



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILIS TOGA. 1948

Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial

Departamento de Energía

Trabajo de diploma

Título: Comparación de métodos de obtención de grados-día y obtención de un Año Típico-grados-día.

Autor: Yunior García Gálvez

Tutor: Msc. Ovidio Rodríguez Santos

Santa Clara

2017



Pensamiento

*Los hombres libres pueden morir, pero no habrá
fuerza ni dinero en el mundo capaces de
convertirlos en esclavos.*

Fidel Castro Ruz



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de
Departamento donde se
defiende el trabajo

Agradecimientos

A mi madre y padre, por ser guías en mi camino y por sus sacrificios durante estos 5 años de estudio.

A mi familia por el apoyo brindado.

Al profesor Ovidio Rodríguez Santos por la ayuda brindada durante la realización de este documento.

A todos aquellos profesores que han participado en mi formación académica.

A mis amigos por ser parte de 5 años de mi vida y por los buenos momentos que pasamos juntos.

A todas aquellas personas que de una u otra manera son parte de este momento.

Resumen

En el presente trabajo se realiza una comparación de dos métodos de obtención de los grados-día vs los grados-día reales: el desarrollado por investigadores del Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales y el realizado por Schoenau y Kehrig. Esta comparación se efectúa para validar la metodología de cálculo del primer método con el objetivo de obtener, mediante su uso, un Año Típico-grados-día para la ciudad de Santa Clara. Se utilizan datos aportados por el Instituto de Meteorología para dicha ciudad. Con la utilización del Excel se evaluaron los errores introducidos por ambos métodos, con respecto a los grados-día reales, mediante el uso de la Media del Error y la Raíz del Error Cuadrático Medio. La comparación se realiza para los meses de verano e invierno por ser los meses más significativos del año.

Abstract

In the present work a comparison of two methods of obtaining degrees-day vs through degrees-day is made: the one developed by researchers of the Center of Energy Studies and Environmental Technologies and the one realized by Schoenau and Kehrig. This comparison is made to validate the methodology of calculation of the first method with the objective of obtaining, through its use, a Typical Year-degrees-day for the city of Santa Clara. Data provided by the Institute of Meteorology for that city are used. With the use of Excel, the errors introduced by both methods, with respect to the actual degree-days, were evaluated using the Mean of Error and the Root of the Mean Squared Error. The comparison is made for the summer and winter months for being the most significant months of the year.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1. Caracterización del método grados-día.....	4
1.1. Usos principales de los grados-día.....	4
1.2. Temperatura base.....	5
1.3. Métodos de obtención de los grados-día.....	5
1.3.1. Metodología tradicional para el cálculo de los grados-día.....	6
1.3.2. Método horario o ideal.....	6
1.3.3. Método de temperatura media diaria propuesta por la ASHRAE.....	8
1.3.4. UKMO Método de temperatura máxima y mínima.....	8
1.3.5. Modelo propuesto por Schoenau y Kehrig.....	9
1.3.6. Método para el cálculo de los grados-día según Erbs.....	10
1.3.7. Método propuesto por investigadores del CEETA.....	11
1.4. Caracterización del Año Meteorológico Típico.....	14
1.4.1. Métodos para la obtención de los AMT.....	14
Capítulo 2. Comparación de ambos métodos y obtención del Año Típico-grados-día.....	16
2.1. Descripción de los parámetros de entrada.....	16
2.1.1. Temperaturas máximas y mínimas y la temperatura media.....	16
2.1.2. Desviación estándar.....	17
2.2. Obtención de las temperaturas base.....	17
2.3. Obtención de los grados-día reales.....	18
2.4. Obtención de los grados-día de refrigeración utilizando ambos métodos.....	20
2.5. Obtención del error.....	21
2.6. Comparación de los errores introducidos por ambos métodos.....	22
2.6.1. Comparación para los meses de invierno.....	23
2.6.2. Comparación para los meses de verano.....	26
2.7. Obtención del Año Típico-grados-día.....	30
Capítulo 3. Análisis de resultados.....	36
3.1. Análisis de los resultados para los meses de invierno.....	36
3.2. Análisis de los resultados para los meses de verano.....	36
3.3. Análisis del Año típico-grados-día.....	37
Conclusiones.....	38
Recomendaciones.....	39
Bibliografía.....	40
Anexos.....	42

Introducción.

Los efectos adversos sobre el clima de la tierra debido a las recientes demandas mundiales de energía, se han convertido en el tema de preocupación para las personas de todo el mundo. El aumento de las temperaturas atmosféricas debido al cambio climático puede significar que los promedios históricos de 20 años utilizados para la planificación de la energía no serán apropiados y la tasa de aumento de la temperatura en un futuro próximo dictará la fiabilidad de estos valores para establecer los presupuestos energéticos(Ciulla G., 2015).

Las variaciones de la temperatura exterior afectan directamente a los recursos hídricos, la generación de energía, la agricultura, la construcción y, en particular, el consumo de energía para el enfriamiento y la calefacción de los edificios(Ruiz de Adana, 2002).Desde 1934, una de las maneras más simples de estimar los consumos de energía en la construcción es el Grado-Día. (Almaguer ,2016).

Por lo general, el cálculo de los grados-día se acepta como un índice de consumo de energía para la calefacción y refrigeración y representa el método más sencillo utilizado en las industrias de calefacción, ventilación y aire acondicionado para calcular las necesidades de energía de calefacción y refrigeración. Esencialmente, es la suma de las diferencias de la temperatura del aire exterior y la temperatura base a lo largo del tiempo, por lo tanto, captura tanto la extremidad como la duración de las temperaturas exteriores(Day, 2006).

En el caso de los grados-día de calefacción se calculan sólo las diferencias entre el exterior y la base cuando la temperatura exterior cae por debajo de la temperatura de base.

Por el contrario, los grados-día de refrigeración se calculan tomando sólo las diferencias positivas entre la temperatura exterior y la temperatura base (Ciulla G., 2015).

Hay varias maneras de determinar los grados-día, se puede hacer mediante:(Ciulla G., 2015)

- el promedio de grados-hora
- las temperaturas máximas y mínimas diarias
- la temperatura diaria media
- el cálculo de los grados-día mensuales utilizando la temperatura media mensual.

Como se puede observar las tres primeras maneras de determinar los grados-día utilizan datos horarios y diarios, los cuales en ocasiones no pueden ser brindados por los institutos de meteorología, dificultándose así el uso de metodologías que utilicen estos datos. Los métodos que utilizan la temperatura media mensual y la desviación estándar poseen una metodología fácil de aplicar en cualquier hoja de cálculo, pero tienen la desventaja de utilizar la desviación estándar, dato que no se brinda comúnmente por los institutos de meteorología. Como resultado de esta problemática investigadores del Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales desarrollaron un método que utiliza datos de entrada mensuales que si son brindados por los institutos de meteorología.

