

COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE FACHADAS.

El factor costo-calidad

Alberto Stornini

RESUMEN

Este estudio forma parte de un proyecto de evaluación de calidad térmica y acústica de fachadas, calidades que luego son confrontadas con los costos resultantes. Los fundamentos del trabajo y resultados referidos a los aspectos acústicos fueron ya publicados en los Anales LINTA 95⁽¹⁾.

En el presente trabajo se realiza un análisis de calidad térmica de diferentes tipos de fachadas, a través del estudio de la transmitancia térmica K y del coeficiente volumétrico de pérdida de calor G. En este último caso se supone una vivienda tipo donde se ubican fachadas alternativas, estableciendo, finalmente, un orden de prioridades según parámetros de costo y de confort térmico.

Palabras clave: *Confort térmico - Costos - Viviendas - Fachadas.*

1. GENERALIDADES

Todo elemento de construcción posee una cierta capacidad de transmitir el calor a su través. Dichos elementos adoptan generalmente la forma de placas, donde el calor viaja desde la cara caliente hacia la cara fría del material.

Al colocar un muro entre dos ambientes a distinta temperatura, existe un flujo de calor (en invierno) que puede dividirse en 3 fases:

- 1) Desde el aire interior hasta la cara interior del muro.
- 2) En el interior del muro.
- 3) Desde la cara externa del muro al aire externo.

Las fases 1 y 3 transmiten el calor por convección y radiación, mientras que la fase 2 lo hace por conducción. Se dice que los materiales que más se oponen al flujo de calor poseen mayor *Resistencia Térmica*.

Lo que se pretende es que el calor interno no escape en invierno y que el calor externo no penetre en verano. Por ello es deseable que la envolvente del edificio sea de alta resistencia térmica, o sea poco conductora del calor. Dicha envolvente está conformada por muros ciegos, fachadas, cubiertas y solados; el calor fluye por cada uno de ellos de acuerdo a sus respectivas resistencias térmicas, por lo que el cambio de cualquier elemento afectará el comportamiento térmico general.

2. PARÁMETROS TÉRMICOS⁽²⁾

Considerando al muro como una placa, es decir que su espesor es despreciable frente a las otras 2 dimensiones, el flujo de calor, en régimen estacionario, por unidad de tiempo, vale:

$$Q = I (t_1 - t_2) S / e$$

Donde:

Q = flujo de calor [W] ó [kCal / h]

I = conductividad térmica [W / m °C]

S = superficie del muro [m²]

e = espesor del mismo [m]

t₁ - t₂ = gradiente de temperatura [°C]

La *conductividad térmica*, aludida con I, expresa la aptitud para conducir el calor, por unidad de superficie y de espesor. Se define la *Resistencia Térmica* de un material como su capacidad de oponerse al flujo de calor. Se la designa con R y se puede calcularse con:

$$R = e / I S [m^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}]$$

La inversa de R es llamada *transmitancia térmica*, se designa con K y la unidad de medida es [W / m² °C].

Reemplazando valores puede escribirse:

$$Q = (t_1 - t_2) / R = Dt / R$$

Con lo cual queda demostrado que a mayor resistencia térmica menor flujo de calor y viceversa.

Si consideramos una superficie unitaria, R se calcula con: $R = e / I$, fórmula ésta que se utilizará en este trabajo cuando deba calcularse R a partir de I.

Cabe acotar que la Norma IRAM 11601⁽³⁾ muestra un listado de los materiales más usados en nuestro país con los correspondientes valores de R o de I, según el caso.

La resistencia térmica total de un muro es la suma de la resistencia térmica interna (R) más las resistencias superficiales interna y externa.

$$R_t = R_{si} + R + R_{se}$$

Debe hacerse la discriminación anterior debido a que el calor se transmite en forma diferente dentro del muro o en sus caras. Cuando el elemento de construcción a estudiar está formado por varias capas de materiales homogéneos, la resistencia térmica total surge de calcular las resistencias térmicas internas de cada capa.

$$R_t = R_{si} + e_1 / l_1 + e_2 / l_2 + \dots + R_{se} = 1 / K_t$$

Normalmente los elementos envolventes no son homogéneos en toda la superficie, tal el caso de una fachada; entonces la transmitancia térmica total se calcula con:

$$K_t = (K_1 S_1 + K_2 S_2) / (S_1 + S_2) = 1 / R_t$$

También se define al *Coefficiente volumétrico de pérdida de calor* (G), que se refiere a un local o a una vivienda en su totalidad. G mide la energía térmica que pierde un local calefaccionado, por unidad de volumen, unidad de tiempo y unidad de temperatura, en régimen estacionario.

