

OBTENCION DE LA CURVA DIARIA DE TEMPERATURA. APLICACION PARA EL CALCULO DE LOS GRADOS DIA DE CALEFACCION¹

Alvaro Mauro M. y Cristobal Ramirez P.

Dpto. Ingeniería Geográfica

Facultad de Ingeniería.

Universidad de Santiago de Chile

RESUMEN

A partir de los datos diarios de Temperatura Máxima, Temperatura Mínima , Temperatura de las 8horas y las 14 hora local se construye la curva diaria con datos horarios para cada día utilizando una función sinusoidal que describe la variación horaria de la temperatura.

Una vez construida la curva se define un umbral térmico a partir del cual se obtienen las diferencias acumuladas para un día denominadas Grados-día.

Para el presente estudio se definió un umbral de 18,3 °C y el cálculo de los grados-día, como una acumulación por debajo del umbral se utilizará para determinar la demanda de energía

INTRODUCCION

El rápido crecimiento urbano que nuestro país ha experimentado desde la década del 20 (censo del INE) ha incrementado la población de la capital por sobre los 5 millones de habitantes, industrializando y concentrando la población en el área metropolitana, provocando así una gran presión sobre los recursos y el medio ambiente. La presión ejercida sobre el medio se justifica para satisfacer todas las necesidades que el hombre posee, en una ciudad con las características de Santiago existe también,

¹ Esta ponencia forma parte del Proyecto Dicyt n° 9812MM

paralelamente entre muchas otras, una gran demanda de energía, sea esta realizada por las zonas industriales o por las residenciales.

Si se concentra la atención en la demanda de energía de las zonas residenciales y las alteraciones que sufre esta demanda al haber cambios en la temperatura ambiente, se observará que estos cambios térmicos provocan que el hombre intente alcanzar una temperatura que sea de su agrado ya sea por medio de la calefacción o ventilación afectando, de esta manera el consumo normal de energía.

El objetivo principal del estudio obtener la variación térmica diaria a través de la construcción de la curva diaria de temperatura de manera de calcular los grados -día que nos permitan saber cual es la demanda de energía en los eventos fríos del gran Santiago y cual es la implicancia económica asociada a este consumo.

ANTECEDENTES

El uso del término los grados-día de calefacción es una manera de indicar la cantidad relativa de energía calórica que podría usarse en una residencia. Cuando la curva diaria de la temperatura durante el día está por debajo de la temperatura umbral de referencia, definida internacionalmente como $18,3^{\circ}\text{C}$ (Givoni,1989) el número de grado-días de calefacción durante el día es la diferencia entre la temperatura umbral de referencia y las temperaturas de la curva que estén por debajo de ese valor durante el día. Este término indicaría la cantidad relativa de energía calórica que la residencia necesitaría durante ese día .

Se ha establecido que las casas modernas, con aislamiento mejor de paredes, las ventanas, y tejados, menos infiltración, requieren tener una temperatura umbral de referencia significativamente más baja.

Hay varios otros factores que influyen en los requisitos de energía durante un día dado, como ganancia solar, el calor guardado del día anterior, entre otros. La cantidad real de gas natural o gas licuado, electricidad y otras formas de energía usadas por un hogar para calentar y calefaccionar las habitaciones depende de varios factores. En primer lugar, del equipo calefactor, luego de las prácticas o costumbres del uso de la calefacción y por otro lado de las características de la construcción de la casa.

En Chile existen estudios relacionados al confort térmico asociado a la construcción de viviendas habitacionales y no desde la perspectiva climatológica ambiental. La mayoría de los antecedentes que podemos recopilar son de la experiencia extranjera, como lo son: el estudio de “confort humano” por Givoni 1989, Sánchez Carmona 1988 estudio sobre “Clima Urbano”, Sarmiento 1985 “Energía Solar. Aplicaciones e Ingeniería de Sistemas Pasivos” quien plantea un procedimiento para determinar la demanda de energía. Desde el plano nacional podemos nombrar el estudio realizado por Villarroel en 1997 sobre “Efecto de la expansión de la Ciudad de Santiago sobre la Temperatura ” y la tesis del año 1997 titulada “Propuesta para exigencia de calidad térmica en viviendas chilenas” de la Pontificia Universidad Católica de Chile de Víctor Manuel Campos Prieto.