Problema científico:

Existen varios métodos para la obtención de los grados-día, algunos pierden la forma tradicional de calcular los grados-día y otros utilizan datos de entrada que no se brindan comúnmente por los institutos de meteorología. Investigadores del Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales (CEETA) han desarrollado un método que si trabaja con datos brindados dichos institutos. Teniendo en cuenta esta ventaja se prioriza este método para la confección de un Año Típico-grados-día por lo que ¿es válido el método desarrollado por investigadores del CEETA para realizar un Año Típico-grados-día para la ciudad de Santa Clara?

Hipótesis:

Es posible obtener un Año Típico-grados-día para la ciudad de Santa Clara mediante el uso del método desarrollado por investigadores del CEETA.

Objetivo general:

Obtener un Año Típico-grados-día para la ciudad de Santa Clara mediante la utilización de un método que calcule los grados-día con datos de entrada brindados comúnmente por los institutos de meteorología, introduzca en los resultados un error aceptable y se le puedan introducir directamente datos tipificados.

Objetivos específicos:

1. Seleccionar un método de cálculo de los grados-día que utilice datos de entrada mensuales y este reconocido a nivel mundial para realizar una comparación de los errores que introduce, con respecto a los grados-día reales, con los errores introducidos por el método desarrollado por investigadores del CEETA.
2. Calcular los grados-día de refrigeración reales mediante la metodología tradicional y los grados-día de refrigeración utilizando los métodos que se comparan para la ciudad de Santa Clara.
3. Realizar una evaluación de los errores introducidos por ambos métodos mediante la Media del Error y la Raíz del Error Cuadrático Medio para comparar estos dos modelos de evaluación y validar el uso del método desarrollado por investigadores del CEETA para realizar un Año Típico-grados-día.
4. Obtener un Año Típico-grados-día para la ciudad de Santa Clara.

Capítulo 1. Caracterización del método grados-día.

El método grados-día es simple, eficiente y bastante confiable para cuantificar la demanda de energía para calefacción o refrigeración de un local.

Esencialmente los grados-día son una suma de las diferencias entre la temperatura exterior y una temperatura de referencia sobre un período de tiempo especificado. Esto puede aplicarse tanto a la calefacción como a los sistemas de enfriamiento.

Esta diferencia se obtiene a partir de la temperatura del aire exterior y una de referencia, conocida como temperatura base que es una temperatura de punto de equilibrio, es decir, la temperatura exterior a la que los sistemas de calefacción o refrigeración no tiene que funcionar para mantener condiciones de la comodidad (Day, 2006).

1.1. Usos principales de los grados-día.

Los usos principales de los grados-día son:

- Para estimar el consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono resultado de la energía utilizada para generar calefacción o refrigeración en un local.
- Para el monitoreo continuo de la energía y el análisis de los edificios existentes sobre la base de datos históricos.

El primero puede utilizarse para establecer presupuestos energéticos, negociar tarifas energéticas y proporcionar un desempeño esperado del local contra puntos de referencia típicos.

Este último puede utilizarse para evaluar el rendimiento en el uso e identificar los cambios en los patrones de consumo, ofrecer una cierta caracterización del local y de fijar objetivos futuros de consumo de energía (Day, 2006).

1.2. Temperatura base.

Una cuestión clave en la aplicación de los grados-día es la definición de la temperatura base la cual se relaciona con el balance energético del sistema que se analiza.

En un local climatizado durante el clima frío se pierde calor al ambiente externo, parte de este calor es reemplazado por ganancias ocasionales obtenidas por personas, luces, máquinas y ganancias solares, mientras que el resto es suministrado por el sistema de calefacción. Dado que las ganancias ocasionales proporcionan una contribución a la calefacción dentro del local, habrá una temperatura exterior por debajo de la temperatura del local en la que el sistema de calefacción no tendrá que funcionar. En el punto donde las ganancias casuales se igualan a la pérdida de calor se obtiene la temperatura base para el local.

Para un local enfriado activamente, la temperatura base es la temperatura exterior a la que la planta de refrigeración no necesita funcionar, y se relaciona otra vez con las ganancias de calor ocasionales al espacio que ahora se agregan a la carga de enfriamiento. En este caso los grados-día de enfriamiento están relacionados con las diferencias de temperatura por encima de esta base (Day, 2006).

1.3. Métodos de obtención de los grados-día.

Dependiendo de la disponibilidad de datos de temperatura del aire exterior se utilizan diferentes métodos para calcular los grados-día de calefacción y refrigeración.

El método horario o ideal es el más preciso, sin embargo, no es adecuado para todos debido a la indisponibilidad de series de temperaturas por hora para muchos lugares. Por lo tanto, se han hecho varios intentos en el pasado para desarrollar métodos para calcular los grados-día a partir de un conjunto de datos reducidos (Mourshed, 2012).

Cabe destacar las obras de Thom ,Erbs , Hitchin y Schoenau y Kehrig. De las técnicas disponibles que utilizan un conjunto de datos reducidos, los siguientes son los más comúnmente utilizados: (Mourshed, 2012)

- La Sociedad Americana de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado-Método de temperatura media diaria.
- UKMO Oficina Meteorológica- Método de temperatura máxima y mínima.
- Método de temperatura media mensual de Schoenau y Kehrig.

1.3.1. Metodología tradicional para el cálculo de los grados-día.

Los grados-día de calefacción y refrigeración se definen como la suma de las diferencias entre las temperaturas medias diarias y la temperatura base. El número de grados-día de calefacción en un mes, HDDb, se calcula como:(Didier Thevenard, 2011)

$$HDDb = \sum_1^N (t_b - t_m)^+ \quad (1.1)$$

Donde:

N: es el número de días en el mes

t_b : es la base temperatura a la que se calculan los grados-día

t_m : es la temperatura media diaria.

El superíndice "+" indica que sólo se toman valores positivos. Del mismo modo, los grados-día mensuales de enfriamiento CDDb se calculan como:

$$CDDb = \sum_1^N (t_m - t_b)^+ \quad (1.2)$$

1.3.2. Método horario o ideal.

Partiendo de una temperatura medida por horas para una localidad se utiliza la suma de las diferencias entre la temperatura base y la temperatura hora, de ahí el nombre de grados-horas. El acumulado grado-horas de un día se divide por 24 para obtener el grado-horas promedio o grado-día (Mourshed 2012). Los grados-día de calefacción (HDDd) se calculan como:

$$HDDd = \frac{\sum_{i=1}^{24} (T_b - T_i)^+}{24} \quad (1.3)$$

Los grados-día de refrigeración se calculan como:

$$CDDd = \frac{\sum_{i=1}^{24} (T_i - T_b)^+}{24} \quad (1.4)$$

Donde:

T_b : es la temperatura base

T_i : es la temperatura del aire exterior a la i hora del día

El signo más (+) significa que sólo se tienen en cuenta las diferencias positivas entre T_b y T_i .

Los grados-días mensuales, DDm se calculan sumando los grados-día diarios DDd en un mes:

$$DDm = \sum_{j=1}^P (DDd, j) \quad (1.5)$$

Donde:

P : es el número de días en un mes

DDd, j : son los grados-día diarios para el día j del mes.

