

## MODELO PARA APROXIMAR LA MARCHA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE

Jorge Luis Guerrero, Luisa Cristina Arroyo, Rosanna Accatino y Gustavo Claudio Masid.

Centro Experimental de la Vivienda y el Equipamiento Urbano, U.N.C. Pinar 164 (8300) NEUQUEN.

### RESUMEN

Con el objeto de poder aproximar la marcha de la temperatura ambiente en las regiones donde el periodo diurno sufre variaciones estacionales considerables y la amplitud térmica es alta, se configuró un modelo basado en dos tipos de función para el día y la noche, la primera es senoidal y la segunda exponencial. Esta diferenciación está basada en el carácter de las soluciones obtenibles en balances con y sin aporte solar. Los parámetros intervinientes en las expresiones son las temperaturas máxima y mínima, de habitual difusión, y relaciones cosmográficas de uso corriente para los cuales sólo es necesario conocer la latitud del lugar y la fecha del año. El modelo, no obstante su sencillez, ha arrojado una correlación aceptable cuando fué comparado con datos reales de la región del Comahue y con tabulaciones estadísticas de varios lugares.

### INTRODUCCION

La necesidad de conocer la marcha diaria de la temperatura ambiente en la evaluación y diseño de sistemas térmicos expuestos a la misma, ha motivado distintos enfoques de modelización del problema. Dicho de otra manera, se trata de encontrar funciones que con el empleo de pocos parámetros climáticos puedan representar a la temperatura.

Estos enfoques utilizan desde series de Fourier [1] y balances energéticos hasta tabulaciones de valores estadísticamente más probables de la temperatura [2]. Con estos enfoques se ha llegado a aproximaciones muy buenas bajo determinadas circunstancias. No obstante el empleo de estos modelos resulta complicado, sea por el gran número de variables que intervienen y que normalmente no han sido relevadas durante plazos razonables, sea por la necesidad de registros horarios no siempre disponibles o bien por la particularidad de limitaciones a determinadas latitudes.

En las regiones donde la duración del periodo diurno sufre variaciones estacionales considerables y la amplitud térmica es alta, se acentúa la diferencia de tipo de función que aproxima a la temperatura ambiente de día y de noche.

### MODELO FISICO

El modelo físico propuesto se puede plantear directamente por:

$$(dT/dt) = a(d^2T/dx^2) + (q/cp),$$
$$a = 1/cp,$$

a partir de la ecuación de la conducción del calor para la unidad de superficie del suelo, tendríamos un modelo unidimensional en el sentido de la vertical, con valores negativos hacia abajo. Si la temperatura ambiente se toma a escasa altura, se puede considerar que su evolución será similar a la de la superficie del suelo.

Resulta entonces que la temperatura correspondería a la ecuación siguiente:

$$(dT/dt) = a_1(d^2T/dx^2) + a_2(d^2T/dx^2) + qg(t)/cp + qp(T, T_c, t)/cp$$

en la que se considera el sentido positivo de la  $x$  hacia abajo, de manera que los valores incidentes  $qg$  sean positivos y los de pérdida  $qp$  negativos.

En la expresión:

- $a_1$  es la difusividad de la capa de suelo,
- $a_2$  es la difusividad de la capa atmosférica,
- $cp$  es el producto del calor específico resultante del suelo o del aire según el caso, y de su densidad,
- $T_c$  es la temperatura del cielo.

En realidad este modelo debería considerar el calor incorporado o disipado por masas de aire en movimiento, función poco predecible pues depende de la velocidad, dirección y momento en que sopla el viento, y es más, su origen que definiría su temperatura o entalpía.

De un simple análisis del modelo físico se desprende que no posee solución analítica, ya que el término de ganancia solar  $qg(t)$  es una función discontinua, y si tuviese un término que representase al viento este inconveniente aumentaría dado que además de ser su función discontinua, su ocurrencia responde a relaciones estadísticas y no analíticas.

Este modelo se podría resolver por métodos de diferencias finitas u otros, bajo determinadas condiciones, que no representan el objeto del presente trabajo.

