas son similares en cuanto a materiales y dimensiones.

Sistema Monolite

Consiste en paneles de poliestireno y mallas de alambre de acero que "enjaulan" al panel. Por la parte externa se le aplica concreto y por la interna mortero, formando finalmente un solo elemento estructural. Muros y losas son similares en tipo de materiales, pero con diferentes espesores.

CALCULO DE CARGAS TÉRMICAS

Las pérdidas o ganancias instantáneas de calor en una edificación varían a lo largo del día, debido a que la temperatura del aire exterior, la intensidad de la radiación solar y la velocidad del viento cambian continuamente. Por ello, y para propósitos de selección de equipos de calefacción y aire acondicionado, se recurre a utilizar las "condiciones de diseño" de la localidad en donde se encuentra la edificación. Las condiciones de diseño se encuentran tabuladas en la bibliografía especializada, y se elaboraron en base a la estadística de las condiciones reinantes en cada localidad a lo largo de años de observaciones meteorológicas.

El sistema de calefacción o de aire acondicionado ideal sería aquel que pudiese proveer el calentamiento o enfriamiento exacto para igualar a las pérdidas o ganancias de calor de la edificación. Sin embargo, las condiciones climáticas varían diariamente y de un año al otro, por lo cual no se deberá de seleccionar el equipo de acondicionamiento en base a las temperaturas extremas, sino a las denominadas condiciones de diseño, que son las que se pueden esperar con mas frecuencia.

Para determinar con mucha exactitud el uso de energía en una edificación se requiere llevar a cabo una simulación detallada de las pérdidas y ganancias de calor a lo largo del año. Para ello se requiere conocer, o estimar, las condiciones climáticas hora por hora y día por día en la localidad deseada, para con ello contabilizar los requerimientos de calefacción y aire acondicionado.

La metodología seguida en este trabajo para la estimación de cargas térmicas y costos de operación, está basada en lo siguiente:

- ◆ Las cargas térmicas se estiman en función de las condiciones climáticas de diseño para El Paso, TX., tal como recomienda ASHRAE (1997).
- ◆ Se sigue la metodología recomendada en la misma referencia para vivienda tipo residencial uni-familiar
- ◆ Para lograr mantener las condiciones de confort se asume que deberán de utilizarse equipos de calefacción central a gas durante el invierno, y equipos eléctricos de aire acondicionado tipo ventana (por compresión de vapor) durante el verano
- ◆ El calculo de los costos de operación se presenta por hora, por día y por mes. La estimación del costo está basada en tomar las magnitudes de las cargas térmicas a las condiciones de diseño, y calcular con ellas los costos de operación que resultan de operar los equipos arriba mencionados durante una hora. El costo por día supone esas mismas condiciones climáticas, constantes durante el numero de horas de operación diaria seleccionadas por el usuario. El costo por mes resulta de multiplicar por 30 el costo diario.
- ◆ El usuario del simulador puede seleccionar el costo de electricidad y de gas, así como la eficiencia energética de los equipos de calefacción y aire acondicionado, para con ello poder estimar el impacto que tendrían posibles variaciones en los costos de la energía y la selección de equipos de diferentes calidades y precios.

SIMULADOR TERMOCÓNOMICO

Para simplificar el proceso de cálculo requerido en la estimación de cargas térmicas y costos en las viviendas objeto de análisis, se procedió a diseñar un simulador que permitiera al usuario el observar rápidamente los efectos de las siguientes variables:

- ◆ sistema constructivo
- ◆ costo de la energía (eléctrica y gas)
- ◆ eficiencia energética de equipos
- ◆ temperatura de confort deseada dentro de la vivienda

Adicionalmente, es posible variar también si así se desea el espesor de los materiales de construcción utilizados, y también los valores de conductividad térmica si se desea explorar el efecto de substituir algún material.

Características de la vivienda

Las características de la vivienda que se utilizó para los cálculos aquí presentados son:

- ◆ Casa de interés social, con dos recamaras, baño, sala - comedor y cocina

- ◆ Superficie construida de aproximadamente 50 m² en una sola planta
- ◆ Superficie de paredes aproximadamente 70 m²
- ◆ Area de ventanas aproximadamente 5 m²

Diseño del software

El simulador está escrito utilizando el paquete de hoja de cálculo electrónica MS Excel 95. Para facilitar la interacción con el usuario se le dotó de controles visuales que permiten desplegar las diferentes pantallas que lo componen. Internamente se utilizan las funciones normales disponibles en la hoja de calculo, mas subrutinas y funciones escritas en Visual BASIC para Aplicaciones.