Los grados-día anuales se calculan como la suma de los grados-día mensuales

$$DDa = \sum_{k=1}^{12} (DDm, K) \quad (1.6)$$

Donde

DDm, k : son los grados-día mensuales para el mes k

Este método es bastante exacto con respecto a los demás ya que obtiene los grados-día a partir de datos establecidos a partir de 24 temperaturas medidas a cada hora del día. A pesar que posee esta ventaja se hace imposible su utilización, en muchas ocasiones, por la no divulgación por parte de los institutos de meteorología de los datos necesarios para su utilización.

1.3.3. Método de temperatura media diaria propuesta por la ASHRAE.

Según el método de temperatura media diaria de ASHRAE, los grados-día diarios es la diferencia entre la temperatura media diaria, T_d y temperatura base, T_b . Los cálculos para grados-día de calefacción, HDDd y de refrigeración CDDd son expresados por las ecuaciones:(Mourshed, 2012)

$$HDDd = (T_b - T_d)^+ \quad (1.7)$$

$$CDDd = (T_d - T_b)^+ \quad (1.8)$$

T_d se calcula a partir de las temperaturas máximas y mínimas diarias, T_{max} y T_{min} respectivamente:

$$T_d = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (1.9)$$

Este método es muy sencillo y exacto, pero posee, al igual que el método horario, la desventaja de trabajar con datos que no se ofrecen comúnmente por los institutos de meteorología.

1.3.4. UKMO Método de temperatura máxima y mínima.

El método UKMO utiliza la temperatura máxima y mínima diaria. Hay cuatro relaciones posibles entre la temperatura de base y la variación de temperatura diurna, resultando en cuatro escenarios diferentes. Dependiendo de estos cuatro escenarios, los grados-día de calentamiento diario HDDd, se calculan a partir de la temperatura base T_b y las temperaturas máximas y mínimas diarias T_{max} y T_{min} respectivamente.(Mourshed, 2012).

$$HDDd = \begin{cases} T_b - 0.5(T_{max} + T_{min}), & T_{max} \geq T_b \\ 0.5(T_b - T_{min}) - 0.25(T_{max} - T_b), & T_{min} < T_b; (T_{max} - T_b) < (T_b - T_{min}) \\ 0.25(T_b - T_{min}), & T_{max} > T_b; (T_{max} - T_b) > (T_b - T_{min}) \\ 0, & T_{min} \geq T_b \end{cases} \quad (1.10)$$

Los grados-día de enfriamiento diarios, CDDd, se pueden calcular usando los mismos parámetros:

$$CDDd = \begin{cases} 0.5(T_{max} + T_{min}) - T_b, & T_{min} \geq T_b \\ 0.5(T_{max} - T_b) - 0.25(T_b - T_{min}), & T_{max} > T_b; (T_{max} - T_b) > (T_b - T_{min}) \\ 0.25(T_{max} - T_b), & T_{min} < T_b; (T_{max} - T_b) < (T_b - T_{min}) \\ 0, & T_{max} \leq T_b \end{cases} \quad (1.11)$$

Los coeficientes de 0,5 y 0,25 en las ecuaciones anteriores son originalmente determinada por ensayo y error. Se ha encontrado que estos coeficientes varían de un lugar a otro y ha habido sugerencias en favor de los valores específicos de la ubicación(A.R. Day ,1998).

1.3.5. Modelo propuesto por Schoenau y Kehrig.

Schoenau y Kehrig concluyeron un método simple para calcular los grados-día a cualquier base. Donde se supone que las temperaturas medias diarias son normalmente distribuidas alrededor de la media mensual. Los grados-día de calefacción HDDb con temperatura base T_b se expresan:(Didier Thevenard, 2011)

$$HDDb = N * Sd[Zb * F(Zb) + f(Zb)] \quad (1.12)$$

Donde:

Z_b : es la diferencia entre la temperatura base T_b y temperatura media mensual T_m , normalizada por la desviación estándar de la temperatura media diaria S_d :

$$Zb = \frac{T_b - T_m}{S_d} \quad (1.13)$$

La función f es la función de densidad de probabilidad normal, con media 0 y desviación estándar 1, y F es la función de probabilidad normal acumulativa equivalente:

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(\frac{-Z^2}{2} \right) \quad (1.14)$$

$$F(Z) = \int_{-\infty}^Z f(z) * dz \quad (1.15)$$

Los grados-día de enfriamiento CDDb con temperatura base Tb se calculan mediante la ecuación:

$$CDDb = N * Sd[Zb * F(Zb) + f(Zb)] \quad (1.16)$$

Donde Z_b se calcula de la siguiente manera:

$$Zb = \frac{Tm - Tb}{Sd} \quad (1.17)$$

Este método tiene la ventaja de usar funciones fáciles de programar en cualquier hoja de cálculo, pero posee la desventaja de utilizar la desviación estándar como uno de los datos de entrada, además el procedimiento de cálculo se diferencia del tradicional.

1.3.6. Método para el cálculo de los grados-día según Erbs.

El método de Erbs calcula la desviación estándar de la temperatura media mensual alrededor del año (σ_y), y la media diaria alrededor de la media mensual (σ_m). A su vez, se usa la desviación estándar de las temperaturas medias diarias alrededor de la media mensual para estimar la variabilidad de temperatura media diaria dentro del mes(ONE, 2009).

$$GD_m = \sigma_m * (Dm)^{1,5} * \left[\frac{h}{2} + \frac{Ln(e^{-ah} + e^{ah})}{2a} \right] \quad (1.18)$$

Dónde:

$$H_h = (T_{base} - Ta) / [\sigma_m (Dm)^{1/2}] \quad (1.19)$$

H_h: grados-días de calefacción

$$H_c = (Ta - T_{base}) / [\sigma_m (Dm)^{1/2}] \quad (1.20)$$

H_c: grados-día de enfriamiento

$$a = 1.698(Dm)^{1/2} \quad (1.21)$$

La ecuación para σ_m que tiene en cuenta las condiciones del Caribe es:

$$\sigma_m = 3.54 - 0.029Ta + 0.00644\sigma_y \quad (1.22)$$

Dónde:

T_{base} : temperatura base.

T_a : temperatura media mensual.

σ_m : desviación estándar de las temperaturas del mes

D_m : días del mes.

σ_y : desviación estándar de las temperaturas medias mensuales de todos los meses del año.

Este método intenta corregir por debajo y/o por encima los Grados-día de calentamiento o enfriamiento al usar una temperatura media mensual. Típicamente al usar las temperaturas medias mensuales, los grados-día son calculados como $D_m (18-T_a)$ para los grados-día de calentamiento y $D_m (T_a-18)$ para los Grados-día de enfriamiento, donde D_m es el número de días del mes y T_a es la temperatura media mensual ya que este método no responde a la variabilidad de temperatura dentro del mes, para determinar las necesidades de calefacción y/o climatización(ONE, 2009).