En Chile existen pocos estudios similares al tema, es así como partes específicas de él se deberán abordar desde el plano internacional y otras desde estudios nacionales relacionados. Así, desde el plano internacional el estudio de “confort humano” por Givoni 1989, publicado en “Urban Design in Different Climates”, el autor plantea que la isla de calor provocada por la ciudad impacta el confort de la población como el consumo de energía ya sea para calentar o enfriar ambientes urbanos. Para determinar, tanto el confort de la población como el consumo de energía introduce el concepto de “grados-días”, el cual corresponde al número de grados por días que están por arriba o por debajo de un

umbral térmico definido en $18,3^{\circ}\text{C}$, que se van acumulando los periodos de calefacción cuando los valores son positivos ($T < 18,3$) y durante el periodo de enfriamiento cuando los valores son negativos ($T > 18,3$). Estas sumas permiten definir los grados de confort humano. Este concepto se utilizará para el determinar el grado de confort y la demanda energética .

Villarroel 1997 a través del estudio “Efecto de la Expansión Urbana sobre la Temperatura de Santiago-Quinta Normal”, aplico la variable de temperatura media diaria máxima y mínima desde 1860 a la fecha, determinando el efecto de la urbanización sobre el campo térmico, al encontrar que la serie de temperatura muestra un cambio a partir de la expansión de ciudad de Santiago en el área de Quinta Normal. Resultados obtenidos y la metodología serán empleados en esta investigación.

Sánchez Carmona 1988 en la publicación de la “OMM n° 652 sobre Clima Urbano” señala respecto del confort humano:

El organismo humano constituye un sistema homeotérmico, es decir, que para su correcto funcionamiento necesita mantener una temperatura constante de alrededor de 37°C . Cuando el medio ambiente presenta temperaturas que alteran este valor, entonces el ser humano, en general, reacciona frente a estas situaciones climáticas que le son incómodas o poco gratas. Para esto el cuerpo presenta termoregulaciones basadas entre las interacciones de la piel y su entorno. La sensación de frío o calor depende de la intensidad con que estén funcionando los recursos de termoregulación, los cuales dependen a su vez de un limitado numero de variables microclimáticas.

En relación a la demanda energética Sarmiento 1985 plantea el siguiente procedimiento para determinar la demanda de energía:

Se debe determinar las pérdidas de calor desde las casas o edificios hacia el medio ambiente. Luego señala que para los efectos de calefacción o ventilación, la experiencia señala que cuando la temperatura ambiente está por debajo de $18,3^{\circ}\text{C}$, entonces es necesario calefaccionar. Cada grado promedio diario bajo este valor se designa como grado-día, el que se usa como unidad de calefacción. Luego plantea una fórmula para calcular las necesidades de energía, en función de la temperatura exterior, la densidad del aire, el calor específico del aire, entre otros.

Metodología

La metodología y técnicas a emplear serán:

1.-Recopilación de datos termométricos medios mensuales de las 00UTC, de las 12UTC, máximas y mínimas de la región Metropolitana.

2.-Generación de campos térmicos medios derivados

Para el cálculo de parámetros derivados se utilizarán las siguientes técnicas:

a- La temperatura media mensual según el método de Villarroel (1997)

b- Los grados-día sobre la base de $18,3^{\circ}\text{C}$ o umbral de confort según Givoni (1989)

3.-Generación de mapas climáticos

Se utilizará el método de las isolíneas para generar los siguientes mapas temáticos:

a.- Temperaturas medias mensuales.

b.- Temperatura máxima media mensual.

c.- Temperatura mínima media mensual.

d.- Grados-día medios mensuales.

g.- Horas de frío medias mensuales.

h.- Demanda de energía.

3.- Análisis espacial y temporal de las demandas de energía.

ANALISIS Y RESULTADOS

1. La extracción de datos se realizó en la Dirección Meteorológica de Chile, DMC, ubicada en las dependencias del Aeropuerto Arturo Merino Benitez, los datos obtenidos fueron de las estaciones meteorológicas de Quinta Normal, Los Cerrillos y Tobalaba, del periodo 1989 a 1998 para las dos primeras y 1996 1997 para la última. Las variables observadas fueron las temperaturas mínimas, máximas, de las 12:00 y 18:00 horas UTC (8:00 y 14:00 horas locales).
2. Los datos fueron digitalizados en una planilla excel para cada estación de observación.
3. Cálculo de los G°-día para las estaciones de observación principales.