Esta energía deberá ser aportada por el sistema de calefacción para mantener constante la temperatura interna de la vivienda.

La fórmula de cálculo viene dada en la Norma IRAM 11604 (4), y es:

$$G = (S K_m S_m + S K_v S_v + S g K_r S_r + a K_p P B) / V + 0,35 n \text{ [W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C]}$$

Donde:

S K_m S_m tiene en cuenta los cerramientos opacos exteriores (muros y techos).

S K_v S_v se refiere a las aberturas no opacas en muros y techos.

S g K_r S_r está relacionado con cerramientos opacos y no opacos lindantes con locales no calefaccionados.

a K_p P B mide la transmitancia térmica de solados y muros de subsuelo.

V es el volumen de la vivienda.

n es el número de renovaciones de aire por hora; depende del tipo de carpintería en las aberturas.

El coeficiente G permite calcular la instalación de calefacción mínima necesaria en una vivienda, de acuerdo a la zona bioclimática del país donde se la ubique.

El cálculo de la carga térmica de calefacción anual se realiza con:

$$Q_a = 24 \cdot ^\circ D \cdot G \cdot V / 1000 \text{ [kWh]}$$

Siendo:

^{°D}: los grados-días anuales correspondientes a la ubicación de la vivienda.

G: el valor del coeficiente ya visto.

V: el volumen de la vivienda.

Los grados-días indican la cantidad de días al año en que la temperatura media está por deba-

jo del valor considerado adecuado para el confort (18° para viviendas). A tal efecto debe consultarse la Norma IRAM 11603⁽⁵⁾. En nuestro país este número varía entre 0 para zonas cálidas y 4500 para zonas frías; en Buenos Aires vale 793 y en La Plata 1170.

Conviene convertir la carga térmica Q_a a kilocalorías, ya que los calefactores a gas son conocidos comercialmente a través de este parámetro.

$$1 \text{ kw/h} = 860 \text{ kCal} \text{ ó } 1 \text{ kCal/h} = 1,163 \text{ W}$$

Además, con los valores de G, y en base a la metodología descrita en la Resolución Fonavi 041/80, puede estimarse el flujo de calor para calefacción (Q) y dimensionar las estufas según los modelos existentes en el mercado. La fórmula de Q fue actualizada utilizando la forma de cálculo de G de la Norma IRAM 11.603.

$$Q = G \times V \times Dt$$

Donde:

Q = flujo de calor. [kCal/h]

G = coeficiente volumétrico de transmitancia térmica. [kCal / h m³ °C]

V = volumen de la vivienda. [m³]

Dt = diferencia de temperatura entre exterior e interior. [°C]

3. ESTUDIO TÉRMICO DE FACHADAS

Esta evaluación puede hacerse sobre la fachada en sí, obteniendo el valor de K, o sobre la fachada colocada en una vivienda tipo, resultando un valor de G.

Una de las aplicaciones principales en el diseño de viviendas es el estudio de alternativas de fachada desde el punto de vista térmico. En este caso, una vez conocida la calidad térmica de cada fachada, se las puede ordenar en una escala de 0 a 100 puntos, siendo la de mayor puntaje la más apta, es decir la de menor transmitancia térmica K o menor coeficiente volumétrico G⁽⁶⁾.

4. CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA (K)

Debe calcularse el valor total de K para la fachada, considerando que está compuesta por un área de muro y otra de abertura. Se analizaron las 31 fachadas estudiadas anteriormente según su calidad acústica, que comprenden 5 tipos de muros diferentes y 15 aberturas distintas⁽⁷⁾.

