

SOFTWARE EDUCACIONAL PARA EVALUACIÓN TÉRMICA DE VIVIENDAS

**Waldo Bustamante Gómez; Cosme Crema Tascón; Javier Lineros Torrealba;
Andrés Núñez Retamal.**

Escuela de Construcción Civil, Pontificia Universidad Católica de Chile.
Vicuña Mackena 4860. Fono: 56 2 6864864. Fax: 56 2 5536489.
e-mail; wbustama@puc.cl

RESUMEN

Se ha elaborado un software (SOLARSIM) para el estudio de comportamiento térmico de viviendas en régimen dinámico en diferentes climas de Chile, con el fin de ser usado en formación de pregrado. Para el desarrollo del software se ha utilizado un modelo simplificado, el que considera las pérdidas por transmisión a través de la envolvente, las pérdidas por infiltración de aire y ventilación. También toma en cuenta las ganancias internas (usuarios y equipos electrodomésticos) y por radiación solar sobre elementos opacos o vidriados de la envolvente. Además, se incluye la inercia térmica del edificio. El modelo utilizado permite determinar la variación horaria de la temperatura interior de una vivienda, considerada ésta como una zona.

ABSTRACT

A software (SOLARSIM) to study the thermal behaviour of houses has been elaborated to be used as an educational instrument in undergraduate programs. For developing the software, a simplified model has been used. This model considers transmission and ventilation losses, internal gains, solar gains and the inertia of the building. The model permits the estimation of the inside hourly temperature.

1. INTRODUCCION

Se ha elaborado un software (SOLAR-SIM) para el estudio de comportamiento térmico de viviendas en régimen dinámico en diferentes climas de Chile, con el fin de ser usado en formación de pregrado. El modelo utilizado para el desarrollo del software considera las pérdidas por transmisión a través de la envolvente, las pérdidas por infiltración de aire y ventilación. También considera las ganancias internas por habitantes y equipamientos y ganancias por radiación solar sobre elementos opacos o vidriados de la envolvente. Además, se incluye la inercia térmica del edificio. El modelo utilizado permite determinar la variación horaria de la temperatura interior de una vivienda, considerada ésta como una zona.

2. DESCRIPCION GENERAL DEL MODELO UTILIZADO EN EL SOFTWARE

Se describe en esta sección, el modelo simplificado de régimen dinámico utilizado en el software para el cálculo de la temperatura interior de una vivienda. La ecuación utilizada se muestra a continuación (Eq. 1).

$$\Delta T \cdot (Pa + Q) = [Pco + Pcv + Pi + (M \cdot Cp \cdot (Ti - T(i-1)))] \quad [\text{Eq. 1}]$$

con: $\Delta T = (T_i - T_e)$

donde:

T_i : Temperatura interior en el instante i ($^{\circ}\text{C}$)

T_e : Temperatura exterior ($^{\circ}\text{C}$)

P_i : Ganancias internas (W)

P_a : Pérdidas por renovación de aire ($\text{W}/^{\circ}\text{C}$)

Q : Pérdidas por transmisión ($\text{W}/^{\circ}\text{C}$)

P_{cv} : Ganancia total por radiación solar de superficies vidriadas (W)

P_{co} : Ganancia total por radiación solar de superficies opacas (W)

M : Masa total de la edificación (Kg)

C_p : Calor específico medio a presión constante ($\text{W} / \text{Kg } ^{\circ}\text{C}$)

$T(i-1)$: Temperatura interior en el instante $(i-1)$ ($^{\circ}\text{C}$)

Esta ecuación permite estimar la temperatura interior (T_i), según las condiciones de diseño, orientación y ubicación geográfica de la vivienda, para un instante determinado.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DEL MODELO.

En esta sección, se describen y detallan cada una de las variables que conforman el modelo simplificado de régimen dinámico. Esto es, ganancias por radiación solar en superficies opacas, ganancias por radiación solar en superficies vidriadas, ganancias internas, pérdidas por transmisión, pérdidas por infiltraciones de aire e inercia térmica.

3.1 Ganancias de superficies opacas y vidriadas (P_{co} , P_{cv}).

3.1.1. Radiación solar horaria sobre un plano inclinado

Para estimar las ganancias por radiación solar es necesario conocer la radiación incidente en cada plano de la envolvente en cada instante de análisis (hora y día del año) (fig 1).

