

APLICACIÓN PARA LA CIUDAD DE SALTA DE UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN HORARIA DE TEMPERATURA

Silvana Flores Larsen^(*) y Graciela Lesino^(**)
INENCO – UNSa – CONICET
Buenos Aires 177 – (4400) Salta – Argentina
TE: (54 387) 4255424 - Fax: (54-387) 4255489
Email: seflores@unsa.edu.ar

RESUMEN

En el presente trabajo se amplía la aplicación de un modelo existente de distribución de temperatura horaria para climas templados y fríos al caso de un clima subtropical, correspondiente a la ciudad de Salta, a partir del conocimiento de datos climáticos que se obtienen fácilmente, como son las temperaturas medias mensuales máxima y mínima, el índice de claridad K_t y la amplitud diurna de temperatura. También se propone una correlación regional para la ciudad de Salta, entre la variación diurna de temperatura del aire y el índice de claridad.

INTRODUCCIÓN

Existen en la actualidad varios programas para realizar cálculos de las necesidades energéticas o del comportamiento térmico de edificios. La mayor parte de dichos programas requieren como una de sus entradas los datos climáticos horarios de la localidad en que está emplazada la construcción, los cuales, en la mayoría de los casos, no son datos que se encuentren a disposición. Hay muchas localidades en las que no se lleva registro de las variaciones climáticas horarias, sino solamente temperaturas máxima y mínima diarias, horas de sol, porcentaje de cielo cubierto, etc.

La segunda dificultad que se presenta es el tiempo computacional requerido por los programas de cálculo para procesar largos archivos de datos horarios, en el afortunado caso de contar con ellos.

Se ha propuesto un método (Erbs et al., 1983) que permite estimar la variación horaria de la temperatura a partir de las temperaturas medias mínima y máxima de un mes determinado, y del índice medio de claridad K_T de dicho mes. Esta metodología, propuesta y verificada para climas fríos (Bahadori et al., 1986) y templados (Columba et al., 1991), se extiende ahora para ser aplicada a la zona de la ciudad de Salta.

DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS

Se utiliza una distribución periódica de temperatura (Bahadori et al., 1986):

$$T_a = T_m + A_t \sum_{i=1}^4 a_i \cos(it' - b_i) \quad (1)$$

en donde T_a es la temperatura ambiente horaria que se desea determinar, T_m es la temperatura media mensual cuyo valor es muy próximo a $0.5 (T_{m\acute{a}x} + T_{m\acute{i}n})$, A_t es la amplitud de la variación diurna de temperatura, a_i y b_i son coeficientes de ajuste y t' está dada por:

$$t' = \frac{2\pi}{24} (t - 1) \quad (2)$$

con t el tiempo en horas (12 al mediodía solar).

Cuando no se cuenta con la información de la amplitud A_t , se puede utilizar el índice de claridad \overline{K}_T para hacer una estimación. En efecto, se ha encontrado que dicha amplitud presenta una dependencia lineal con el índice de claridad (Erbs et al., 1983):

^(*) Becaria del CONICET

^(**) Investigadora del CONICET

$$A_t = A_1 \bar{K}_T + A_2 \quad (3)$$

en donde A_1 y A_2 son parámetros que dependen del lugar y el índice de claridad está definido como:

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad (4)$$

en donde \bar{H} es la radiación media mensual sobre superficie horizontal y \bar{H}_0 la radiación media mensual extraterrestre.

CORRELACIÓN PARA LA CIUDAD DE SALTA

La ciudad de Salta está a 1182 m. sobre el nivel del mar, ubicada a los 24°45' latitud Sur y a los 65°26' Longitud Oeste, con vegetación correspondiente a la clasificación de formación forestal subhúmeda de serranías.

Para calcular los parámetros A_1 y A_2 de la ecuación (3) se utilizaron datos proporcionados por la Red Solarimétrica Argentina (Grossi, 1997) sobre la radiación mensual media diaria global.

Los coeficientes resultantes son $A_1 = 99.29$ y $A_2 = 33.64$, con lo cual se obtiene la correlación:

$$A_t = 99.29 \bar{K}_T - 33.64 \quad (5)$$

válida para dicha localidad.