1.3.7. Método propuesto por investigadores del CEETA.

Modelo para el cálculo de los grados-día de refrigeración:

Variables: t_{min} , t_m y t_{max}

$$\zeta = \frac{t_m}{t_{max} - t_{min}} \quad (1.23)$$

Para el intervalo ($t_b \leq t_{min}$)

$$GD_{me} = N(t_m - t_b) \quad (1.24)$$

Para el intervalo. ($t_{min} \leq t_b \leq t_{max}$)

Se calcula t_{mee} por la expresión (1.25) para $t_b = t_m$ y se sustituye en las ecuaciones (1.26) y (1.27)

$$t_{mee} = (t_b - t_{\min}) \left(\frac{t_{\max} - t_m}{t_{\max} - t_{\min}} \right) + t_m \quad (1.25)$$

$$Ze = \frac{\ln \frac{\theta_{mee} - t_{\max}}{t_{mee} - t_{\max}}}{t_{mee} - t_m} \quad (1.26)$$

$$\theta_{mee} = t_{mee} - Z \quad (1.27)$$

$$Z = A\zeta^{-B} \quad (1.28)$$

El valor de θ_{mee} calculado en (1.27) se sustituye en (1.26) para calcular Z_e

Por las expresiones (1.25) y (1.27), se calcula t_{mee} y θ_{mee} , ambas, para el valor de $t_b = t_m$ los restantes valores de t_{mee} y θ_{mee} se obtienen sustituyendo los valores de t_b en (1.25) y los de t_{mee} en (1.29) para todos los valores de t_b en el intervalo $t_{\min} \leq t_b \leq t_{\max}$

$$\theta_{mee} = (t_{mee} - t_{\max}) e^{Z_e(t_{mee} - t_m)} + t_{\max} \quad (1.29)$$

$$GD_{me} = N(\theta_{mee} - t_b) \quad (1.30)$$

Después de obtener los grados-día de enfriamiento GD_{me} , se calculan los grados-día de calentamiento GD_{mc} mediante:

$$GD_{mc} = GD_{me} - N(t_m - t_b) \quad (1.31)$$

Modelo para el cálculo de los grados-día calefacción:

Variables: $t_{\min}$, t_m y $t_{\max}$

$$\zeta = \frac{t_m}{t_{\max} - t_{\min}} \quad (1.32)$$

Para el intervalo ($t_{\min} \leq t_b \leq t_{\max}$)

Se calcula t_{mec} por la expresión (1.33) para $t_b = t_m$ y se sustituye en las ecuaciones (1.34) y (1.35).

$$t_{mec} = (t_b - t_{\min}) \left(\frac{t_m - t_{\min}}{t_{\max} - t_{\min}} \right) + t_{\min} \quad (1.33)$$

$$Z_c = \frac{\ln \frac{\theta_{mec} - t_{\min}}{t_{mec} - t_{\min}}}{t_m - t_{mec}} \quad (1.34)$$

$$\theta_{mec} = t_{mec} + Z \quad (1.35)$$

$$Z = A\zeta^{-B} \quad (1.36)$$

El valor de θ_{mec} calculado en (1.35) se sustituye en (1.34) para calcular Z_c

Por las expresiones (1.33) y (1.35), se calcula t_{mec} y θ_{mec} , ambas, para el valor $t_b = t_m$ los restantes valores de t_{mec} y θ_{mec} se obtienen sustituyendo los valores de t_b en (1.33) y de t_{mec} en (1.37) para todos los valores de t_b en el intervalo $t_{\min} \leq t_b \leq t_{\max}$.

$$\theta_{mec} = (t_{mec} - t_{\min}) e^{Z_c(t_m - t_{mec})} + t_{\min} \quad (1.37)$$

$$GD_{mc} = N(t_b - \theta_{mec}) \quad (1.38)$$

Para el intervalo ($t_b \geq t_{\max}$)

$$GD_{mc} = N(t_b - t_m) \quad (1.39)$$

Después de obtener los grados-día de calentamiento GD_{mc} , se calculan los grados-día de enfriamiento GD_{me} mediante:

$$GD_{me} = N(t_m - t_b) + GD_{mc} \quad (1.40)$$

Los parámetros A y B , utilizados en la ecuación (1.28) y (1.36), se obtienen al relacionar la temperatura media aritmética Tm'_a y la temperatura media mensual t_m , en el capítulo 2 se especifica cómo se obtuvieron estos valores.

Este método utiliza como datos de entrada la temperatura máxima, mínima y media de las temperaturas diarias a lo largo del mes, datos que si se brindan por los diferentes institutos de meteorología. Posee la ventaja de no utilizar la

desviación estándar de las temperaturas medias diarias del mes como parámetro imprescindible para el cálculo de los grados-días.

1.4. Caracterización del Año Meteorológico Típico.

La disponibilidad de datos históricos sobre el clima permite construir una síntesis interpretativa que se conoce como año meteorológico típico (en lo adelante AMT). El año meteorológico típico de una región, trata de mostrar las condiciones con carácter climatológico que se presentan de forma usual. Por lo tanto, el AMT no tiene que reflejar las condiciones de un año puntual, sino representar un año con condiciones características para una región.

Para construir el AMT se debe contar con al menos cinco años de información, debido a que, si se tipifica las características del clima con información menor a este tiempo, el producto obtenido sería poco confiable. En esta información se deben incluir variables como la temperatura, humedad relativa, la radiación solar media y la velocidad del viento máxima y media diaria (Betancourt, 2016).

1.4.1. Métodos para la obtención de los AMT.

Existen diferentes métodos a emplear para la determinación de las condiciones de diseño exterior, entre estos métodos está el método de la frecuencia de ocurrencia de las temperaturas horarias, el cual permite la selección de una temperatura de diseño del aire del ambiente exterior, para una frecuencia de ocurrencia de la misma que satisfaga los factores técnicos y económicos de la instalación, de acuerdo con la importancia relativa de cada uno de ellos.

Este método está basado en la determinación de la frecuencia de ocurrencia de los valores de las lecturas horarias de las temperaturas de bulbo seco y humedad del aire ambiente exterior de una localidad, para las horas de los meses de verano, o los meses de invierno, según se deseen las temperaturas de diseño de verano o invierno.

La frecuencia de ocurrencia de un valor de temperatura a una hora dada se encontrará comparando dicho valor con el de la temperatura medida a la misma hora y serán considerados solo aquellos valores que coincidan o resulten superiores a la temperatura referida, por lo tanto si los cálculos de carga térmica se hacen sobre la base de una temperatura de diseño exterior

para una frecuencia de ocurrencia de la misma del $n\%$, los equipos seleccionados para la climatización según los resultados de dicho cálculo, serán incapaces de mantener las condiciones interiores de diseño en un $n\%$ de las horas de los meses de verano (Polaino de los Santos L., 1997).

Otro de los métodos para la selección de las condiciones de diseño exterior son el Air Conditioning and Refrigerating Association (ACRMA) el cual establece que las temperaturas exteriores de diseño para verano, sean los promedios de diez años de las más altas temperaturas de bulbo seco y húmedo que ocurran cada año y las que tengan una duración de menos de tres horas (Polaino de los Santos L, 1997).