Por otra parte en este modelo, para determinar la marcha de la temperatura, sería necesario conocer los valores de parámetros como  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $c$ ,  $p$ ,  $T_c$ , que no son relevados habitualmente.

Estas razones llevaron a no pretender resolver el modelo físico, sino en su lugar, simplemente considerarlo como guía para los modelos funcionales matemáticos de aproximación.

#### MODELO MATEMATICO FISICO

El hecho de plantear modelos matemáticos implica que al no partir de modelos físicos, la única forma de contrastación con las funciones relevadas en la realidad, es comprobar su correlación estadística. Este es el único camino disponible.

En lo sucesivo, toda validación del modelo propuesto tiene sólo correcciones y adaptaciones en función de la mencionada correlación estadística.

#### \* BASES PARA CONFIGURAR EL MODELO

El modelo necesario para las circunstancias en que se ve involu-

crado el C.E.V.Eq.U. se refiere fundamentalmente a encontrar un día medio mensual. En este sentido fueron dedicados la mayor parte de los esfuerzos, al no encontrarse tipos de día muy distintos, como podría ocurrir en la pampa húmeda. No obstante, el modelo resultante puede incluso ser usado para estas situaciones con los recaudos necesarios.

El hecho que los fenómenos de intercambio de calor durante el día y la noche contengan distinta cantidad de términos en el modelo físico, ha motivado la proposición de que las aproximaciones deben ser diferentes.

En latitudes donde la diferencia estival e invernal de la duración del día sea insignificante, se puede estimar que la marcha de la temperatura se adecua a series de funciones senoidales como las series de Fourier [1], cosa que no ocurre en estas latitudes. Esto ha sido un justificativo fundamental para la diferenciación de los lapsos en que las funciones de aproximación son válidas.

En lo que respecta a la influencia del viento, si bien ha sido una de las preocupaciones iniciales, no tiene mayor importancia cuando se trata de encontrar valores medios. Su influencia es puntual, en días definidos y momentos definidos, y no reviste importancia cuando se trata de buscar una marcha que represente a un lapso del orden de un mes.

#### \* RESUMEN DE PASOS SEGUIDOS

De un análisis preliminar de fajas de termógrafo de la zona, se observó que las funciones periódicas tipo senoidales planteaban cierta similitud con la marcha de la temperatura.

Por ello los esfuerzos fueron volcados inicialmente a las series de Fourier. La primer advertencia obtenida fue que al no ser iguales los periodos de la función diurna y la nocturna los términos a considerar debían ser más de cinco armónicas. No encontrando una forma de definir con sentido físico sus coeficientes, debió ser dejada de lado. La correlación del modelo presentado en [1] para nuestra región no obtuvo en ningún caso una correlación mayor que  $R=0,85$ , incluso al ser comparados con datos estadísticos [2], siendo en la mayoría menores que  $R=0,4$ .

Esto llevó también a plantear dos funciones diferentes: una de disipación y otra de ganancias y pérdidas, teniendo esta última una configuración de tipo senoidal.

Lo que se ha informado hasta aquí, en realidad ha sido la mayor parte del trabajo, aunque quizás la de menor resultado aparente.

Para configurar el modelo se han considerado varias situaciones de contorno para definirlo acabadamente. En esta tarea se continúa aún, pero no en el mismo ritmo, pues el modelo actual satisface a nuestras necesidades y en principio, sería extrapolable a otros sitios del país (lo que no es conclusivo aún).

#### \* INFERENCIA INDIRECTA DE PARAMETROS

Por lo visto en el modelo físico resulta imposible conocer las constantes que llevarían a conocer la marcha de la temperatura. Por esta razón se deben inferir las constantes que intervienen en el modelo de alguna otra manera.