En el Gráfico 1 se puede observar la amplitud térmica A_t (°C) obtenida a partir de los datos del Servicio Meteorológico Nacional versus el índice de claridad. y la aproximación obtenida mediante el ajuste lineal de la ecuación (5).

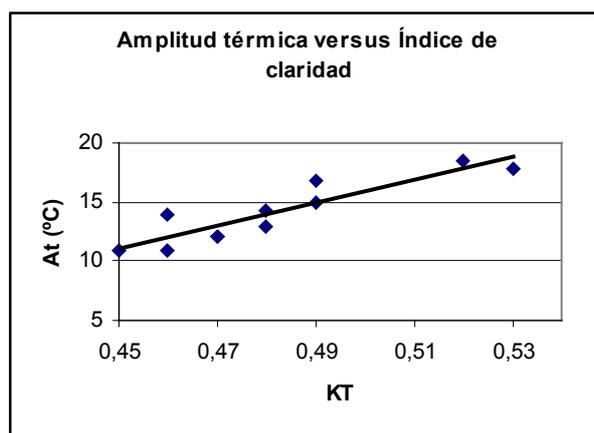


Gráfico 1. Amplitud térmica A_t en función del índice de claridad \bar{K}_T

En dicho ajuste no se tuvo en cuenta el punto correspondiente al mes de Junio, por estar éste muy alejado del comportamiento lineal presentado por el resto de los puntos.

En la Tabla 1 pueden observarse los datos de radiación media diaria global \bar{H} (en MJ/día), la radiación media diaria extraterrestre \bar{H}_0 (en MJ/día) y el índice de claridad \bar{K}_T correspondiente.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
\bar{H}	5.6	5.0	4.5	3.8	3.2	3.6	3.3	3.9	4.5	5.2	5.3	5.7
\bar{H}_0	42.5	40.0	35.4	29.3	24.1	21.5	22.6	27.0	32.9	38.2	41.7	43.1
\bar{K}_T	0.47	0.45	0.46	0.47	0.48	0.6	0.53	0.52	0.49	0.49	0.46	0.48
$T_{máx}$	27.9	26.4	25.0	22.8	21.4	19.6	20.3	22.7	24.4	26.2	27.6	28.2
$T_{mín}$	15.9	15.5	14.1	10.7	7.2	3.7	2.5	4.2	7.6	11.2	13.7	15.2
A_t	12	10.9	10.9	12.1	14.2	15.9	17.8	18.5	16.8	15	13.9	13
T_m	21.9	20.95	19.55	16.75	14.3	11.65	11.4	13.45	16	18.7	20.65	21.7

Tabla 1. Valores medios mensuales de temperatura y radiación

La temperatura media mensual T_m puede ser obtenida promediando la máxima y la mínima media mensual. Debido a que ambos valores están muy próximos uno del otro, la simplificación asumida no introduce un error de consideración.

Se utilizaron datos provistos por el Sistema Meteorológico Nacional correspondientes al período 1941-1980, los cuales se presentan también en la Tabla 1.

Los coeficientes a_i y b_i se obtienen haciendo un desarrollo en serie de Fourier de los datos medidos de temperatura y cortando la serie en el quinto término. Se trabajó con el período 1998-1999 de datos de temperatura tomados cada 15 minutos en la localidad de Salta.

Los coeficientes a_i y b_i adquieren los siguientes valores:

$$\begin{aligned} a_1 &= -0.4338 & b_1 &= 0.3959 \\ a_2 &= 0.1440 & b_2 &= -0.0863 \\ a_3 &= -0.3990 & b_3 &= -1.4375 \\ a_4 &= -0.0345 & b_4 &= -0.0255 \end{aligned} \quad (6)$$

Introduciendo estos valores de los coeficientes en la ecuación (1) se puede obtener la distribución horaria de temperatura, que dependerá de la amplitud térmica A_t :

$$T_a = T_m + A_t (-0.4338 \cos(t'-0.3959) + 0.1440 \cos(2t'+0.0863) - 0.3990 \cos(3t'+1.4375) - 0.0345 \cos(4t'+0.0255)) \quad (7)$$

Este desarrollo en serie de Fourier de cuatro términos propuesto por Erbs (Erbs et al., 1983) presenta un comportamiento ligeramente oscilante (de menos de 1 °C de amplitud) durante el período 1 PM a 6 PM, que puede ser corregido tomando más términos de la serie de Fourier. Sin embargo, dicha corrección introduce dificultades adicionales de cálculo sin contribuir notoriamente al comportamiento general de la función.