4.1 TRANSMITANCIA TÉRMICA DE MUROS

Se calcularon las transmitancias térmicas de cada muro en base a su conformación, considerando que es un elemento de varias capas (ladrillo, revoques, etc.). Se extraen las respectivas conductividades térmicas λ de la Norma IRAM 11601. En el cálculo deben incluirse las resistencias superficiales interior y exterior, que se obtienen de tablas que figuran en la misma Norma. A modo de ejemplo se incluye el resultado para el muro 1 (Ladrillos huecos revocados, total 23 cm).

	e (m)	λ	$R_i = e / \lambda$
Res. superf. interior	---	---	0,130
Revoque fino	0,005	1,16	0,004
Revoque grueso	0,020	1,16	0,017
Ladrillo hueco	0,180	---	0,575
Revoque grueso	0,020	1,16	0,017
Revoque fino	0,005	1,16	0,004
Res. superf. exterior	---	---	0,040
Suma de R_i :			0,788
$K_i = 1,269 \text{ W/m}^2\text{°C}$			

4.2 TRANSMITANCIA TÉRMICA DE ABERTURAS

La transmitancia térmica de las aberturas se calcula en forma algo distinta; en la Norma IRAM 11601 figuran los valores según su tipo constructivo y forma de vidriado. La lista de valores más usuales es:

$K \text{ (W / m}^2 \text{ °C)}$

Puerta de madera ciega	3,5
Ventanas:	
Con vidrio común	5,82
Con cámara de aire 6 mm	4
Con cámara de aire 12 mm	3,7
Con cortina de madera	2,79
Con cortina interna	5
Cámara de aire y cortina madera	2,15
Doble ventana (separación > 3 cm)	3

Para las aberturas no es menester considerar las resistencias térmicas superficiales porque éstas se incluyen en los valores de K citados anteriormente.

5. DEFINICIÓN DE LA VIVIENDA TIPO

Para obtener valores de G , se requiere adoptar una vivienda tipo en la que irán colocándose sucesivamente las 31 fachadas alternativas. La vivienda tipo fue adoptada con la premisa de ser

pequeña y modesta, es decir la habitual en planes de construcción gubernamentales. Consta de 2 dormitorios, estar, baño y cocina, y superficie de 40 m².

A los efectos del cálculo de G no interesa la distribución de locales, pero sí las superficies de muros, techos y solados vistos desde el interior, y la superficie de las aberturas. Se reserva un lateral completo del estar, de 3,70 m de ancho y 2,70 m de altura, o sea 10 m², para ubicar las sucesivas fachadas en estudio.

Detalles constructivos:

Muros: Iguales al que compone cada fachada alternativa, es decir los nominados M1 a M5.

Techo: De chapa metálica ondulada, con aislante de poliestireno expandido de 25 mm y entablonado de 13 mm.

Solados: De cerámicos de 10 mm, sobre contrapiso alisado de 15 cm.

Ventanas: Corredizas de aluminio, con cortinas de tela interiores.

Puerta: De madera, ciega, con marco metálico.

En la siguiente tabla se muestran todos los elementos componentes de la envolvente de la vivienda (excepto la fachada a evaluar) con sus respectivas superficies y transmitancias térmicas:

	S	K	Pérdidas
	(m ²)	(W / m ² °C)	(W / °C)
Muros	51,91	2,07 *	107,25
Ventanas	4,45	5,00	22,25
Puerta	1,68	3,50	5,88
Cubierta	39,65	0,89	35,29
Solados			13,47
total:			184,13

(*) Corresponde al muro M4, usado en la fachada N° 1.

Las pérdidas de calor a través de los solados se calculan con una fórmula diferente al resto de los componentes, interviniendo la transmitancia térmica, el perímetro de la vivienda (P) y dos factores, α y β , que dependen de la inercia térmica y del terreno.

6. EVALUACIÓN DE PROPIEDADES TÉRMICAS

Existen valores máximos aconsejados tanto para K como para G . Ello nos permite decidir si una fachada o una vivienda es apta para ser construida en cierta zona del país. La Norma IRAM 11605 (8) indica los valores máximos aconsejados de K , según sea la zona bioclimática donde se halle emplazada la vivienda. Según dicha Norma, las zonas bioclimáticas de la República Ar-

gentina se denominan:

Zona I: Muy cálida

Zona II: Cálida

Zona III: Templada cálida

Zona IV: Templada fría

Zona V: Fría

Zona VI: Muy fría

La parte norte de la Provincia de Buenos Aires se encuentra en la zona III y el resto en la zona IV, siendo el límite la línea de 1170 grados-días. A su vez las zonas se encuentran subdivididas en subzonas denominadas a y b, existiendo en algunos casos la c y la d. La Plata y Buenos Aires se encuentran en la zona IIIb, o sea la franja costera de unos 50 Km de ancho que va desde el Delta hasta la Bahía Samborombón.