Efecto de la temperatura Interior

En las figuras 1 y 2 se muestra el impacto que tiene sobre el costo de operación de la vivienda el mantener diferentes temperaturas en el interior de la misma durante el verano y el invierno, respectivamente. Los costos se presentan en función de los tres tipos de construcción bajo análisis. Las demás variables se tomaron constantes, a los valores mostrados en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros para el cálculo del efecto de la temperatura interior

Costo energía eléctrica	0.50 \$ / kW - h
Costo gas LP	4.0 \$ / kg
Tiempo de operación diaria Aire Acondicionado	16 h
Tiempo de operación diaria calefacción	16 h
Eficiencia energética Aire Acondicionado	2.4 W _{ref} / W _{elec}
Eficiencia térmica calefacción	90 %

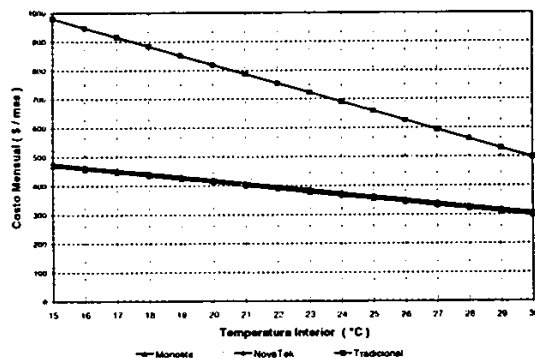


Figura 1. Efecto de la temperatura interior en verano

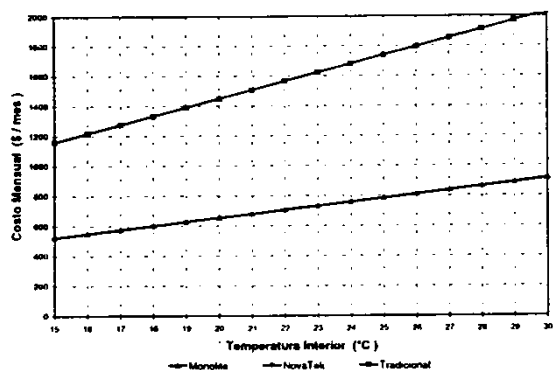


Figura 2. Efecto de la temperatura interior en invierno

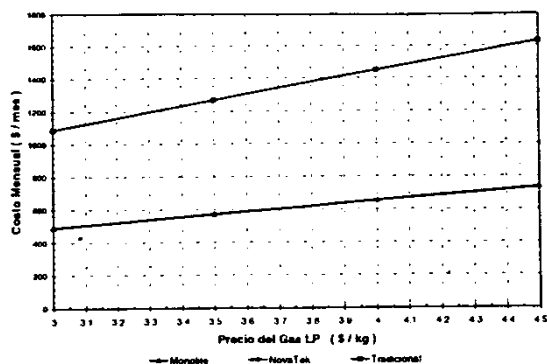


Figura 4. Efecto del precio del gas en invierno

Efecto del Precio de la Energía

En las figuras 3 y 4 se muestra el efecto de posibles variaciones en el precio de la energía eléctrica durante el verano, y del gas LP en invierno.

Las demás variables se tomaron como constantes a los valores mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Parámetros para

Temperatura interior en Verano	25 °C
Temperatura interior en invierno	20 °C
Tiempo de operación diaria Aire Acondicionado	16 h
Tiempo de operación diaria calefacción	16 h
Eficiencia energética Aire Acondicionado	2.4 W_{ref} / W_{etec}
Eficiencia térmica calefacción	90 %

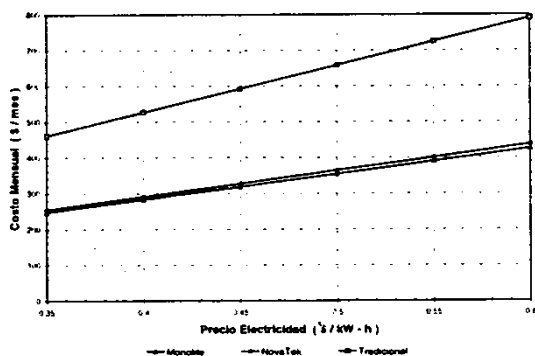


Figura 3. Efecto el precio de la electricidad en verano

Efecto de la Eficiencia Energética de los Equipos

En la figura 5 se muestran los efectos de utilizar equipos de aire acondicionado con diferentes valores de Eficiencia Energética. En la figura 6 se muestra lo correspondiente al equipo de calefacción central, con respecto a la eficiencia térmica.

Las eficiencias mencionadas son datos de fabricante, que se reportan mediante una papeleta adherida a los equipos nuevos, en la cual se compara contra otros equipos similares, para que el cliente conozca la calidad del equipo que va a adquirir.

Las demás variables se tomaron constantes a los valores mostrados en la tabla 3.