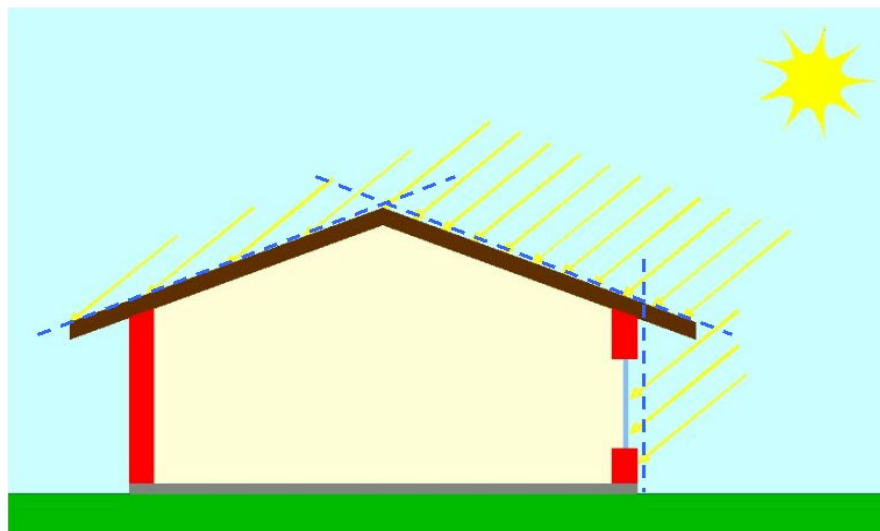


Figura 1. Radiación solar incidente en una vivienda.

Para obtener el valor de radiación solar horaria sobre un plano inclinado se utilizó el modelo de cielo anisótropo Perez [Perez et al 1990 A]. Este modelo representa a la radiación solar difusa proveniente del domo celeste como radiación no uniforme y compuesta por 3

componentes (fig.2). La primera es la parte *isotrópica*, recibida uniformemente de todo el domo celeste. La segunda es la *circumsolar difusa*, resultante de la radiación solar desviada y concentrada en la parte del cielo alrededor del sol. La tercera, llamada *brillo del horizonte*, está concentrada cerca del horizonte, y es más pronunciada en los cielos claros.

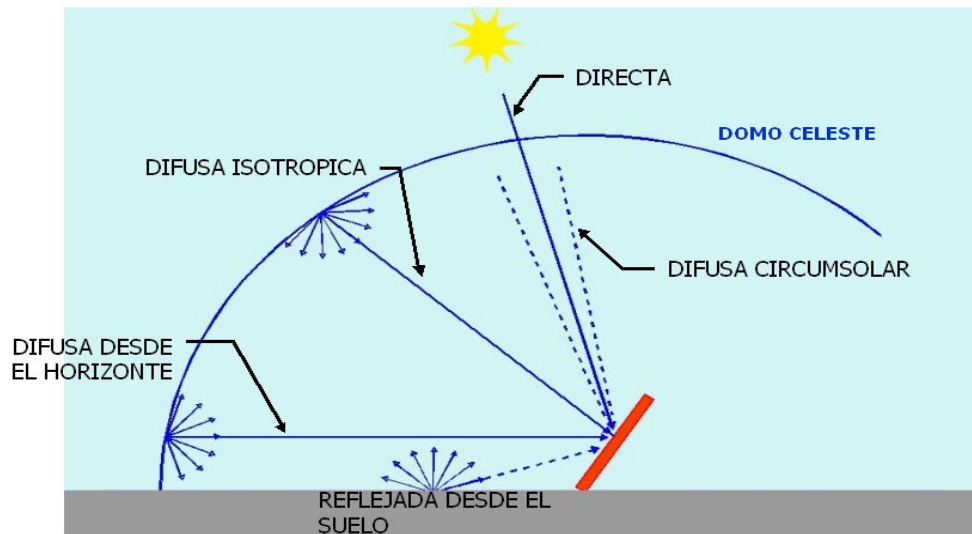


Figura 2. Radiación solar sobre una superficie inclinada.

Cuando la radiación directa y reflejada desde el suelo son agregadas, se puede determinar la radiación en una superficie inclinada a partir de mediciones sobre una superficie horizontal⁷.

Tenemos entonces que la radiación solar incidente es la suma de un set de flujos de radiación que incluye la radiación directa, los tres componentes de la radiación difusa desde el cielo, y la radiación reflejada por las superficies del entorno “vistas” por la superficie inclinada. La radiación total incidente en esa superficie, se describe como:

$$I_T = I_{T,b} + I_{T,d,iso} + I_{T,d,cs} + I_{T,d,hz} + I_{T,refl} \quad [\text{Eq. 3}]$$

donde el subíndice T indica que la superficie es inclinada, b que se trata de radiación directa y d difusa. Los subíndices iso , cs , hz , se refieren a los componentes de radiación difusa isotrópica, circumsolar y del horizonte. El subíndice $refl$ significa reflejado.

