

APLICACION DE UN METODO DE REGRESION MULTIPLE AL ESTUDIO DE UN AMBIENTE ACONDICIONADO EN FORMA SOLAR PASIVA CON GANANCIA DIRECTA

Ing. Fernando Solanes
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda
IADIZA

Ing. Alfredo Esteves
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Cuyo

1. INTRODUCCION

Cuando se analiza el comportamiento térmico dinámico de edificios existentes interactuando con el clima exterior es conveniente usar modelos cuyos parámetros puedan ser asignados mediante el ajuste de datos numéricos.

2. FUNDAMENTOS

En el presente trabajo el efecto de la capacidad térmica es considerado en un único valor que incluye los coeficientes de intercambio de calor, denominado constante térmica de tiempo.

Se ha considerado un modelo en el cual la temperatura media interior del ambiente en un día cualquiera depende de:

- La temperatura media interior del día anterior ($T_a(j-1)$)
- La temperatura media exterior del día considerado ($T_e(j)$)
- La radiación solar que penetra al sistema el día considerado ($I(j)$)

Se ha supuesto además que la dependencia es lineal:

$$\bar{T}_a(j) = D_1 \bar{T}_a(j-1) + D_2 \bar{T}_e(j) + D_3 I(j) \quad (1)$$

3. MODIFICACION DEL MODELO

El modelo indicado en la expresión (1) fue para adecuarse a las ecuaciones que definen el comportamiento del sistema según dos lineamientos: constante térmica de tiempo y admitancia térmica.

3.1 CONSTANTE TERMICA DE TIEMPO

En este modelo se considera el sistema reducido a una masa puntual cuyo comportamiento es equivalente a la existente en el sistema y su coeficiente de pérdidas de calor hacia el exterior es el mismo que en la realidad.

La masa térmica equivalente $(MC)_e$, sometida a la acción del clima tiene un comportamiento que puede expresarse:

$$(MC)_e \frac{dT_a}{dt} = I + Ut(T_e - T_a)$$

donde $Ut =$ Coeficiente Global de Transferencia de calor ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
 $t =$ tiempo (seg.)

cuya solución para el caso de analizarse variaciones de la temperatura diaria promedio es:

$$\frac{(I/24 - Ut(\bar{T}_a(j) - \bar{T}_e(j))) / (I/24 - Ut(\bar{T}_a(j-1) - \bar{T}_e(j)))}{= \exp(-Ut \cdot 24 / (MC)_e)}$$

donde:

$$CTT = (MC)_e / Ut$$

esta expresión puede reordenarse:
 $(\bar{T}_a(j) - \bar{T}_e(j)) =$

$$= (I/24 / Ut) (1 - \exp(-24 / CTT)) + (\bar{T}_a(j-1) - \bar{T}_e(j)) \exp(-24 / CTT) \quad (2)$$

3.2 ADMITANCIA TERMICA

Si el sistema alcanza un régimen cíclico estacionario (secuencia de días con iguales temperaturas y radiación solar) la temperatura media interior es:

$$\bar{T}_a = \bar{T}_e + (1 - (1 - F) \sum U_{ei} A_i / (\sum U_{ei} A_i + \sum h A_i)) I / 24 / A \quad (3)$$

$$A = (U + \sum U_{ei} A_i / \sum h A_i) / (\sum U_{ei} A_i + \sum h A_i)$$

Para interpretar las expresiones (2) y (3), se modificó (1):

$$(\bar{T}_a(j) - \bar{T}_e(j)) = D_1 (\bar{T}_a(j-1) - \bar{T}_e(j)) + D_2 I(j) \quad (4)$$

La determinación de los coeficientes D_1 y D_2 se realiza utilizando una técnica de regresión múltiple por mínimos cuadrados.

4. REGRESION MULTIPLE

La solución del sistema para determinar los coeficientes D es:

$$(D) = ((X)' (X))^{-1} (X)' (Y)$$

donde:

(D) es la matriz de los coeficientes.