Los valores máximos de K aconsejados son:

Para la zona IIIa (norte de la Provincia):

Muros exteriores	1,51 + 1,16 mt
Techos	1,04 + 1,16 mt

Para la zona IIIb (franja costera):

Muros exteriores al N ó S	1,86 + 1,16 mt
Muros exteriores al E ú O	1,51 + 1,16 mt
Techos	1,04 + 1,16 mt

Para la zona IVc (sur de la Provincia):

Muros exteriores	1,51 + 1,16 mt
Techos	1,04 + 1,16 mt

Para la zona IVd (costa atlántica)

Muros exteriores	1,51 + 1,16 mt
Techos	1,04 + 1,16 mt

Donde:

mt = masa del muro o techo en toneladas/m².

Las masas de las fachadas estudiadas varían entre 220 y 320 Kg / m², por lo que el K máximo para la zona IIIb oscilaría entre 2,12 y 2,23 para orientación N y S, y entre 1,77 y 1,88 para orientación E y O.

Para el techo elegido el K máximo sería de 1,06.

Con relación a este tema también puede consultarse el Manual de Aislamiento (9), que cita la Norma NBE-CT-79, donde para zonas bioclimáticas similares en España, se indica un K máximo de 1,80 para fachadas de más de 200 Kg/m² y un K máximo de 1,40 para cubiertas.

Los valores máximos aconsejados de G figuran en la Norma IRAM 11604, tabla II, en función del volumen del edificio y con los grados-días como parámetro; suponiendo un volumen de 100 m³ y una zona de 1100 grados-días resulta G_{máx} = 3,1 W / m³ °C.

7. CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LAS FACHADAS

Teniendo en cuenta las superficies y el K de cada muro y abertura se llega a obtener la transmitancia de la fachada. Por ejemplo, para la fachada 1 dicho cálculo resulta:

Muro M4:	Abertura A3:
Km = 2,066 W / m ² °C	Ka = 2,79 W / m ² °C
Sm = 6,60 m ²	Sa = 3,4 m ²
Kf = Km Sm + Ka Sa / (Sm + Sa) = 2,31 W / m ² °C	

Debe recordarse que para las fachadas 1 al 7 el área del muro se ajusta para que la superficie de la fachada resulte 10 m² y pueda adaptarse al estar de la vivienda tipo. De igual forma se calcula K para las restantes fachadas. Seguidamente se muestran el valor peor y mejor de K correspondientes al total de las fachadas estudiadas.

Fachada	Abert.	Muro	K ab	S ab	K mu	S mu	K fach
7	A5	M3	5,82	3,15	3,094	6,85	3,953
12	A12	M1	4	0,88	1,269	9,12	1,509

8. CÁLCULO DEL COEFICIENTE VOLUMÉTRICO DE PÉRDIDA DE CALOR (G)

Este proceso se detalla en la Norma IRAM 11604, y consiste en sumar las pérdidas volumétricas por transmisión y por infiltración. Las primeras surgen del conocimiento de las superficies y transmitancias térmicas de los componentes de la vivienda; las segundas dependen del volumen de aire infiltrado a través de las aberturas. El aire infiltrado es función de la velocidad media del viento en el lugar donde se asienta la vivienda y del tipo de abertura.

La velocidad media del viento se obtiene de la Norma IRAM 11603 y el caudal de aire infiltrado aparece en la tabla IV de la Norma IRAM 11604, en metros cúbicos por hora y por m² de abertura, para velocidades medias de viento de 8 a 36 km/h y tipos de abertura, es decir batientes, corredizas, de guillotina, pivotantes, etc. Interviene además el material, es decir madera, aluminio, chapa doblada, PVC, etc.

Si se calcula el cociente entre el volumen de aire infiltrado y el volumen de la vivienda, puede conocerse el número de renovaciones por hora (n), necesario para calcular G.

Nótese que G expresa las propiedades térmicas de una vivienda en función del tipo y características de los materiales empleados y de los vientos de la zona.

