

METODO PARA EL CALCULO DE GRADOS DIA DE CUALQUIER TEMPERATURA BASE Y CUALQUIER LOCALIDAD

Alfredo Esteves, Daniel Gelardi

Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas
Universidad de Mendoza
Av. Aristides Villanueva 773 - 5500 Mendoza – Argentina
Tel./Fax: 54 (0) 261 4202017 int. 150
e-mail: alfredo.esteves@um.edu.ar ó daniel.gelardi@um.edu.ar

RESUMEN: Los grados-día de calefacción constituyen una herramienta muy útil para tomar en cuenta las necesidades de conservación de energía de una localidad. Cuando se quiere utilizar los recursos energéticos renovables para el acondicionamiento térmico de edificios, es necesario contar con un balance térmico ajustado, de manera que el costo de los sistemas solares no sea excesivo y a la vez, sea suficiente para cubrir las necesidades de calefacción. Se presenta en el trabajo una ecuación que permite obtener la cantidad de grados-día mensuales en base a la diferencia entre la temperatura media exterior del mes y la temperatura base. Los valores obtenidos se comparan con los obtenidos por el método de Erbs y se concluye con que el grado de ajuste es satisfactorio ($R^2 = 0.99$). Se presenta también la comparación con valores de grados-día horarios obtenidos de mediciones de temperatura para la localidad de Mendoza con una frecuencia de 15 minutos, en este caso, el grado de ajuste resulta con un $R^2=0.97$.

Palabras clave : calefacción, conservación de energía, temperaturas mínimas, grados-día de calefacción.

INTRODUCCIÓN

En un trabajo previo (Esteves et al., 2001) se indica la necesidad de desarrollar métodos para la docencia de manera de hacer más concientes a los jóvenes que se integran al medio profesional y productivo, para que los edificios que se construyan tengan un contenido de sustentabilidad en el corto o mediano plazo. En otro trabajo (Gelardi et al, 2002) se indica cómo estos conocimientos pueden transferirse a los estudiantes mostrando casos de transferencia didáctica concreta en la arquitectura sustentable.

En este sentido, se desarrolló un programa de optimización de proyectos de arquitectura basado en el balance térmico que fue presentado anteriormente (Esteves et al., 2003) que tiene la característica de hacer aportes para el entendimiento de las distintas variables que se conjugan en el comportamiento térmico del edificio. Estas variables se pueden agrupar en: el clima, la forma, balance de calefacción (incluye sistemas solares pasivos y auxiliar) y balance de enfriamiento del edificio. Cabe destacar que se parte ya de un anteproyecto del edificio sobre el cual se trabaja y se trabaja respecto de la optimización del mismo.

En el proceso proyectual, antes de cualquier intervención es necesario fijar las variables del clima, para lo cual, existen varias formas de mostrarlas: temperaturas reinantes, diagramas bioclimáticos, diagramas de Nicol (Roaf, 2003), o los Grados-día de Calefacción (GDC) en el cual, el edificio va a estar inserto. Una de las variables más importantes son los grados-día de calefacción que son aquellos que representan la diferencia entre una temperatura interior (denominada temperatura base) y la temperatura exterior, sumadas para un período de tiempo determinado (mes o año) y dan idea de la rigurosidad.

Incluso hay varios trabajos que los incluyen como variable independiente cuando se quiere conocer otros parámetros característicos de la localidad, tales como son la Temperatura de Diseño de Invierno o los espesores de aislación térmica a incorporar en los edificios.

Para determinar el consumo energético es necesario contar con el valor de los grados-día de calefacción, que se combina con el Coeficiente Neto de Pérdidas (CNP), para el cálculo de la energía consumida anual (Reynolds et al., 1992). Existe una norma IRAM (norma IRAM 11604) que posee una metodología que los incluye también para calcular la cantidad de energía que el edificio va a consumir anualmente.

Desde el punto de vista de la docencia, la ventaja que tiene utilizar los grados día radica en que, a través de este simple número, se puede conocer la rigurosidad de la situación climática del lugar. Por ejemplo en la Tabla 1, se muestran valores de GDC para distintas localidades de la provincia de Mendoza, Argentina.

Tabla I – Grados Día de Calefacción para distintas localidades de Mendoza - Argentina

Localidad	GDC [°C.día/año]
Chacras de Coria	1516
Dagoberto Sardina	1628
Mendoza (Observatorio)	1384
Uspallata	2648
Villavicencio	2779
San Rafael	1516
Rama Caída	1631
Malargüe	2595
La Consulta	1847
San Carlos	2112
General Alvear	1485

Se puede observar que Mendoza (Observatorio) cuenta con la mitad del valor correspondiente a Malargüe y esto significa que el mismo edificio construido en uno y otro lado, consumirá el doble de energía, por lo tanto, la propuesta del proyectista del edificio debería tener en cuenta un nivel de conservación de energía que tome en cuenta esta situación climática.