El ASHVE, Tecnical Advisory Committee on Weather Desig Conditions que recomienda que la temperatura de bulbo seco exterior para el diseño de verano sea el promedio de cinco años de las más altas temperaturas de bulbo seco que ocurran el 2.5% o más de las horas de los meses de verano. Para la temperatura de diseño de bulbo húmedo, este comité recomienda que dicho porcentaje sea 5 en lugar de 2.5%. Cuando se posean los datos de bulbo húmedo, se aconseja tomar los datos de temperatura de bulbo húmedo de diseño de verano, la que ocurra simultáneamente con la temperatura de bulbo seco de diseño (Polaino de los Santos L., 1997).

Los métodos anteriormente abordados tipifican condiciones exteriores de diseño como la temperatura exterior, humedad relativa, magnitud y dirección del viento y radiación solar. Teniendo en cuenta que los métodos que normalizan variables climatológicas, con el objetivo optimizar un correcto funcionamiento de las instalaciones de climatización, no tipifican los grados-día, se tomó la iniciativa de realizar un Año Típico-grados-día tipificando los grados-día de refrigeración para la ciudad de Santa Clara. Esto posibilita realizar una comparación de los consumos de energía, para una entidad, de iguales meses de diferentes años teniendo como referencia a los grados-día de refrigeración tipificados.

Capítulo 2. Comparación de ambos métodos y obtención del Año Típico-grados-día.

El método desarrollado por investigadores del CEETA, al igual que los demás anteriormente mencionados, introduce un error en los cálculos con respecto a los grados-día reales. La magnitud de este error tendrá una fundamental importancia en la obtención de los grados-día de calefacción o refrigeración, por lo que es necesaria una comparación para validar el uso del método anteriormente mencionado en la obtención de un Año Típico-grados-día.

Esta comparación se realiza considerando un método que calcule los grados-día de refrigeración mediante datos de entrada mensuales, ya que el método analizado trabaja con este tipo de datos.

Se escogió el método de Schoenau–Kehrig porque sus datos de entrada son la temperatura media y la desviación estándar de las temperaturas diarias a lo largo del mes, además es un método ampliamente difundido a nivel mundial por su exactitud y sencilla utilización en cualquier hoja de cálculo.

La comparación se efectúa para los meses de verano e invierno, ya que son los más significativos. Se utilizaron las temperaturas diarias para cinco años de la ciudad de Santa Clara, aportadas por el Instituto de Meteorología. A manera de ejemplo ilustrativo se tomó el mes de marzo del 2009. Mediante la utilización del Excel se obtuvieron los parámetros fundamentales para el cálculo de los grados-días de refrigeración para ambos métodos.

2.1. Descripción de los parámetros de entrada.

2.1.1. Temperaturas máximas y mínimas y la temperatura media.

Las temperaturas máximas (t_{max}) y mínimas (t_{min}) mensuales, con las cuales se trabaja en el método desarrollado por investigadores del CEETA, son las mayores y menores que se hayan medido en el mes respectivamente y la temperatura media (t_m), utilizada en ambos métodos, es el promedio de todas las temperaturas diarias del mes.

2.1.2. Desviación estándar.

La desviación estándar (Sd) se utiliza para calcular los grados-día en el método de Schoenau – Kehrigh. Se calculó para las temperaturas diarias de cada mes utilizando el Excel. La ecuación que responde a la desviación estándar es la siguiente:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_1^N (Td - tm)^2}{N-1}} \quad (2.1)$$

Donde:

Td: es la temperatura diaria

tm: es la temperatura media mensual

N: es la cantidad de días del mes

El hecho que a la cantidad de días (N) se le reste 1 significa que cuando se tiene una muestra relativamente grande la media resultante en ocasiones se aleja de los valores reales por lo que se le resta 1 para reducir la muestra y hacer que este valor se aproxime más al real.

2.2. Obtención de las temperaturas base.

Las temperaturas bases utilizadas en la comparación son variables, pero deben ser las mismas para ambos métodos. Se obtienen despejando la expresión (1.17).

El parámetro Zb, necesario para los cálculos de los grados-día de refrigeración en el método de Schoenau – Kehrigh, adquiere valores negativos y positivos teniendo en cuenta que la temperatura base debe de estar en el intervalo $t_{min} \leq t_b \leq t_{max}$.

Para $t_b \leq t_{min}$ los grados-día de refrigeración se pueden obtener mediante la ecuación (1.2), debido a que en este intervalo la temperatura base nunca va a ser mayor que la temperatura mínima mensual, esto implica que no existirán valores negativos, los cuales introducirían un error en los resultados.

Paratb $\geq$ tmax los grados-día de refrigeración son 0, ya que al utilizar la ecuación (1.2) todos los resultados obtenidos toman valores negativos, no válidos para calcular los grados-día de refrigeración.

En la tabla 2.1 se pueden observar ambos parámetros, en este caso Zb adquiere valores entre -1 y 2 y se obtienen las respectivas temperaturas bases, las cuales toman valores menores que 25.7°C que es la temperatura máxima para el mes que se analiza y mayores que 16°C que es la temperatura mínima.

Tabla 2.1 Representación de las temperaturas base para el mes de marzo del 2009.

Zb	tb
-4	31,52
-3	29,02
-2	26,52
-1	24,02
0	21,52
1	19,02
2	16,52
3	14,02
4	11,52

2.3. Obtención de los grados-día reales.

Para calcular los grados-día de refrigeración reales Gdee, con una temperatura base variable, se utilizó la expresión (1.2).

En la tabla 2.2 se representan los grados-día de refrigeración reales, utilizando el Excel, para el mes de marzo del 2009. Están representadas las temperaturas diarias en orden ascendente para obtener de manera más sencilla las temperaturas máximas y mínimas que se utilizan en el cálculo de los grados-día de refrigeración en el método desarrollado por investigadores del CEETA, además están presentes las temperaturas base calculadas anteriormente.

Tabla2.2. Representación de los grados-día reales de refrigeración.

Año 2009	Marzo	tb			
Días	Td	24.02	21.52	19.02	16.52
1.00	16.0				
2.00	16.6				0.08
3.00	17.9				1.38
4.00	18.1				1.58
5.00	18.7				2.18
6.00	19.6			0.58	3.08
7.00	19.8			0.78	3.28
8.00	20.3			1.28	3.78
9.00	20.3			1.28	3.78
10.00	20.4			1.38	3.88
11.00	20.7			1.68	4.18
12.00	20.8			1.78	4.28
13.00	20.9			1.88	4.38
14.00	21.2			2.18	4.68
15.00	21.3			2.28	4.78
16.00	21.6		0.08	2.58	5.08
17.00	21.6		0.08	2.58	5.08
18.00	21.8		0.28	2.78	5.28
19.00	21.8		0.28	2.78	5.28
20.00	22.4		0.88	3.38	5.88
21.00	22.5		0.98	3.48	5.98
22.00	23.0		1.48	3.98	6.48
23.00	23.1		1.58	4.08	6.58
24.00	23.5		1.98	4.48	6.98
25.00	23.6		2.08	4.58	7.08
26.00	23.8		2.28	4.78	7.28
27.00	24.3	0.28	2.78	5.28	7.78
28.00	24.9	0.88	3.38	5.88	8.38
29.00	25.3	1.28	3.78	6.28	8.78
30.00	25.6	1.58	4.08	6.58	9.08
31.00	25.7	1.68	4.18	6.68	9.18
GDee		5.70	30.18	85.28	155.50

2.4. Obtención de los grados-día de refrigeración utilizando ambos métodos.

Para el cálculo de los grados-días de refrigeración se utilizó el Excel aplicando la metodología de cálculo abordada en el Capítulo 1 para cada método. En las tablas 2.3 y 2.4 están representados los valores de cada parámetro utilizado por ambas metodologías para el mes de marzo del 2009.