Para la fachada 1, montada en la vivienda

tipo, el cálculo se realiza en base a los siguientes datos:

Pérdidas de la vivienda excepto la fachada: 184,12 W / °C
 Área del muro en fachada: 6,6 m²
 K del mismo: 2,066 W / m² °C
 Área de abertura en fachada: 3,4 m²
 K de la misma: 2,79 W / m² °C
 Volumen de la vivienda: 116,61 m³
 Con lo precedente se calcula:
 Pérdidas de transmisión de toda la vivienda: 207,24 W / °C
 Pérdidas volumétricas por transmisión: 1,777 W / m³ °C

Otros datos son:

Superficie de puertas: 1,68 m²
 Aire infiltrado por m²: 14 m³ / m² h
 Superficie de ventanas: 4,45 m²
 Aire infiltrado en ellas: 8 m³ / m² h
 Superficie de abertura en fachada: 3,4 m²
 Aire infiltrado en ella: 14 m³ / m² h
 Con lo que se obtiene:
 Volumen de infiltración: 106,72 m³ / h
 Número de renovaciones: 0,915 por hora
 Pérdidas volumétricas por infiltración: 0,320 W / m³ °C

Finalmente, G es la suma de ambas pérdidas volumétricas:

$$G = 1,777 + 0,320 = 2,097 \text{ W / m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$$

De igual forma se calcula G para las restantes fachadas; el resultado para dos de ellas (la peor y la mejor) figura a continuación.

Fac del resto	Muro		Ventana		Infiltrac.	Perd. Vol.	Perd. Vol.	G		
	en fachada	en fachada	Pérdidas	I					Infiltrac.	Transmis.
Nº	W/°C	S(m²)	K	S(m²)	K	W/°C	m³/m²h	W/m³°C	W/m³°C	W/m³°C
7	237,49	6,85	3,094	3,15	5,82	277,02	16	0,329	2,376	2,704
12	142,74	9,12	1,269	0,88	4	157,83	3	0,185	1,354	1,539

9. CÁLCULO DE LA CALIDAD TÉRMICA

Una vez conocidos los valores de K y de G para las 31 fachadas se procede a crear una escala de calidad según K y otra según G. Cada fachada tendrá un puntaje que tendrá en cuenta 2 factores:

* Valor de K:

Se calculan todos los K, asignando a cada fachada un puntaje entre 0 y 100, siendo 100 el correspondiente al menor K, ya que un valor bajo significa mejor calidad térmica. El mayor K se corresponde con el puntaje 0. Las fachadas intermedias tendrán puntajes proporcionales al valor de su respectivo K.

* Valor de G:

En la misma forma se calcula el puntaje de cada fachada con respecto al valor de G, asignándole puntajes entre 0 a 100.

A los efectos de considerar los dos criterios

de evaluación, conviene promediar los puntajes según K y según G, designando al resultado «puntaje por calidad térmica».

La fachada con menor K, o sea la que posee 100 puntos en esa escala, es la 12; la de mayor K y puntaje 0 es la 7. La fachada con menor G, o sea la que posee 100 puntos en esa escala, es también la 12; la de mayor G y puntaje 0 es la 7. Por lo tanto la fachada con mayor calidad térmica es la 12 y la de menor calidad la 7; en base a ello puede ordenarse a las fachadas según calidad térmica decreciente. También puede obtenerse el puntaje de cada fachada según costo-calidad térmica; en esta escala, la mejor es la N^o 13 y la peor la N^o 31. Un detalle de todos los puntajes de las fachadas según costos, K y G, como así de los respectivos ordenamientos figuran en la Tabla 1.

10. OTRAS EVALUACIONES

Ya se han visto los valores aconsejados por Normas Argentinas y Españolas; conocidos K y G, puede estimarse si una fachada es apta o no para usarse en cierta zona del país.

Si suponemos ubicada la vivienda en La Plata, los valores máximos aconsejados para K y G según IRAM 11605 son:

Fachadas:

K entre 2,12 y 2,23 para orientación N y S. (Adoptamos K=2,12)

K entre 1,77 y 1,88 para orientación E y O. (Adoptamos K=1,77)

Techos:

Para el techo elegido el K máximo sería de 1,06.

Total de la vivienda:

$$G_{\text{máx}} = 3,1 \text{ W/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$$

En la Norma NBE-CT-79, para zonas bioclimáticas similares en España, se indica:

K máximo de 1,80 para fachadas de más de 200 Kg/m².