METODOLOGÍA PARA OBTENCIÓN DE LOS GDC

Para el cálculo de los mismos, se toma en consideración los datos de temperaturas horarias exteriores, computando los grados-día a través de la sumatoria de la diferencia de temperatura tal como indica la ecuación (1).

$$GD\ 18 = \Sigma^+ (T_b - T_a) = \quad [1]$$

Donde:

GD 18 = indica los grados-día para $T_b = 18C$ en [C.día/mes]

Σ^+ = Sumatoria únicamente para los valores positivos

T_b = temperatura base interior [C]

T_a = temperatura media diaria del aire exterior [C]

En esta sumatoria hay algunas consideraciones que deben ser tenidas en cuenta. La temperatura del aire exterior, es la temperatura media del día, T_a . Ahora bien, en localidades de alta amplitud térmica, como son los climas del Centro-Oeste de Argentina, que aunque la temperatura media del día se encuentre encima de este valor (y la sumatoria de la ecuación (1) arroje valores negativos, por lo tanto, no se tenga en cuenta la misma), existen horas en las cuales, la temperatura se encuentra por debajo de la temperatura base y por lo tanto, se requiere de calefacción y no son tenidas en cuenta en esa ecuación. Por lo tanto, se prefiere el planteo de la ecuación (2):

$$GD\ 18 = \Sigma^+ (T_b - T_{ah})/24 = \quad [2]$$

Donde:

GD 18 = indica los grados-día para $T_b = 18C$ en [C.día/mes]

Σ^+ = Sumatoria únicamente para los valores positivos

T_b = temperatura base interior [C]

T_{ah} = temperatura horaria del aire exterior [C]

Para tomar en cuenta esta situación, se han trabajado varios métodos estadísticos, de modo de tener en cuenta en el valor total de GDC, los valores horarios de esos días especiales. Uno de los métodos más utilizados es el de Erbs (Erbs,1987), que a partir de la temperatura media y la dispersión entre la máxima y la mínima, y varios pasos, se puede determinar su valor. La Figura 1 muestra un gráfico con los grados-día mensuales para la Ciudad de Mendoza.

MÉTODO PROPUESTO

Se ha desarrollado un método que permite su cálculo a través de una simple ecuación. Su expresión se indica en la Ecuación 3 y su desarrollo se muestra en la Figura 1.

$$GDC = -0.0274(T_b - T_a)^3 + 1.1447(T_b - T_a)^2 + 16.653x + 46.369 \quad (3)$$

$$R^2 = 0.9979$$

Donde:

GDC= Grados-día de calefacción mensual [C.día/año]

Tb = Temperatura base [C]

Ta = Temperatura media del aire exterior [C]

R^2 = cuadrado del coeficiente de correlación.