En la tabla 2.3 la terminología GDme corresponde a los grados-día de refrigeración calculados por el método desarrollado por investigadores del CEETA y en la tabla 2.4 GDmc corresponde a los grados-día de refrigeración calculados por el método realizado por Schoenau-Kehrig.

Tabla 2.3. Representación de los valores de cada parámetro utilizado por el método desarrollado por investigadores del CEETA para el mes de marzo del 2009.

tmax	tm	tmin	tb	tme	ζ	tme (tm)	A	B	Z	t'mee TM	Ze	Θ_{mee}	GDme	Gdee	error	error ABS
25,7	21,5	16	24,02	24,9	2,2186	23,8	2,3988	0,812	1,256	22,6	0,2224	24,1	3,68	5,7	2,02	2,02
25,7	21,5	16	21,52	23,8	2,2186	23,8	2,3988	0,812	1,256	22,6	0,2224	22,6	34,8	30,18	-4,62	4,62
25,7	21,5	16	19,02	22,8	2,2186	23,8	2,3988	0,812	1,256	22,6	0,2224	21,8	87,89	85,28	-2,60	2,60
25,7	21,5	16	16,52	21,7	2,2186	23,8	2,3988	0,812	1,256	22,6	0,2224	21,5	155,68	155,5	-0,18	0,18

Tabla 2.4. Representación de los Valores de cada parámetro utilizado por el método realizado por Schoenau-Kehrig para el mes de marzo del 2009.

tm	tb	Z	GD reales	GDmc	error	error ABS
21,52	24,02	-1	5,7	6,46	0,76	0,76
21,52	21,52	0	30,18	30,92	0,74	0,74
21,52	19,02	1	85,28	83,96	-1,32	1,32
21,52	16,52	2	155,5	155,66	0,16	0,16

En la metodología desarrollada por investigadores del CEETA se utilizan 2 constantes: A y B, las cuales se obtuvieron por investigadores del CEETA para la región de Santa Clara. Son resultado de la relación ζ ecuación (1.23) vs Z ecuación (1.27). Utilizando el Excel esta relación aportó el siguiente gráfico de dispersión:

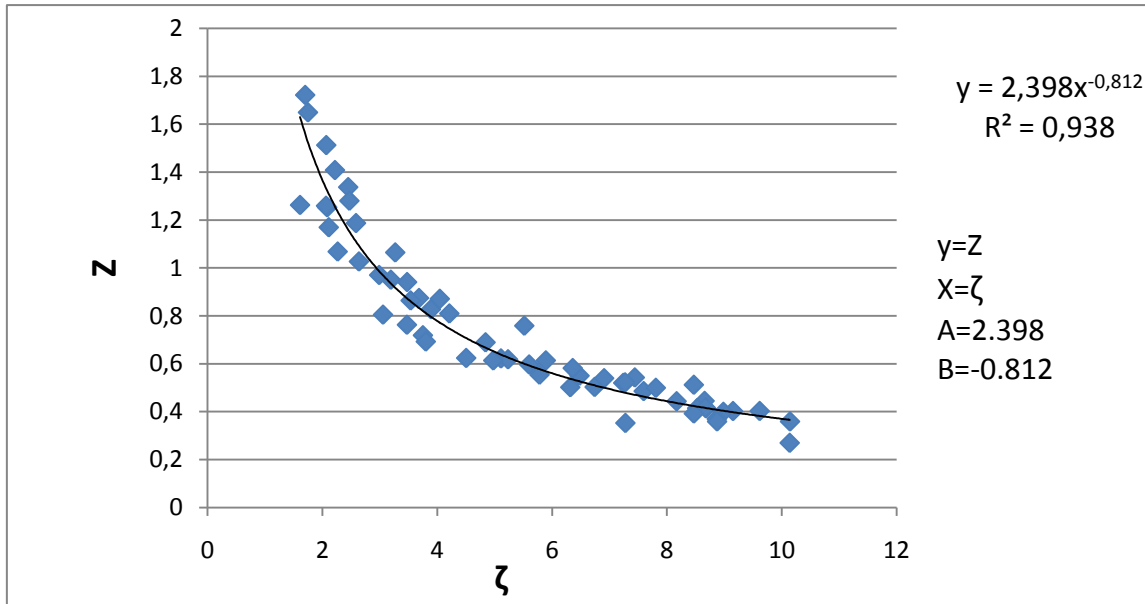


Gráfico 2.1. Gráfica que relaciona ζ con Z para obtener las constantes A y B .

2.5. Obtención del error.

Calculados los grados-día de refrigeración reales y obtenidos los grados-día por ambos métodos, utilizando el Excel se realizó el cálculo de los errores de la siguiente manera:

$$\text{error} = \text{GDee} - \text{GDc} \quad (2.2)$$

Donde:

Gdee: son los grados días reales

GDc: son los grados días calculados por ambos métodos

En las tablas 2.3 y 2.4 se representan los errores absolutos (error ABS).

2.6. Comparación de los errores introducidos por ambos métodos.

La comparación de los errores introducidos por ambos métodos se realizó para los meses de invierno (diciembre, enero, febrero y marzo) y verano (junio, julio, agosto y septiembre) (Polaino de los Santos L.,1997).

Se realizó de esta manera porque los meses que intervienen son los más representativos, donde se producen las mayores variaciones de temperatura (invierno) y tienen lugar las mayores temperaturas del año (verano).

Ya que la comparación se realiza para las etapas de invierno y verano en cinco años (2009-2013), se obtuvieron cinco diciembres, cinco eneros, cinco febreros y cinco marzos para la etapa de invierno y cinco junios, cinco julio, cinco agostos y cinco septiembres para la etapa de verano, donde para cada mes de cada año, en correspondencia con cada valor de Zb, se obtuvo un error. En las tablas 2.5y 2.6 se representan estos errores. Los errores se evalúan para cada valor de Zb mediante la media de los errores (ME) y la raíz del error cuadrático medio (RECM), donde:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (GD_{Dee} - GD_c) \quad (2.3)$$

GD_c: son los grados-días de refrigeración calculados por los métodos respectivamente

GD_{Dee}: son los grados-días de refrigeración reales

n: son la cantidad de lecturas

$$RECM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (GD_{Dee} - GD_c)^2} \quad (2.4)$$

Se escogió esta manera de procesar los errores porque la mayoría de los estudios científicos como evaluación de modelos, en meteorología, calidad del aire y estudios sobre el clima se decantan los resultados por una evaluación donde muchas veces se utilizan la ME y la RECM (Betancourt, 2016).