Uno de los parámetros poco conocidos es el momento de ocurrencia de la temperatura mínima y otro el de ocurrencia de la temperatura máxima. Para conocerlo fué necesario realizar un programa estadístico de frecuencias de ocurrencias con datos de fajas de termógrafo. Esto definió que el momento más probable de ocurrencia de la temperatura mínima es una hora después del amanecer, aunque su variación es bastante amplia, entre una hora y media antes del amanecer y dos horas después. El momento de ocurrencia del máximo de temperatura ocurre casi siempre en la mitad del intervalo entre el mediodía solar y el ocaso.

En la función reviste gran importancia para su definición tanto la temperatura de cielo como la difusividad térmica del sistema, ninguna de las cuales es relevada habitualmente. Estos parámetros influyen en el exponente de la función de disipación. En la versión actual del modelo se tomó la temperatura de cielo cercana a 0 K y la constante de disipación k se definió en función de las temperaturas de amanecer y ocaso de la función diurna. Se está tratando de establecer una correlación entre la temperatura de cielo y la amplitud relativa entre el amanecer y la función nocturna.

#### \* MODELO RESULTANTE

De esta manera se llegó al modelo que figura más abajo y cuya representación gráfica identificando las funciones se vé en la figura (1).

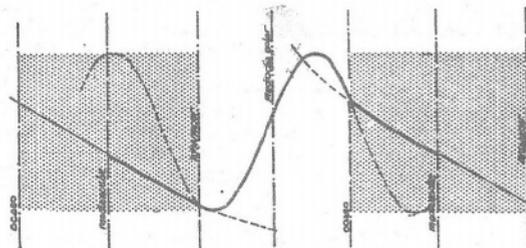


FIGURA 1

Las expresiones del modelo, diurna  $f_d(t)$  y nocturna  $f_n(t)$ , son las siguientes:

$$f_d(t) = [(T_m + T_M)/2] + [(T_m - T_M)/2] \cdot \cos[\pi(t - t_M)/(t_M - t_A)] \quad (K),$$

$$f_n(t) = f_d(t_D) \cdot \exp[-k(t - t_D)] \quad (K).$$

Donde:

$$k = [1/(86,4 - t_D)] \cdot \ln[f_d(t_D)/f_d(t_A)],$$

$t_D$  es la duración del día (ks),

$t_A$  es el momento solar del amanecer (ks),

$t_M = t_A + 3,6$  es el momento solar de ocurrencia de  $T_m$  (ks),

$t_M = 43,2 + (t_D/4)$  es el momento solar de ocurrencia de  $T_M$  (ks),

$T_m$  es la temperatura mínima del día (K) y

$T_M$  es la temperatura máxima del día (K).

En las figuras (2) y (3) se compara gráficamente la marcha de la temperatura real con las funciones del modelo para un día estival y otro invernal en la ciudad de Neuquén.

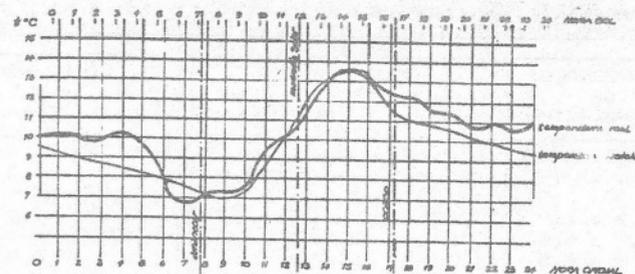


FIGURA 2. Neuquén, 16 de junio de 1986

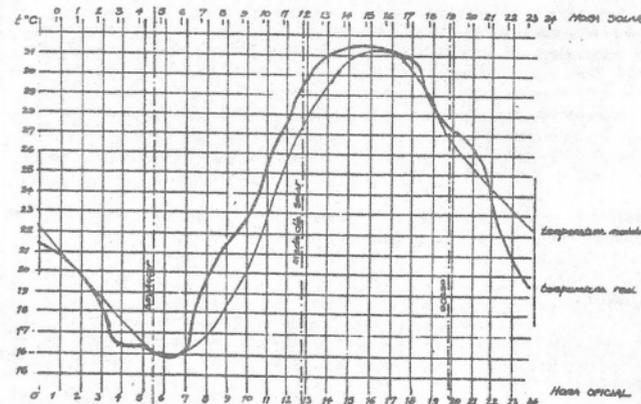


FIGURA 3. Neuquén, 14 de enero de 1986

#### \* VALIDACION DEL MODELO

El modelo fué contrastado con datos históricos relevados en localidades de la zona del Comahue. En la Tabla I se muestra el resultado obtenido en estas correlaciones. Cabe hacer notar que la influencia de factores esporádicos como el viento, son la causa mayor de la baja correlación en algunos días.