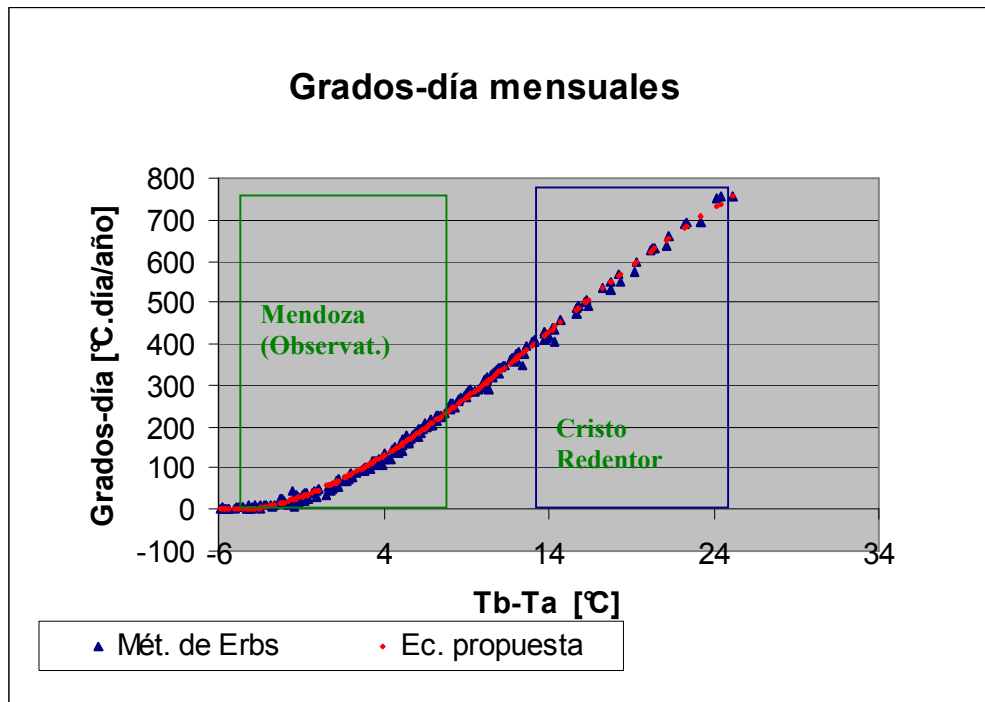


Figura 1: valores de GDC mensuales en función de Tb-Ta. Para Mendoza Tb-Ta desde -4.5C hasta 10.2C. Para Cristo Redentor Tb-Ta desde 14.4C hasta 25.2C.

La Figura 1 muestra los valores resultantes de su ecuación expresada en función de la diferencia de temperatura entre la temperatura base interior que se quiere lograr y la temperatura media diaria exterior. Como se puede apreciar, esta ecuación incluye los valores de GDC para cualquier localidad. Así, el rectángulo verde indica los valores de GDC para Mendoza que posee GDC anuales =1384C.día/año, y el rectángulo azul abarcativo de la situación reinante en Cristo Redentor (la localidad más fría del país) con valores de GDC anuales = 7150 C.día/año.

Corroboración de la ecuación

Para corroborar los valores obtenidos, se han realizado dos acciones. Por un lado, se han contrastado los valores tomando en cuenta los valores obtenidos por el método de Erbs y por otro, se han contrastado los valores tomando en cuenta mediciones hora a hora realizados en el predio del CCT-Conicet Mendoza, Ex Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Mendoza (CRICYT-Me).

La Figura 2 muestra los valores obtenidos utilizando la ecuación propuesta en función de los valores obtenidos mediante la metodología de Erbs para los mismos valores de temperatura.

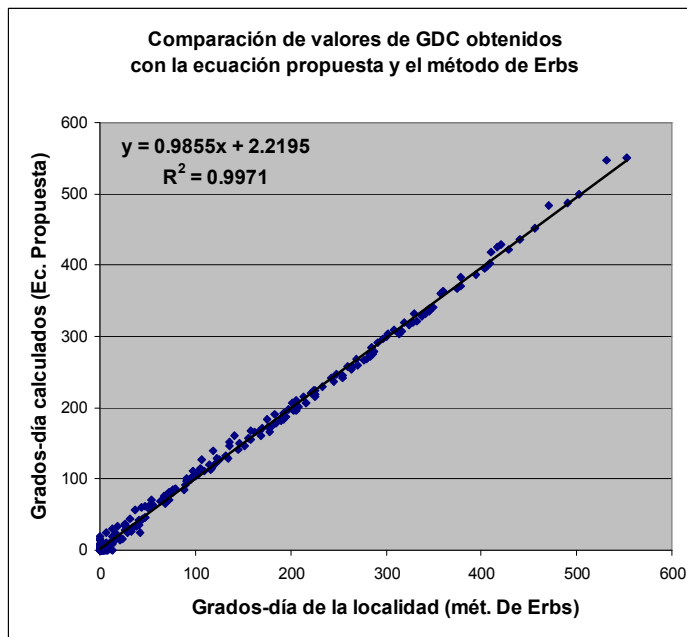


Figura 2: comparación de valores obtenidos por el método de Erbs y la ecuación propuesta.

Como se puede observar, el Coef. De Correlación es de 0.9993 y el R2 0.9971, lo cual indica un ajuste general suficientemente elevado como para considerar esta ecuación toda vez, que se requiera calcular los grados-día y no se dispongan de valores extremos.

Corroboración de valores puntuales en base a mediciones mensuales

Se ha realizado la corroboración de los valores del método tomando en cuenta valores de temperatura medidos cada 15 minutos. Luego se sumaron las diferencias entre la temperatura base y los valores de temperatura resultante. Se calculó también el valor medio de la temperatura del mes y en base a este valor se calcularon los grados-día de calefacción por el método de Erbs y por el método propuesto. La expresión de los resultados se indican en la Figura 3 para $T_b = 18C$, en columnas para cada método: valores sumados hora a hora, valores obtenidos por el método de Erbs y por el método propuesto y en la Figura 4 para $T_b = 16C$ como ejemplos de la aplicación del método.