Este procedimiento se utilizó para las estaciones de Quinta Normal, Los Cerrillos y Tobalaba este cálculo se realizó por medio de una planilla electrónica ingresando los días del mes, asociando a cada día 4 datos reales, estos son: las temperaturas máximas, mínimas, de las 12:00 y 18:00 horas UTC, con estos cuatro datos reales se calculan las constantes **a**, **b** y la *temperatura media(TM)*, por día, para la siguiente fórmula:

$$T_{(t)} = TM + [a (\cos pt / 12) + b (\sen pt/12)] \quad (1)$$

La formula describe la curva de variación horaria de la temperatura, donde $T_{(t)}$ es la temperatura dependiente de la hora, **TM** es la temperatura media del día, **t** es la hora, **a** y **b** son constantes para cada día

Ejemplo:

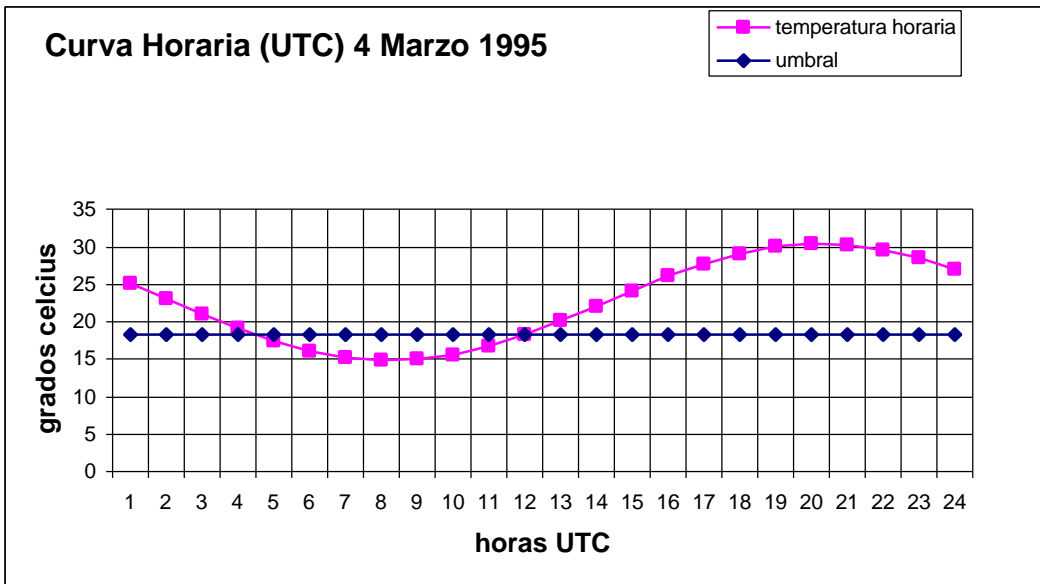


Figura 1

Si maximizamos y minimizamos la función obtendremos que:

$$T_{\text{máx}} = TM + \sqrt{(a^2+b^2)}$$

$$T_{\text{mín}} = TM - \sqrt{(a^2+b^2)}$$

$$T_{12:00} = TM - a$$

$$T_{18:00} = TM - b$$

Con estas formulas se podrán despejar las variables TM, a y b, de esta manera aplicar la formula (1) completa para generar las temperaturas horarias (virtuales) del día.

La tabla siguiente muestra los resultados en la estación de observación los Cerrillos, aquí se muestran los datos de entrada, las constantes obtenidas y los grados-día acumulados entre el 1º y 5 de enero del 98.

Estación CERRILLOS							
Año 1998							
Enero							
Día	T Max	T Min	T°12	T°18	b	a	TM
1	29,7	11,8	16,7	27,7	-7	4,1	20,75
2	31,2	12,5	19,8	30,0	-8,2	2,1	21,85
3	32,6	15,4	20,0	31,2	-7,2	4	24
4	32,0	13,4	21,0	31,3	-8,6	1,7	22,7
5	31,2	15,9	21,0	29,4	-5,9	2,6	23,55

Ya calculadas las constantes se generan temperaturas virtuales, una para cada hora del día, luego se comprueba si cada una de estas temperaturas es menor que 18,3°C (condición) umbral de confort, si es así, se registra la **diferencia** entre el umbral y la temperatura virtual, si se observa la figura 1 se ven ambas curvas, la idea es calcular el área del gráfico donde la curva de temperatura horaria esta por debajo de la curva de umbral, el procedimiento para calcular esta área es la comparación y el registro de las temperaturas virtuales calculadas que cumplan la condición, posteriormente se suman todas las diferencias de un día, a estas **diferencias acumuladas** para un día se denominará grados-día, posteriormente sumaremos los G°-día para obtener la acumulación del mes.

4. Se reconstruyó la serie de datos faltantes para la estación de Tobalaba por medio del método de las RAZONES, en este proceso se utilizó Los Cerrillos como estación secular.