Tabla 3. Parámetros para el cálculo del efecto de la eficiencia energética de los equipos

Temperatura interior en Verano	25 °C
Temperatura interior en invierno	20 °C
Tiempo de operación diaria Aire Acondicionado	16 h
Tiempo de operación diaria calefacción	16 h
Costo energía eléctrica	0.50 \$ / kW - h
Costo gas LP	4.0 \$ / kg

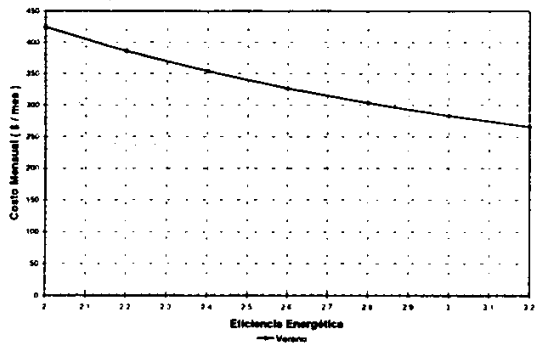


Figura 5. Efecto de la eficiencia energética del equipo de A/C

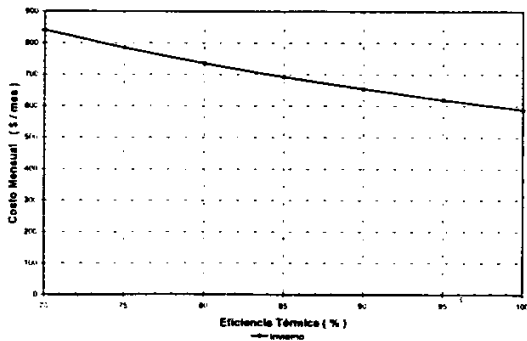


Figura 6. Efecto de la eficiencia térmica de la calefacción

Efecto de Aumentar el Aislamiento Térmico

Finalmente se procedió a analizar cual es el efecto en los costos de operación de aumentar el espesor del aislamiento térmico, utilizando como base al sistema Monolite con los espesores de diseño antes utilizados. La figura 7 muestra las disminuciones de costo de operación originadas por el aumento del espesor de aislamiento tanto en muros como en losas simultáneamente.

Las demás variables se tomaron constantes a los valores mostrados en la tabla 4.

Tabla 4. Parámetros para el cálculo del efecto del aislamiento térmico adicional

Temperatura interior en Verano	25 °C
Temperatura interior en invierno	20 °C
Eficiencia energética Aire Acondicionado	2.4 W_{ref} / W_{elec}
Eficiencia térmica calefacción	90 %
Tiempo de operación diaria Aire Acondicionado	16 h
Tiempo de operación diaria calefacción	16 h
Costo energía eléctrica	0.50 \$ / kW - h
Costo gas LP	4.0 \$ / kg

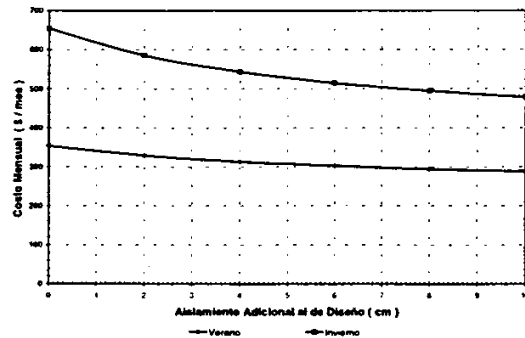


Figura 7. Efecto de aislamiento térmico adicional

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como conclusiones del presente trabajo se puede observar lo siguiente:

La utilización de sistemas constructivos que incluyan aislamiento térmico es de gran beneficio para reducir los costos de operación energética de las viviendas.

El costo se reduce a menos de la mitad, cuando se comparan los sistemas Monolite y NovaTek contra el sistema tradicional.

La utilización de aislantes en muros y losas permite que las temperaturas de las superficies internas de las viviendas sean mas altas en invierno y mas bajas en verano. Esto aumenta la sensación de confort e induce al usuario a mantener la temperatura del aire interior a valores menos extremos, ayudando a reducir aún mas los costos de operación.

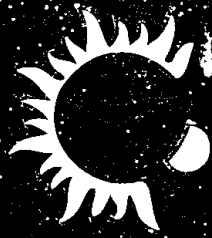
Se recomienda poner atención a los materiales utilizados en puertas y ventanas, para aumentar sus características de aislamiento y hermeticidad.

Se recomienda la utilización de colores claros en muros exteriores, y de pintura reflejante en techos. Esto contribuye a reducir las ganancias de calor en verano.

REFERENCIAS

1997 ASHRAE Handbook - Fundamentals, SI Edition.
American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA

McQuiston, F.C. Parker, J.D. **Heating, Ventilating, and Air Conditioning. Analysis and Design.** 4th Edition.
John Wiley 1994



XXIII

semana

nacional de

ENERGIA SOLAR

MEMORIA

Morella, Michoacán. Octubre 1999



ANES

Asociación Nacional de Energía Solar