Para obtener los componentes de radiación descritos, es necesario calcular previamente numerosas entradas tales como la posición aparente del sol y el ángulo de incidencia de la radiación directa sobre la superficie, datos de radiación solar extraterrestre, coeficientes representativos de las condiciones atmosféricas, etc.

Para calcular la fracción directa y difusa de la radiación total horizontal se recurrió al modelo de Maxwell (Perez et al 1990 B). la expresión para la radiación solar directa I_b es

$$I_b = I_0 \left\{ K_{nc} - \left[A + B \exp(m \cdot C) \right] \right\} \quad [\text{Eq. 4}]$$

⁷ Cabe señalar que para el presente estudio la radiación horizontal horaria no procede de una medición directa, sino que ha sido estimada a partir del total diario.

donde K_{nc} es función de la masa de aire m , parámetro que interpreta el efecto del recorrido de los rayos solares a través de la atmósfera.

y A , B y C son función del índice de claridad K_t , que es la razón entre la radiación horizontal horaria en la superficie terrestre y la radiación horizontal extraterrestre para el mismo período.

3.1.2. Factores de sombra

Para poder determinar la radiación solar incidente sobre los elementos de la envolvente, además de conocer la radiación incidente sobre el respectivo plano, es necesario hacer una estimación del porcentaje de radiación que realmente llega al elemento por causa de las sombras producidas por objetos del medio externo y la propia geometría de la vivienda. El modelo de SOLAR-SIM considera el caso de aleros y de muros que afectan la radiación directa sobre otros muros de la misma vivienda. El modelo contempla disposiciones geométricas típicas en viviendas tales como el alero horizontal y muros laterales al elemento de análisis como el mostrado en la figura 3. El software permite estimar la radiación incidente sobre una cierta superficie, considerando las sombras correspondientes para cada hora de todos los días del año.

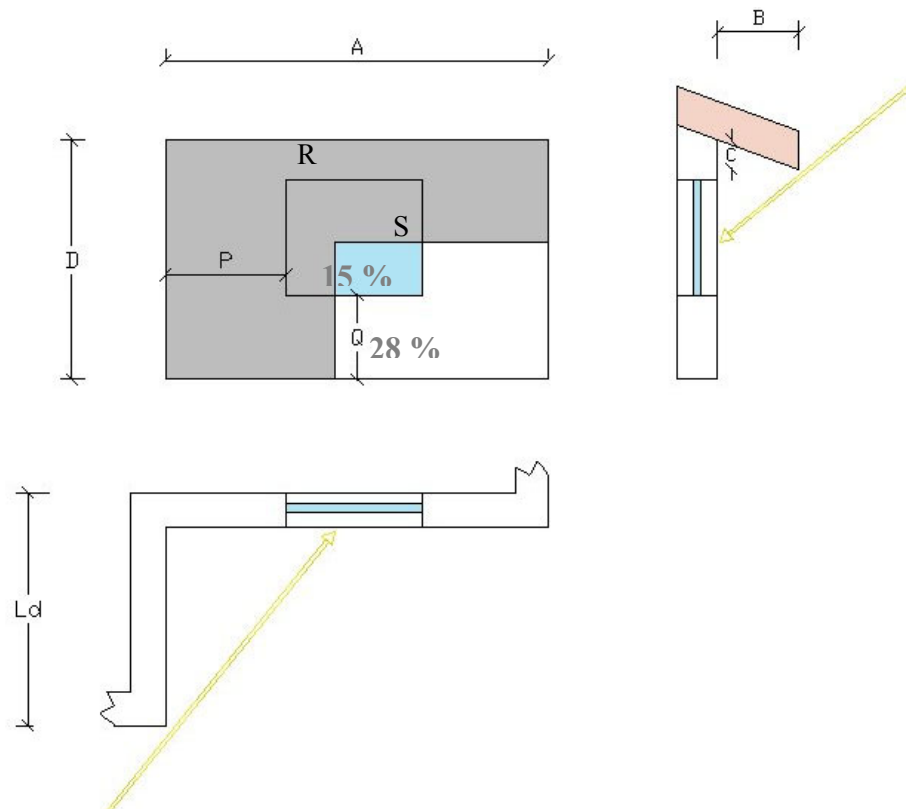


Figura 3. Efectos de sombra considerados por SOLAR-SIM.