En una primera instancia calculamos los grados-día para la serie existente de Tobalaba (periodo 96-97), se tomaron las constantes diarias **TM**, **a** y **b**, luego se dividieron las constantes por las correspondientes al mismo periodo de Los Cerrillos, así se generaron dos factores uno del 96 y otro del 97, luego se promediaron para tener sólo un número, de esta manera se generó un factor de corrección para cada temperatura denominado **a** (Temperatura media, a, b), luego con este factor se multiplicaron las temperaturas de Los Cerrillos para los años 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, y 98 obteniendo las constantes diarias que faltaban de Tobalaba.

$$\text{Matemáticamente : } \frac{T(\text{to})}{T(\text{ce})} = \mathbf{a}$$

$$\text{Luego : } T(\text{to}) = T(\text{ce}) * \mathbf{a}$$

Donde:

T(to)= temperatura de Tobalaba

T(ce)= temperatura de Cerrillos

α = factor de corrección

Este procedimiento se utilizó para el cálculo de la temperatura media, a y b de cada día para los años mencionados.

Las siguientes tablas (1 y 2) muestran los cálculos realizados:

Tabla 1

	1996		1997		Factor96	Factor 97	Factor
EN	TOB	T°	TOBT°	CER	T°	CER	T°
E	media		media	media		media	
1	21,4		22	22,55		22,5	
					0,949002	0,977777	0,9633899
					22	78	98

Tabla 2

		Ce 89	Tob 89	Ce 90	Tob 90
ENE	Factor promedio	T° media	T° media	T° media	T° media
1	0,963389998	24	23,1213599	22,8	21,9652919

Nota: Temperatura media en grados Celsius.

Esta es la forma de como se procedió en la planilla excel para reconstruir las constantes de Tobalaba, este es solo un extracto ilustrativo en el que podemos observar el procedimiento para calcular las temperaturas medias del día 1° de Enero para los años 89 y 90, de la misma manera se procedió con las constantes a y b, rellorando estos tres valores para todo el periodo (89-98) se logra calcular los Grados-día para la estación de Tobalaba.

Debido a que la acumulación de los grados-día varía demasiado dependiendo de la temporalidad de las temperaturas (constantes) a, b ya sean estas mensuales o diarias, se realizó el cálculo con las constantes diarias, ya que la diferencia encontrada entre realizar el cálculo con las constantes diarias y las mensuales varía desde 15 grados por mes en verano a cerca de 350 en invierno, dependiendo del año, lo que es realmente significativo.

Como ejemplo, la tabla 3 muestra las diferencias de grados-día acumulados por mes, siendo estos calculados con constantes mensuales o diarias, esta es del año 1989 para la estación de Los Cerillos.

Tabla 3

a, b mensuales		A, b diarios		Diferencia de G°-DIA ACUMULADO MENSUAL
TABLA ANUAL CE 1989		TABLA ANUAL CE 1989		
MES	G°-DIA	MES	G°-DIA	
Enero	1008,17737	Enero	1023,202451	15,0250807
Febrero	888,572374	Febrero	951,257218	62,6848441
Marzo	2098,29018	Marzo	2142,86015	44,5699704
Abril	2977,9212	Abril	3263,865728	285,944526
Mayo	4994,69095	Mayo	5335,65825	340,967303
Junio	5807,85038	Junio	5991,362029	183,511649
Julio	6564,95954	Julio	6770,296942	205,337399
Agosto	5572,71658	Agosto	5809,508794	236,792213
Septiembre	4639,75346	Septiembre	4804,505062	164,7516
Octubre	3041,30747	Octubre	3206,947084	165,639613
Noviembre	1431,77436	Noviembre	1718,348006	286,573647
Diciembre	993,284961	Diciembre	1057,809914	64,5249535

Debido a estas diferencias es que las constantes para Tobalaba fueron rellenas diariamente con el fin de eliminarlas y poder aumentar el grado de certeza en los cálculos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Givoni 1989, Estudio “confort humano” en “Urban Desing in Different Climates”

Villarroel, L. 1997. Estudio “Efecto de la Expansión Urbana sobre la Temperatura de Santiago-Quinta Normal”,.

Sánchez Carmona. 1988. Estudio “Clima Urbano” en la publicación de la “OMM n° 652

Sarmiento 1985 .Texto “Energía Solar. Aplicaciones e Ingeniería de Sistemas Pasivos” de

Prieto, V. 1997. Tesis “ Propuesta para calidad térmica en viviendas chilenas” Pontificia Universidad Católica de Chile.