(X) es la matriz de las variables explicativas $(T_a(j-1) - T_e(j))$ e $I(j)$

(X)' es la matriz traspuesta de (X)
 (Y) es la matriz de las variables explicadas
 (Ta(j) - Te(j))

5. RESULTADOS

De los datos de mediciones realizadas en el prototipo de vivienda solar experimental "ENRICO TEDESCHI" se seleccionaron 12 días que pudieron haber alcanzado un estado cíclico estacionario.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla #1.

Tabla #1

Cálculo de las diferencias de temperaturas.

D(1)= 0.615189

D(2)= 0.000123

I	Ta-Te (Medidas)	Tac-Te (Calculadas)	Error
1	9.4000	9.8168	-0.4168
2	9.4000	9.4483	-0.0483
3	9.4000	9.7078	-0.3078
4	8.6000	8.1581	0.4419
5	8.3000	8.3906	-0.0906
6	7.3000	7.3597	-0.0597
7	8.4000	8.1995	0.2005
8	7.4000	7.5692	-0.1692
9	9.5000	8.8207	0.6793
10	6.6000	7.3973	-0.7973
11	9.0000	8.3609	0.6391
12	7.1000	7.1933	-0.0933

Desviación standard: 0.453974

Cálculo de las temperaturas medias diarias.

I	Ta (Medidas)	Tac (Calculadas)	Error
1	21.9000	22.3168	-0.4168
2	21.4000	21.4483	-0.0483
3	21.9000	22.2078	-0.3078
4	19.6000	19.1581	0.4419
5	18.7000	18.7906	-0.0906
6	20.9000	20.9597	-0.0597
7	19.7000	19.4995	0.2005
8	19.1000	19.2692	-0.1692
9	22.6000	21.9207	0.6793
10	22.7000	23.4973	-0.7973
11	22.9000	22.2609	0.6391
12	22.6000	22.6933	-0.0933

Desviación standard: 0.478531

Cálculo de las temperaturas en régimen estacionario.

I	Ta (Medidas)	Tac (Calculadas)	Error
1	21.9000	21.5442	0.3558
2	21.4000	21.2261	0.1739
3	21.9000	22.3802	-0.4802
4	19.6000	22.1897	-2.5897
5	18.7000	19.5967	-0.8967
6	20.9000	21.0743	-0.1743
7	19.7000	21.8177	-2.1177
8	19.1000	20.0199	-0.9199

9	22.6000	21.8334	0.7666
10	22.7000	21.3317	1.3683
11	22.9000	20.1589	2.7411
12	22.6000	19.8425	2.7575

Desviación standard: 1.851026

Se observa en la Tabla #1 que la desviación standard es menor que 0.5°C, lo que es compatible con el error experimental.

6. UTILIZACION DE LOS RESULTADOS

Mediante el método de admitancia térmica es posible calcular las temperaturas máximas y mínimas que alcanza un ambiente acondicionado por ganancia directa en régimen cíclico estacionario y estimar el coeficiente total de pérdidas y el número de renovaciones horarias diurno y diario del ambiente.

La tercera parte de la Tabla #1 indica las temperaturas que debería tener el sistema en régimen cíclico estacionario; este cálculo se realizó considerando Ta(j)=Ta(j-1) en cuyo caso:

$$Ta = Te + I D2 / (1 - D1) \quad (5)$$

que es similar a la expresión (3).

Con los valores que mostraron una mejor aproximación se obtuvo la Tabla #2.

Tabla #2

Cálculo de temperaturas máximas y mínimas por admitancia térmica.