En la Figura 5 se han incluido los valores totales mensuales de grados-día calculados a partir de las mediciones hora a hora y a partir del cálculo por la expresión propuesta.

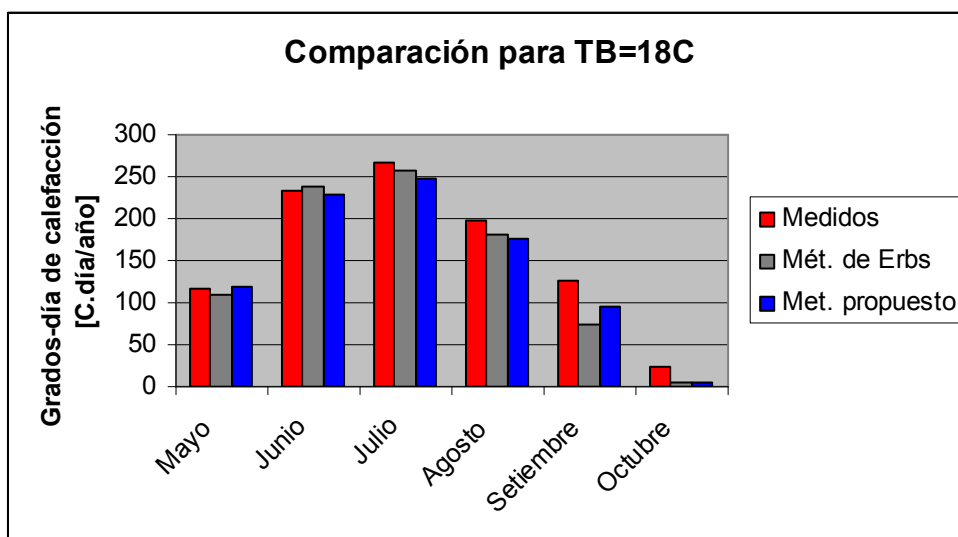


Figura 3: valores de grados-día mensual: a) medidos, b) por Erbs, c) por ec. propuesta.

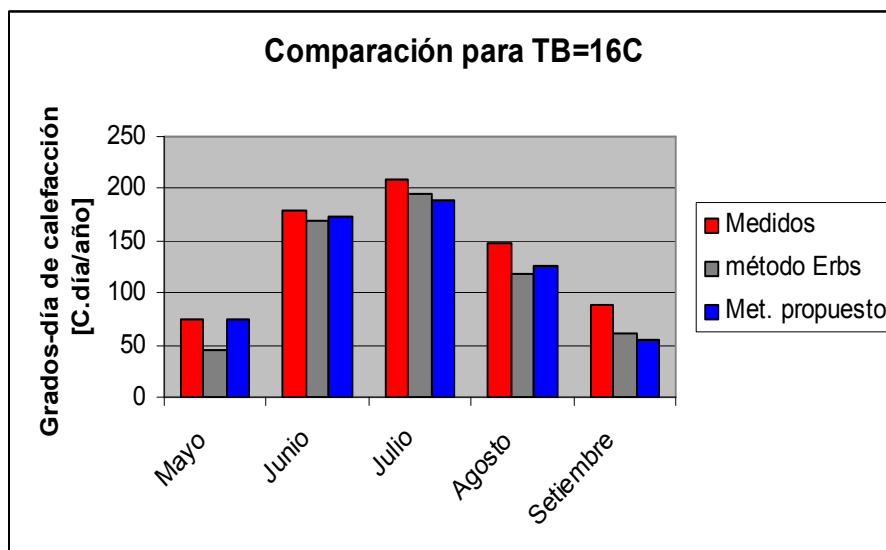


Figura 4: valores de grados-día mensual: a) medidos, b) por Erbs, c) por ec. propuesta