2.6.1. Comparación para los meses de invierno

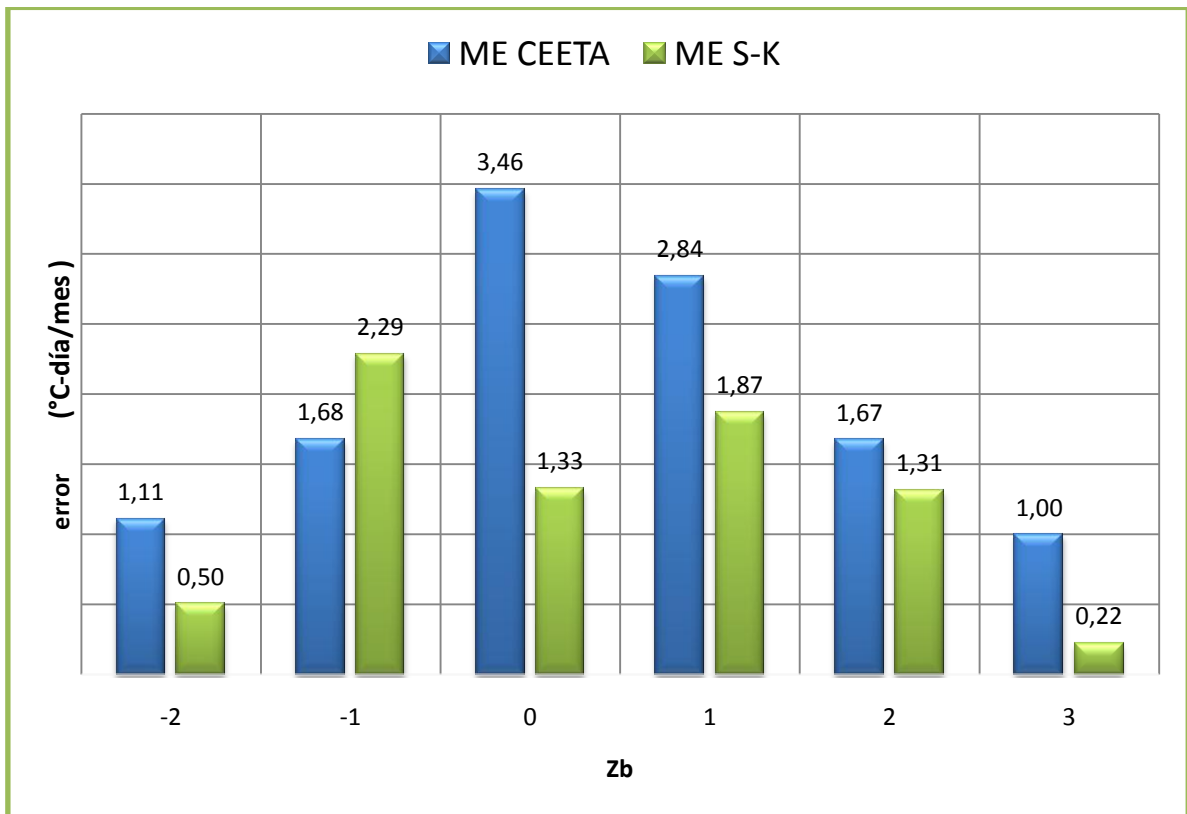
Tabla 2.5. Representación de los errores introducidos por el método desarrollado por Schoenau - Kehrig para los meses de invierno.

	Zb					
Meses	-2	-1	0	1	2	3
Diciembre						
2009		5,57	0,10	4,20	0,21	
2010	0,40	1,99	2,02	2,87	0,46	
2011		1,70	0,56	1,15	0,74	
2012		2,09	0,73	1,92	1,03	
2013		1,04	0,30	0,55	0,29	
Enero						
2009		2,67	1,42	2,30	1,11	
2010		7,25	5,92	2,36		
2011		1,03	1,46	0,55	0,53	
2012		4,69	0,38	3,49	1,20	
2013		0,89	0,49	0,75	0,37	
Febrero						
2009		3,77	1,09	3,13	1,35	
2010		0,29	2,57	2,05		
2011		2,26	1,07	1,08		
2012		3,09	2,38	2,55	2,08	0,22
2013		3,23	1,91	3,07	8,42	
Marzo						
2009		0,76	0,74	1,32	0,16	
2010		1,30	0,11	0,97		
2011		0,37	0,06	0,43	0,28	
2012		0,42	0,50	0,43	0,34	
2013	0,61	1,37	2,75	2,25	2,47	
ME	0,50	2,29	1,33	1,87	1,31	0,22
RECM	0,51	2,92	1,89	2,17	2,35	0,22

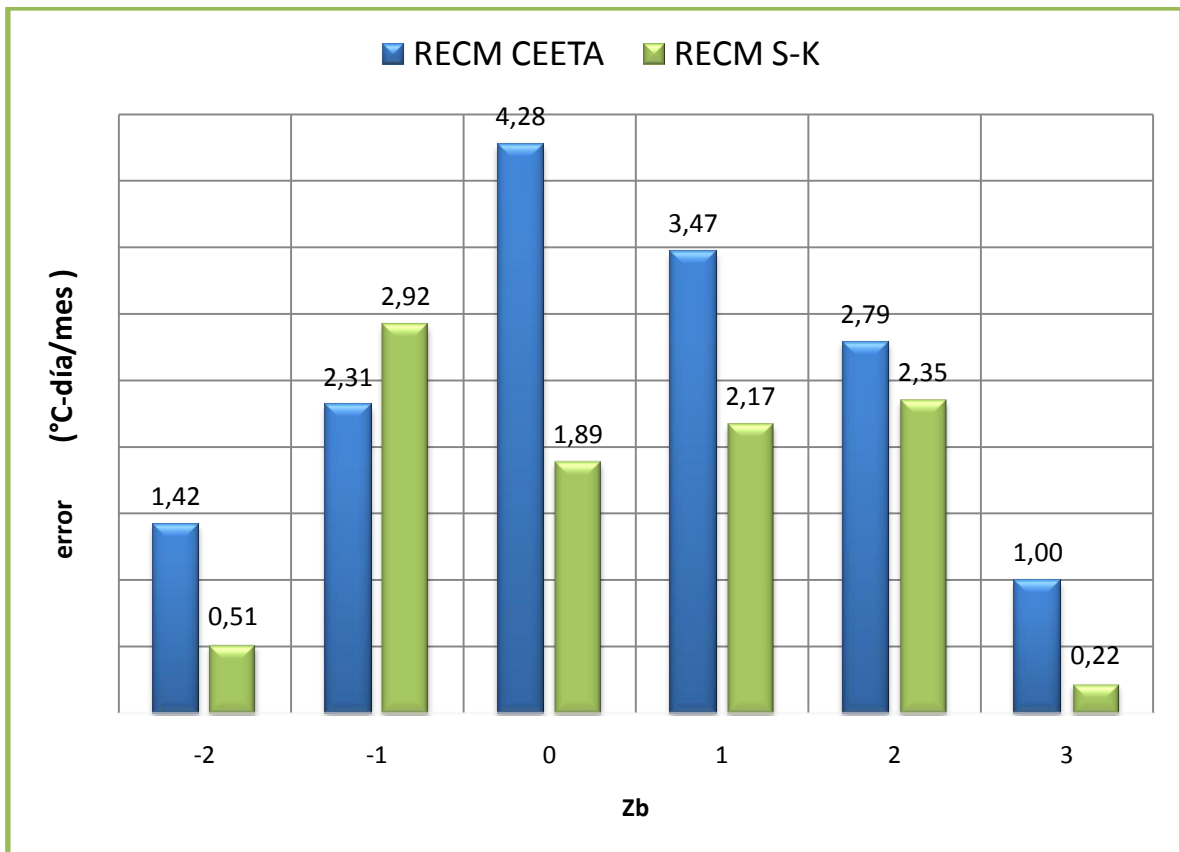
Tabla 2.6. Representación de los errores introducidos por el método desarrollado por investigadores del CEETA para los meses de invierno.