Donde

- A: Ancho del muro en cuestión
- D: Altura del muro
- Ld: Ancho del muro lateral derecho
- B: Ancho del alero
- C: Altura del alero

R: Ancho ventana

S: Altura ventana

Para el caso de la figura 3 se tiene que en una hora determinada de un cierto día sólo el 15% de la ventana y el 28% del muro están desprovistos de sombra.

3.1.3. Cálculo de las ganancias

Las ganancias por radiación sobre superficies opacas dependerán entonces de la radiación incidente sobre el elemento, la absorptividad de su superficie y transmitancia térmica.

Las ganancias por superficies vidriadas se producen por transmisión, según el tipo de vidrio empleado y las respectivas sombras a que están sometidas.

3.2. Ganancias o potencias internas (P_i)

El software cuenta con las bases de datos de ganancias de calor por artefactos domésticos, iluminación y ocupantes.

$$P_i = (P_o + P_e + P_v + P_a) \quad (W) \quad [\text{Eq. 5}]$$

donde

P_i : Ganancia interior total (W)

P_o : Ganancias producidas por los ocupantes según nivel de actividad (W)

P_e : Ganancias producidas por equipamiento (W)

P_v : Ganancias producidas por otras fuentes (W)

P_a : Ganancias producidas por alumbrado (W)

Dicho cálculo se realiza en forma horaria de acuerdo a como el usuario define la ocupación de la vivienda.

3.3. Pérdidas por transmisión térmica (Q).

La pérdida por transmisión térmica de un elemento, corresponde al producto entre la transmitancia de dicho elemento por su superficie. El cómputo total para todos los elementos de la envolvente corresponden a Q .

3.4. Pérdidas por renovación de aire.

Estas pérdidas pueden ser ocasionadas por infiltraciones o por la ventilación propia de una vivienda. Las infiltraciones de aire varían, principalmente, según la hermeticidad de la envolvente y la ventilación, depende de la tasa de renovación de aire que podrá variar con el número de ocupantes y actividades que se desarrollan en la vivienda. SOLAR-SIM permite que el usuario asigne una tasa de renovación de aire que podrá contemplar las infiltraciones de aire conjuntamente con la ventilación de la vivienda.

3.5. Inercia Térmica.

La inercia térmica ha sido considerada a través de la masa del edificio y un valor promedio del calor específico de materiales de construcción. Para el caso de muros o paneles divisorios del interior se sugiere que el usuario sume su peso a la cual puede agregar la de muebles interiores de la vivienda. Para el caso de muros de la envolvente se sugiere que si éste no

tiene aislación térmica, se considere la mitad de su peso. En el caso de muros con aislación térmica exterior se sugiere considerar el total de su peso y en el caso de muros con aislación térmica interior, la inercia de muros se hace despreciable.

4. EJEMPLO DE APLICACIÓN SOLAR-SIM.

En este ejemplo se presenta una vivienda tipo, analizada en dos orientaciones, con el objeto de visualizar la variación de la temperatura interior que se podría producir. Para ésto, se orientará la zona de mayor superficie vidriada hacia el norte y luego se simulará la misma vivienda girada en 90° , es decir, orientada hacia el oeste.

Características de la vivienda:

- Superficie edificada: 122 m^2
- Muros de albañilería de ladrillos
- Cielo con aislación térmica de 20 mm poliestireno expandido
- Tipo de ventana: vidriado simple.
- Superficie vidriada norte: $7,36 \text{ m}^2$
- Superficie vidriada sur: 5.1 m^2
- Superficie vidriada este: 1.2 m^2
- Superficie vidriada oeste: 3.0 m^2
- Ventilación nocturna de 0.5 volúmenes por hora.
- Ventilación diurna de 6.0 volúmenes por hora.
- Día de simulación: 15 de enero
- Ciudad de simulación: Calama. $22^\circ 26' \text{ S}$. $68^\circ 53' \text{ W}$. Altitud: 2270 m.

De esta forma -tal como se ha indicado-, se simula la vivienda con orientación norte (fig. 4), y luego se hace un segundo análisis en que la fachada de la vivienda que originalmente se orienta al norte se orienta al oeste (giro en 90° contrario al de los punteros del reloj).