I	Tadc	Tad	Tanc	Tan
1	23.12	22.20	19.29	19.60
2	22.91	22.20	18.78	19.30
3	23.77	23.10	18.99	19.40
4	23.25	23.60	18.50	18.10
5	24.26	25.20	19.74	19.00

Coficiente U promedio= 101.7437 W/°C

Infiltraciones diarias promedio= 2.820377 r/hr

Infiltraciones diurnas promedio= 5.368904 r/hr

Error cuadrático medio= 0.6385639

A partir del valor U promedio es posible calcular el Ut:

$$Ut = U + Uei = 101.74 + 26 = 127.74 \text{ W/°C}$$

Por otro lado de las expresiones (2) y (4):

$$D1 = \exp(-24/CTT) \text{ y}$$

$$CTT = -24 / \ln(D1)$$

$$D2 = (1 - \exp(-24/CTT)) / 24 / Ut \text{ y}$$

$$Ut = (1 - \exp(-24/CTT)) / 24 / D2$$

de donde:

CTT= 49.4 hr

$Ut = 130.22 \text{ W/}^\circ\text{C}$, valor comparable con el calculado por admitancia térmica: $127.74 \text{ W/}^\circ\text{C}$.

Dado que $CTT = (MC)_e / Ut$, este valor puede modificarse para variaciones conocidas de Ut .

Para el periodo diurno se ha estimado, con 5.37 renovaciones por hora de infiltraciones $Utd = 193.45$.

Para el periodo nocturno se ha estimado, con una renovación por hora de infiltraciones $Utn = 71.87$.

Esto lleva nuevos valores de la constante térmica de tiempo.

$CTTd = 33.25 \text{ hr}$

$CTTn = 71.87 \text{ hr}$

Con estos valores se calculó la temperatura hora a hora del ambiente analizado. Los resultados se muestran en la Tabla #3.

Tabla #3

Cálculo de temperaturas horarias por CTT.

Hora	Te	I	Ta	Tac	Error
9	8.90	763.62	19.70	19.21	0.49
10	10.90	2072.68	19.70	19.28	0.42
11	13.20	3081.75	19.90	19.57	0.33
12	15.80	3709.01	21.50	20.03	1.47
13	16.90	3981.73	21.60	20.54	1.06
14	18.70	3981.73	21.70	21.10	0.60
15	17.90	3709.01	21.60	21.57	0.03
16	18.70	3081.75	21.80	21.96	-0.16
17	18.20	2072.68	22.20	22.17	0.03
18	16.10	763.62	21.60	22.10	-0.50
19	12.20	43.64	21.10	21.97	-0.87
20	11.80	0.00	20.90	21.83	-0.93
21	11.20	0.00	20.50	21.68	-1.18
22	10.40	0.00	20.50	21.52	-1.02
23	10.50	0.00	20.40	21.37	-0.97
24	9.50	0.00	20.30	21.21	-0.91
1	8.20	0.00	20.20	21.03	-0.83
2	7.30	0.00	20.00	20.84	-0.84
3	7.30	0.00	19.90	20.65	-0.75
4	6.60	0.00	19.70	20.46	-0.76
5	6.50	0.00	19.60	20.27	-0.67
6	6.30	0.00	19.50	20.07	-0.57
7	6.50	0.00	19.30	19.89	-0.59
8	6.80	0.00	19.30	19.71	-0.41

Error medio cuadrático: 0.76642

7. CONCLUSIONES

El análisis estadístico del comportamiento dinámico de edificios, y el conocimiento de expresiones analíticas del mismo conducen a la determinación de variables que permiten:

- Conocer causas de pérdidas de energía, caso de la determinación de las renovaciones

horarias.

- Determinar condiciones de comfort interiores caso del cálculo de temperaturas máximas y mínimas u horarias, para días de diseño.
- Estimar el resultado de estrategias de conservación de energía aplicadas a edificios existentes, modificando el valor de Ut y re calculando la CTT.
- Estimar el resultado de estrategias de conservación de energía en edificios a construir similares a los ensayados.

8. BIBLIOGRAFIA

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY "Interaction between building and external environment". Report on Energy Conservation and Community Systems.

DAVIES M.G. "The thermal admittance of layered walls". Building Science Vol.8. pp. 207-220. Pergamon Press 1973.