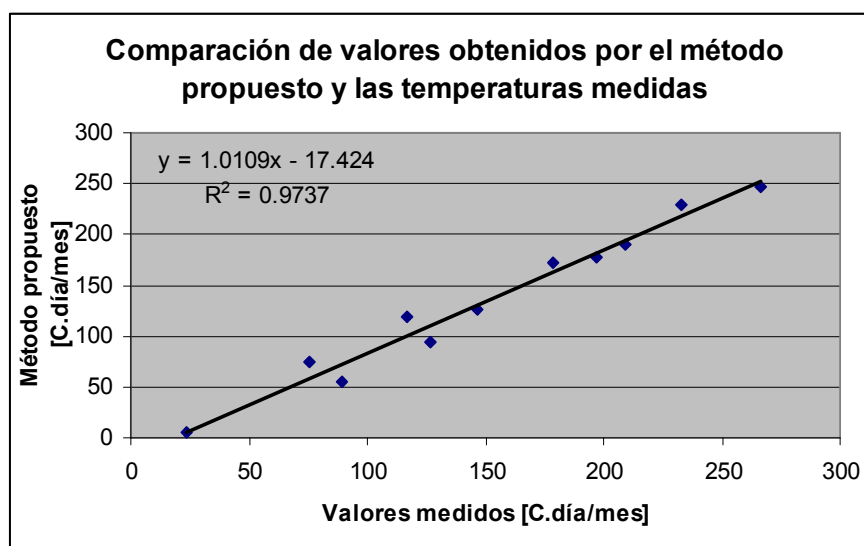


Figura 5: Comparación de valores entre valores medidos y método propuesto

CONCLUSIONES

Como se puede apreciar, el cálculo tomando en cuenta las temperaturas horarias o tomando en cuenta los valores mensuales arrojan un cómputo de los grados-día muy confiable y en algunos casos, da valores mejores que por medio del método de Erbs. Donde más discrepancia arrojan son cuando el mes resulta cálido y por lo tanto, la cantidad de grados-día resulta de la suma de algunas horas solamente. En este caso, tanto el método de Erbs como el método propuesto da valores menos ajustados. Es el caso del mes de setiembre que tiene para $T_b=16C$, grados-día de calefacción igual a 89.1 C.día/año; por el método de Erbs se obtienen 61.2 C.día/año y por el método propuesto 54.5 C.día/año (error de 34.9%). Sin embargo, estos casos representan situaciones muy poco frecuentes en el año, estas diferencias que ocurren solamente 2 o 3 veces en el año, representan un error menor al 8%, con el consecuente beneficio de: utilizar una sola ecuación para todos los casos y de disponer de un medio para calcular los grados-día sin necesidad de contar con temperaturas hora a hora de la localidad en cuestión, ni de valores extremos.

REFERENCIAS

Erbs D.G. (1987). "Degree Day for Variable Base Temperatures". Proceedings of International Solar Energy Society (ISES). Vol. N° 6, pp. 387-391. Ed. J. Hages and W.Kollar.

- Esteves A., Gelardi D., Ganem C. 2001. "Método Sencillo de Cálculo del Area Colectora de Sistemas Solares Pasivos en Edificios en Etapas de Prediseño. Adaptado Para Enseñanza de Grado". *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* . Vol. 5, pp. 10-01/05. 2001. ISSN 0329-5184. Ed. ASADES. Salta.
- Esteves A., Gelardi D. 2003. "Docencia En Arquitectura Sustentable: Programa de Optimización de Proyectos de Arquitectura Basado en el Balance Térmico". *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 7, Ed. En CD ISSN 0329-5184. Tomo II, Secc. 10, pp. 31-36.
- Gelardi D., Esteves A. 2002. "Transferencia de Conocimientos en la Investigación una Experiencia Didáctica de la Arquitectura Sustentable". *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 6, pp. 10.49. ISSN 0329-5184. Ed. ASADES. Argentina
- Goulding J.R., Owen Lewis J., Steemers T.C.1994. *Energy in Architecture - The European Passive Solar Handbook*. Cap 4: Thermal Comfort, pp. 63. School of Architecture. University of Dublin. IRL.
- IRAM 11603. Instituto de Racionalización Argentino de Materiales.
- IRAM 11604. Instituto de Racionalización Argentino de Materiales.
- Roaf Susan. 2003. *Ecohouse 2*. Architectural Press. Inglaterra.
- Stein B., Reynolds J.S. 1992. *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*. J.Wiley, 8va. Edition.

ABSTRACT: Heating Degree-Days are an usefull figure to take in consideration energy conservation level of building in any place. A simple method for calculate Monthly Heating Degree-Days as function of the difference between base temperature and exterior mean temperature are presented. The correlation index is very high $R^2=0.99$ when it is compared with Erbs statistical method, and $R^2=0.97$ when it is compared with measures of temperatures with 15 minutes as interval of time. From this situations, it is possible to use for made calculation in several programs that include it. Furthermore, it is possible to calculate Heating Degree Days for those localitation that do not have extreme temperatures registered.

Keywords: heating, energy conservation, minimal temperatures, Heating Degree-Days.