En la Tabla 2 se puede observar la distribución horaria de temperatura correspondiente a un día típico de cada uno de los meses del año, de acuerdo a lo que se obtiene utilizando la ecuación (1) con los correspondientes valores de los parámetros intervinientes. Para la elección del día típico se consideró la amplitud media y la temperatura media dada por la Tabla 1 para cada uno de los meses.

Hora	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1	18.4	17.8	16.4	13.3	10.2	7.1	6.3	8.1	11.1	14.4	16.6	17.9
2	18.3	17.7	16.3	13.2	10.1	6.9	6.1	8.0	11.0	14.3	16.5	17.8
3	18.3	17.6	16.2	13.1	10.0	6.8	6.0	7.8	10.9	14.1	16.4	17.7
4	17.8	17.3	15.9	12.6	9.5	6.3	5.4	7.2	10.3	13.6	15.9	17.3
5	17.2	16.6	15.2	12.0	8.7	5.4	4.4	6.1	9.4	12.8	15.2	16.6
6	16.8	16.3	14.9	11.6	8.3	4.9	3.8	5.6	8.9	12.3	14.7	16.2
7	17.4	16.9	15.5	12.2	9.0	5.7	4.8	6.5	9.7	13.1	15.5	16.8
8	19.3	18.6	17.2	14.1	11.2	8.2	7.5	9.4	12.3	15.4	17.6	18.9
9	22.0	21.0	19.6	16.8	14.4	11.8	11.5	13.6	16.1	18.8	20.7	21.8
10	24.7	23.5	22.1	19.5	17.6	15.3	15.5	17.7	19.9	22.1	23.8	24.7
11	26.6	25.2	23.8	21.5	19.8	17.9	18.4	20.7	22.6	24.6	26.1	26.8
12	27.6	26.1	24.7	22.5	21.0	19.2	19.8	22.2	24.0	25.8	27.2	27.9
13	27.9	26.4	25.0	22.8	21.4	19.6	20.3	22.7	24.4	26.2	27.6	28.2
14	27.8	26.3	24.9	22.7	21.3	19.5	20.2	22.6	24.3	26.1	27.5	28.1
15	27.4	25.9	24.5	22.3	20.8	18.9	19.5	21.9	23.7	25.6	27.0	27.6
16	26.5	25.1	23.7	21.4	19.7	17.7	18.2	20.5	22.4	24.4	25.9	26.7
17	25.1	23.9	22.5	20.0	18.1	15.9	16.1	18.4	20.5	22.7	24.4	25.2
18	23.5	22.4	21.0	18.4	16.2	13.8	13.8	16.0	18.3	20.8	22.6	23.5
19	22.2	21.3	19.9	17.1	14.7	12.1	11.9	14.0	16.5	19.1	21.0	22.1
20	21.4	20.5	19.1	16.2	13.7	11.0	10.6	12.6	15.3	18.0	20.0	21.1
21	20.8	20.0	18.6	15.7	13.0	10.2	9.8	11.8	14.5	17.3	19.4	20.5
22	20.2	19.4	18.0	15.1	12.3	9.4	8.9	10.9	13.7	16.6	18.7	19.9
23	19.5	18.8	17.4	14.3	11.5	8.5	7.9	9.8	12.7	15.7	17.9	19.1
24	18.8	18.2	16.8	13.7	10.7	7.6	6.8	8.7	11.7	14.9	17.1	18.4

Tabla 2. Distribución horaria de temperatura para días típicos de los meses del año

En los gráficos siguientes se pueden observar los datos de temperatura correspondientes a un día típico de Junio y otro de Enero, y los valores que se obtienen utilizando el modelo propuesto.