La contrastación del modelo con datos estadísticamente elaborados hora a hora, como era de esperarse, arrojó mayores porcentajes de altas correlaciones, Tabla 1. En estas correlaciones se aprecia que su concordancia diurna es mejor que la nocturna.

En ambos casos se separó la correlación por tipo de función amén de la total.

TABLA I

| PORCENTAJES DE CORRELACION |             |           |          |             |           |          |
|----------------------------|-------------|-----------|----------|-------------|-----------|----------|
| INTERVALO DE CORRELACION   | DIAS REALES |           |          | DIAS MEDIOS |           |          |
|                            | Diurna.     | Nocturna. | Dia-ria. | Diurna.     | Nocturna. | Dia-ria. |
| 1,0 a 0,9                  | 75,4        | 44,5      | 50,1     | 100,0       | 64,3      | 66,3     |
| <0,9 a 0,8                 | 15,4        | 18,3      | 27,8     | 0,0         | 35,7      | 33,7     |
| <0,8 a 0,7                 | 9,2         | 17,8      | 17,8     | 0,0         | 0,0       | 0,0      |
| <0,7 a 0,6                 | 0,0         | 8,9       | 4,3      | 0,0         | 0,0       | 0,0      |
| <0,6 a 0,5                 | 0,0         | 5,6       | 0,0      | 0,0         | 0,0       | 0,0      |
| <0,5 a 0,4                 | 0,0         | 0,0       | 0,0      | 0,0         | 0,0       | 0,0      |
| <0,4 a 0,3                 | 0,0         | 4,9       | 0,0      | 0,0         | 0,0       | 0,0      |

CONCLUSIONES

El modelo responde adecuadamente a las necesidades de la sistematización de datos climáticos fundamentalmente orientados para ser usados en balances heliotérmicos de edificios. Al no necesitar más que datos de temperaturas máximas y mínimas, habitualmente disponibles para la mayoría de las localidades, resulta sumamente útil. Los demás datos que necesita para su empleo son datos cosmográficos para los cuales sólo es necesario conocer las coordenadas geográficas de la localidad y la fecha del año.

La marcha nocturna de la temperatura puede ser corregida en un futuro para otros empleos del modelo.

REFERENCIAS:

1. J. V. Soares y otros. EFICIENCIA DE LA SERIE DE FOURIER PARA LA TEMPERATURA. *Experientiae*, Vol 27, N°11, UFV, Viçosa, Brasil, 1981.
2. J. R. Fucaraccio. DATOS CLIMATICOS PARA DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIONES TERMOMECAICAS. X Reunión de Trabajo de ASADES. Neuquén, 1985.

APENDICE

Las expresiones cosmográficas usadas son las siguientes:

$$\begin{aligned}
 tD &= (86,4/w) \cdot \arccos [-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta(n)] && (ks), \\
 tA &= 34,2 \cdot \{1 - \arccos [-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta(n)]\} / w && (ks), \\
 tB &= 34,2 \cdot \{1 + \arccos [-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta(n)]\} / w && (ks), \\
 \delta(n) &= 0,41 \operatorname{sen} [2 \cdot w \cdot (284+n) / 365,25] && (\text{rad}).
 \end{aligned}$$

Donde  $\varphi$  es la latitud del lugar (rad).  $\delta(n)$  es la declinación solar en el día n del año (rad),  
 $n = 17, 46, 75, 105, 135, 162, 199, 229, 259, 289, 319, 345$ , para los días medios de cada mes. en los que se produce la radiación media mensual extraatmosférica.