K máximo de 1,40 para cubiertas.

$$G_{\text{máx}} = 0,92 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Nota: En España el cálculo de G se realiza con una fórmula distinta, por lo que este valor no se considerará aquí.

Basándonos en Normas IRAM, según K, son aptas para orientación N y S las 8 fachadas numeradas 12, 15, 11, 13, 10, 14, 2 y 9; para orientación E y O son aconsejables sólo las 6 primeras. Las restantes fachadas, que poseen valores de K superiores a los aconsejados para la zona bioclimática IIIb, podrían utilizarse en una zona más cálida, donde se permiten K más altos.

Si ubicamos la vivienda en una zona más fría,

como la IV, el K máximo admisible es de 1,77 para cualquier orientación y las fachadas admisibles serían las 6 primeras de la escala.

Si se analizan los valores de G calculados vemos que todas las fachadas resultan aptas, pero colocadas en la vivienda tipo elegida. Es lógico que las mismas fachadas montadas en una vivienda de menor calidad térmica tornarían en valores de G más bajos, con lo que las últimas de la lista podrían dejar de ser aceptables.

Si se deseara calcular la carga térmica de calefacción anual en la vivienda tipo propuesta, con diferentes fachadas montadas, el cálculo según la Norma IRAM 11604 sería:

Para la mejor fachada (la N° 12):

$$\begin{aligned} G &= 1,539 \text{ W / m}^3 \text{ }^\circ\text{C} \\ Q_a &= 24 \times \text{D} \times G \times V / 1000 = \\ &= 24 \times 1100 \times 1,539 \times 116,61 / 1000 = \\ &= 4738 \text{ kWh} = 4.074.523 \text{ kCal} \end{aligned}$$

En nuestro país es habitual y de menor costo la calefacción a gas; esta carga térmica, dado el equivalente calórico del gas (9300 kCal/m³), representa 438 m³, que significan un costo de \$ 130. Si se usara electricidad éste sería de \$ 715.

Realizando el mismo cálculo para la peor fachada resulta:

$$\begin{aligned} G &= 2,704 \text{ W / m}^3 \text{ }^\circ\text{C} \\ Q_a &= 24 \cdot 1100 \times 2,704 \times 116,61 / 1000 = \\ &= 8324 \text{ kWh} = 7.158.876 \text{ kCal} \end{aligned}$$

Esta carga térmica representa 770 m³ ó \$ 226. Si se usara electricidad el costo sería de \$ 1256.

De la comparación de ambos costos anuales surge el ahorro derivado de las mejoras de características térmicas de las fachadas.

Si se desea calcular el costo inicial de la instalación de calefacción se procede de la siguiente manera:

Para la mejor fachada (N° 12):

$$\begin{aligned} G &= 1,556 \text{ W / m}^3 \text{ }^\circ\text{C} = 1,338 \text{ kCal / h m}^3 \text{ }^\circ\text{C} \\ V &= 116,61 \text{ m}^3 \\ Dt &= 18^\circ\text{C} - 1^\circ\text{C} = 17^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Se tomó como temperatura exterior la de diseño mínima, extraída de la Norma IRAM 11603, que para La Plata es de 1° C.

$$Q = 1,323 \cdot 116,61 \cdot 17 = 2623 \text{ kCal / h}$$

Para la peor fachada (N° 7):

$$\begin{aligned} G &= 2,704 \text{ W / m}^3 \text{ }^\circ\text{C} = 2,325 \text{ kCal / h m}^3 \text{ }^\circ\text{C} \\ Q &= 2,325 \cdot 116,61 \cdot 17 = 4609 \text{ kCal/h} \end{aligned}$$

Puede estimarse que en el primer caso basta con un calefactor de 3000 kCal/h, mientras que en el segundo se necesita uno de 5000 kCal/h. Evidentemente existe una diferencia de costo inicial (el del artefacto) y de operación entre ellos, consecuencia de utilizar fachadas con diferente eficiencia térmica.

11. CONCLUSIONES

La evaluación de calidad térmica de fachadas a través de la transmitancia térmica K permite una evaluación térmica de distintas tipologías constructivas, pudiendo efectuarse una lista de acuerdo a su orden de mérito.

A partir del cálculo discriminado de K para cada componente puede estimarse cuál de ellos incide más favorable o desfavorablemente en el resultado total.