En el primer caso se eligió un día claro (con $K_T = 0.58$) y se puede observar una concordancia excelente entre los valores medidos y los proporcionados por el modelo. Para contrastar, se eligió un día de enero con alta nubosidad, observándose que

el modelo ajusta los datos medidos pero sin seguir con tanta exactitud el comportamiento aplanado durante las horas cercanas al mediodía solar, con lo cual se hace evidente la necesidad de hacer un análisis más detallado de lo que sucede con los parámetros a_i y b_i en el caso de días con bajo K_T .

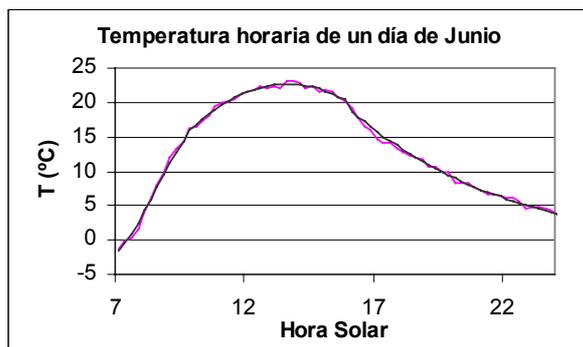


Gráfico 2. Datos horarios medidos y simulados para el día 13 de Junio de 1999

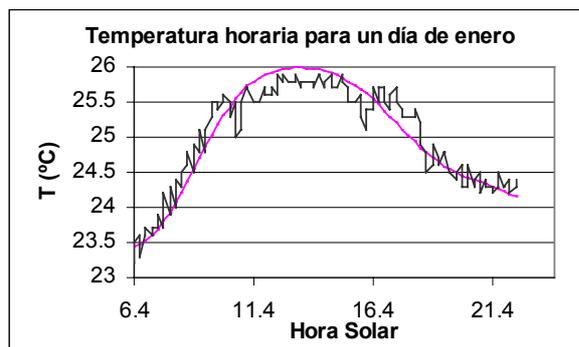


Gráfico 3. Datos horarios medidos y simulados para el día 7 de enero de 1999

CONCLUSIONES

Se ha presentado un modelo válido para simular la distribución horaria de la temperatura ambiente a partir del conocimiento de las temperaturas máxima y mínima, y oportunamente del índice de claridad K_T .

Si bien el período de un año es muy corto para obtener un modelo preciso del comportamiento horario de la temperatura ambiente, se puede concluir que el modelo propuesto permite hacer una estimación válida de dicho comportamiento. A medida que se vaya incorporando una mayor cantidad de datos horarios medidos, esta estimación podrá ser corregida y mejorada.

Como paso siguiente de futuras investigaciones, se pretende extender el análisis para una sola localidad aquí presentado a una zona más extensa de características climáticas generales similares.

Esto amplía la aplicación de la metodología propuesta inicialmente para climas templados y fríos. El método se presenta particularmente útil para su aplicación en análisis energéticos de edificios y en programas de simulación de comportamientos térmicos y requerimientos de energía de construcciones.

REFERENCIAS

- Bahadori M., Chamberlain M., 1986 , A simplification of weather data to evaluate daily and monthly energy needs of residential buildings, *Solar Energy Vol. 36 N° 6*, pp. 499-507.
- Erbs D., Klein S., Beckman W., 1983, Estimation of degree-days and ambient temperature bin data from monthly average temperatures, *ASHRAE Journal*, pp.60-65.
- Columba M., Barbaro S., Cannistraro G., Rizzo G., Applying reduced weather data to temperate climates for energy analyses of buildings, 1991, *PLEA '91 Architecture and Urban Space*, pp. 653-658.
- Grossi, H., 1997, Evaluación a nivel de superficie de la radiación solar global en la Rep. Argentina, *Universidad Nacional de Luján*, pp. 167.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado en el INENCO – Salta como parte del proyecto BID 802/OC – AR – PICT N° 13-00000-01895. Se agradece la colaboración del Sr. Ricardo Echazú para la obtención de los datos horarios de temperatura medidos para la localidad de Salta.