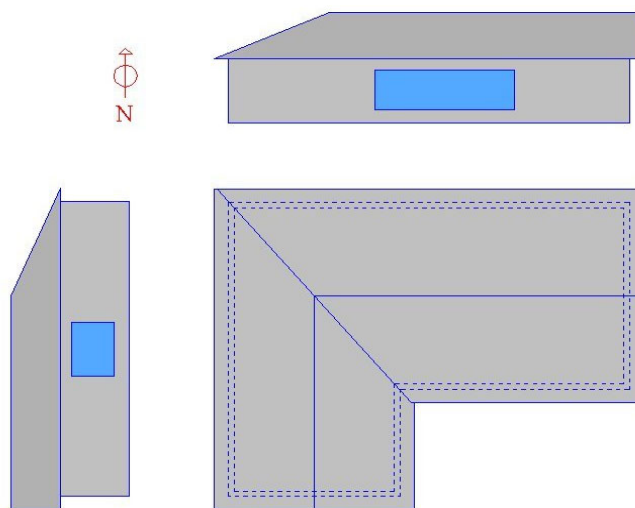


Figura 4. Vivienda con orientación norte.

La figura siguiente (figura 5) muestra el gráfico que representa la variación de la temperatura interior de la vivienda (considerada como una sola zona). Durante el día se observa una mayor temperatura interior (comparada con la temperatura exterior también representada en el gráfico de esta figura) dado que existe una importante superficie vidriada con orientación

poniente en la vivienda, la que es mayor en el caso de la orientación W, cuando la vivienda representada en la figura 4 se ha girado hacia el poniente.

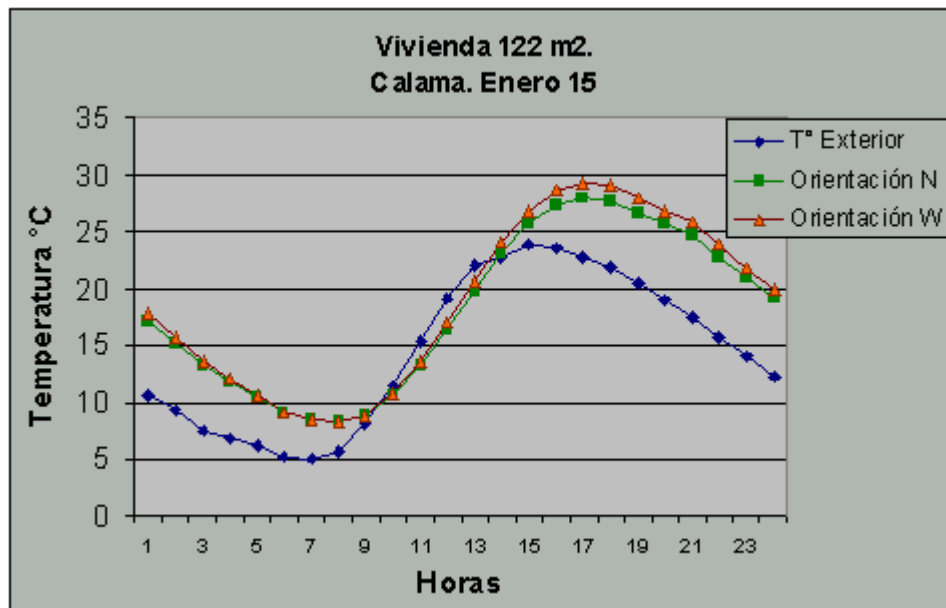


Figura 5. Efectos de sobrecalentamiento en vivienda de 122 m². Ciudad de Calama

5. COMENTARIOS FINALES.

Efectos como los observados en la figura 5 son los que pretende mostrar el software descrito. No ha sido la idea de desarrollar un software de alta precisión en los resultados de sus simulaciones, sino que pretendiendo ser de fácil uso entregue de una manera gráfica los efectos que se provocan en las condiciones de temperatura interior de un cierto espacio, de modo que el usuario pueda comprender los efectos de sus decisiones en el diseño y a su vez compruebe de modo global el impacto que podrán producir los cambios que en él puedan ser sugeridos. En este sentido, el software ha mostrado su utilidad.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PEREZ , R.; P. INEICHEN; R. SEALS; J. MICHALSKY AND R. STEWART (1990 A). Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. *Solar Energy*, v 44, N° 5, pp 271-289.
- PEREZ, R.; R. SEALS; A. ZELENKA AND P. INEICHEN (1990 B). "Climatic evaluation of models that predict hourly direct irradiance from hourly global irradiance: Prospects for performance improvements". *Solar Energy*, v 44, N° 2, 99-108.