El cálculo de G permite disponer de otro parámetro de justiprecio de la calidad térmica, con el agregado de poder investigar el comportamiento de una misma fachada en diferentes tipos de viviendas, análisis no efectuado en este trabajo.

En nuestro país el precio del gas es relativamente bajo, por lo que el ahorro anual en calefacción calculado puede parecer insignificante. Sin embargo, si la vivienda se ubica en una zona fría, o la calefacción es realizada con electricidad, el gasto anual puede ser muy elevado, pasando a tener vital importancia el diseño de la fachada.

El trabajo desarrollado presenta una metodología para comparar diferentes alternativas de fachadas desde el punto de vista de su calidad térmica y su costo.

La calidad térmica fue evaluada a través de los parámetros K y G, en este último caso considerando una vivienda tipo donde sectores de la envolvente permanecen constantes. A los valores obtenidos de costo y calidad se les asignó un puntaje, lo que permite obtener una visión global de los costos a los que es posible obtener determinados niveles de confort.

Aunque es necesario considerar las múltiples funciones simultáneas de las fachadas, una metodología como la desarrollada permite una toma de decisiones más ajustada, cuando es necesario conciliar un presupuesto restringido y un nivel aceptable de calidad a obtener.

Tabla 1: Puntajes y ordenamiento de las fachadas.

Fach. N°	Punt. Costo	Punt. por K	Punt. por G	Puntaje Calidad Térmica	Puntaje Total
1	0	70	52	61	61
2	38	85	86	85	123
3	81	36	79	58	138
4	89	42	12	27	117
5	100	14	8	11	111
6	77	44	7	25	103
7	94	0	0	0	94
8	96	75	88	81	177
9	79	82	94	88	167
10	70	93	96	95	165
11	89	94	99	96	185
12	80	100	100	100	180
13	92	94	96	95	187
14	84	92	97	94	179
15	55	99	97	98	153
16	92	20	9	15	107
17	75	25	15	20	95
18	66	35	17	26	92
19	85	32	19	25	110
20	77	38	20	29	106
21	88	32	16	24	112
22	81	30	17	24	105
23	51	41	18	30	81
24	56	19	7	13	69
25	37	23	13	18	56
26	28	34	15	25	52
27	44	30	17	24	67
28	35	36	18	27	62
29	47	30	14	22	69
30	40	29	15	22	62
31	13	40	16	28	41

Orden según Calidad térmica			Orden según Costo-calidad térmica		
Fachada N°			Fachada N°		
1	12	100	1	13	187
2	15	98	2	11	185
3	11	96	3	12	180
4	13	95	4	14	179
5	10	95	5	8	177
6	14	94	6	9	167
7	9	88	7	10	165
8	2	85	8	15	153
9	8	81	9	3	138
10	1	61	10	2	123
11	3	58	11	4	117
12	23	30	12	21	112
13	20	29	13	5	111
14	31	28	14	19	110
15	4	27	15	16	107
16	28	27	16	20	106
17	18	26	17	22	105
18	6	25	18	6	103
19	19	25	19	17	95
20	26	25	20	7	94
21	22	24	21	18	92
22	21	24	22	23	81
23	27	24	23	24	69
24	30	22	24	29	69
25	29	22	25	27	67
26	17	20	26	28	62
27	25	18	27	30	62
28	16	15	28	1	61
29	24	13	29	25	56
30	5	11	30	26	52
31	7	0	31	31	41

NOTAS:

- 1 - Stormini, A. J. «Comportamiento acústico de fachadas frente al ruido ambiente. El factor costo-calidad». En *Anales LINTA* 1995. págs. 71-80
- 2 - Norma IRAM 11549 «Acondicionamiento térmico de edificios. Vocabulario», 1993.
- 3 - Norma IRAM 11601 «Acondicionamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de componentes y elementos de construcción en régimen estacionario», 1994.
- 4 - Norma IRAM 11604 «Acondicionamiento térmico de edificios. Ahorro de energía en calefacción. Coeficientes volumétricos G de pérdida de calor», 1990.
- 5 - Norma IRAM 11603 «Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina», 1992.
- 6 - Stormini A. J. op. cit.
- 7 - Stormini A. J. op. cit.
- 8 - Norma IRAM 11605 «Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en viviendas. Valores máximos admisibles de transmitancia térmica K».
- 9 - Manual de Aislamiento. Editado por Isover. España, 1993.