	Zb					
Meses	-2	-1	0	1	2	3
Diciembre						
2009		0,18	4,27	5,91	0,54	
2010	0,22	1,36	6,58	1,76	0,04	
2011		0,21	1,91	0,34	1,02	
2012		0,37	3,34	0,94	0,99	
2013		1,17	0,51	0,86	0,94	
Enero						
2009		0,57	5,60	1,83	0,75	
2010		1,93	9,64	3,28		
2011		3,18	0,88	1,94	0,01	
2012		1,11	3,87	6,19	3,81	
2013		1,39	0,03	0,15	0,23	
Febrero						
2009		0,93	0,70	3,96	3,17	
2010		5,52	2,79	2,46		
2011		1,54	2,24	1,15		
2012		0,46	0,39	4,19	4,72	1,00
2013		1,00	4,58	0,21	8,47	
Marzo						
2009		2,02	4,62	2,61	0,18	
2010		4,35	5,90	5,56		
2011		0,76	6,52	6,11	0,33	
2012		0,21	3,88	2,73	0,20	
2013	2	5,28	0,94	4,69	1,38	
ME	1,11	1,68	3,46	2,84	1,67	1,00
RECM	1,42	2,31	4,28	3,47	2,79	1,00

A continuación, se muestran las gráficas obtenidas mediante la relación de la magnitud del error (ME ó RECM) con Zb para cada método respectivamente en los meses de invierno.



Gráfica 2.2.Comparación de la Media del Error para los meses de invierno.



Gráfica 2.3. Comparación de la Raíz del Error Cuadrático Medio para los meses de invierno.

2.6.2. Comparación para los meses de verano.

De igual manera se calcularon los errores introducidos por ambos métodos en los meses de verano, aportando los resultados que se pueden observar en las tablas 2.7 y 2.8.

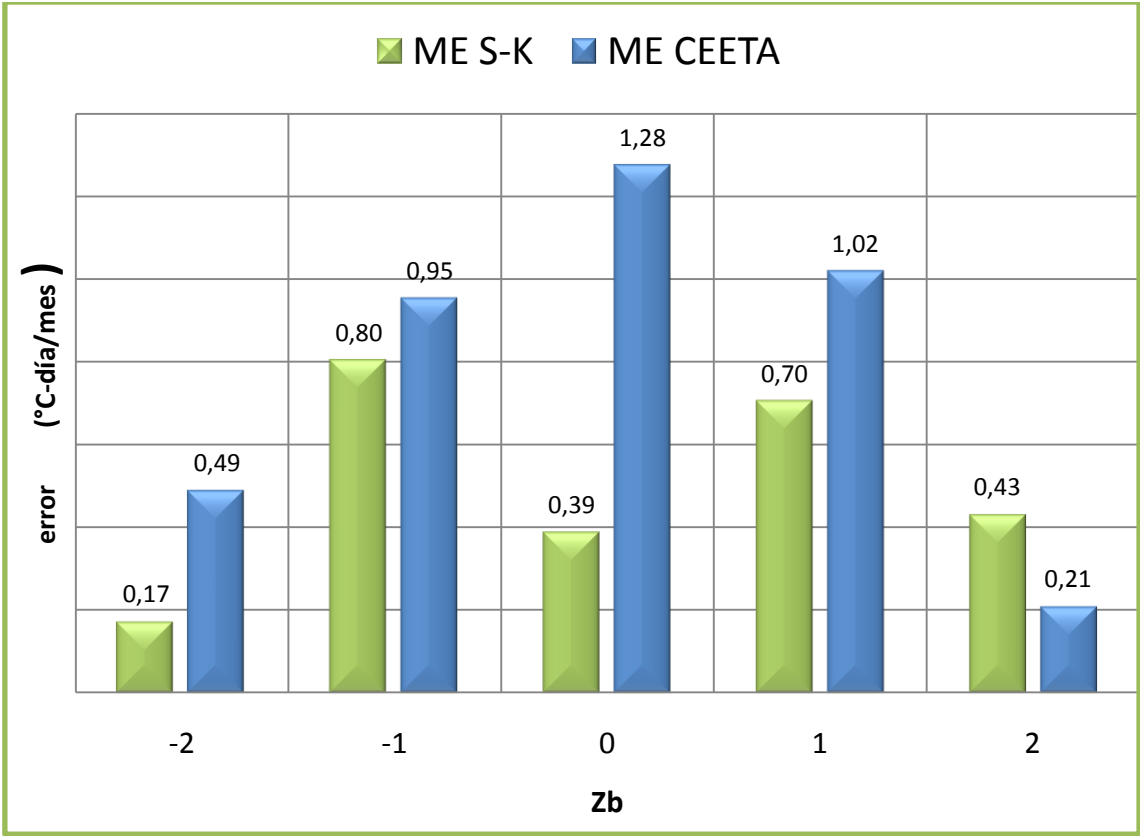
Tabla 2.7. Representación de los errores introducidos por el método desarrollado por Schoenau–Kehrig para los meses de verano.

Meses	Zb				
Junio	-2	-1	0	1	2
2009		0,20	0,01	0,03	0,04
2010		1,08	1,20	0,14	
2011		0,90	0,14	1,08	
2012		0,53	0,80	0,41	0,34
2013		0,72	0,45	0,14	
Julio					
2009		1,12	0,81	1,72	2,56
2010		0,17	0,03	0,68	
2011		0,58	0,44	0,19	0,22
2012		2,28	0,18	1,46	0,54
2013		1,37	0,06	1,10	0,41
Agosto					
2009		0,43	0,12	0,09	0,08
2010	0,22	0,85	0,11	0,51	0,00
2011		1,17	0,02	1,45	0,05
2012		0,36	0,18	0,53	0,10
2013		1,47	0,06	0,16	0,27
Septiembre					
2009		0,32	0,87	2,13	1,30
2010		0,83	0,56	0,15	0,02
2011	0,12	0,25	0,65	1,40	
2012		0,58	0,17	0,53	0,08
2013		0,84	0,91	0,21	
MBE	0,17	0,80	0,39	0,70	0,43
RECM	0,18	0,95	0,53	0,94	0,80

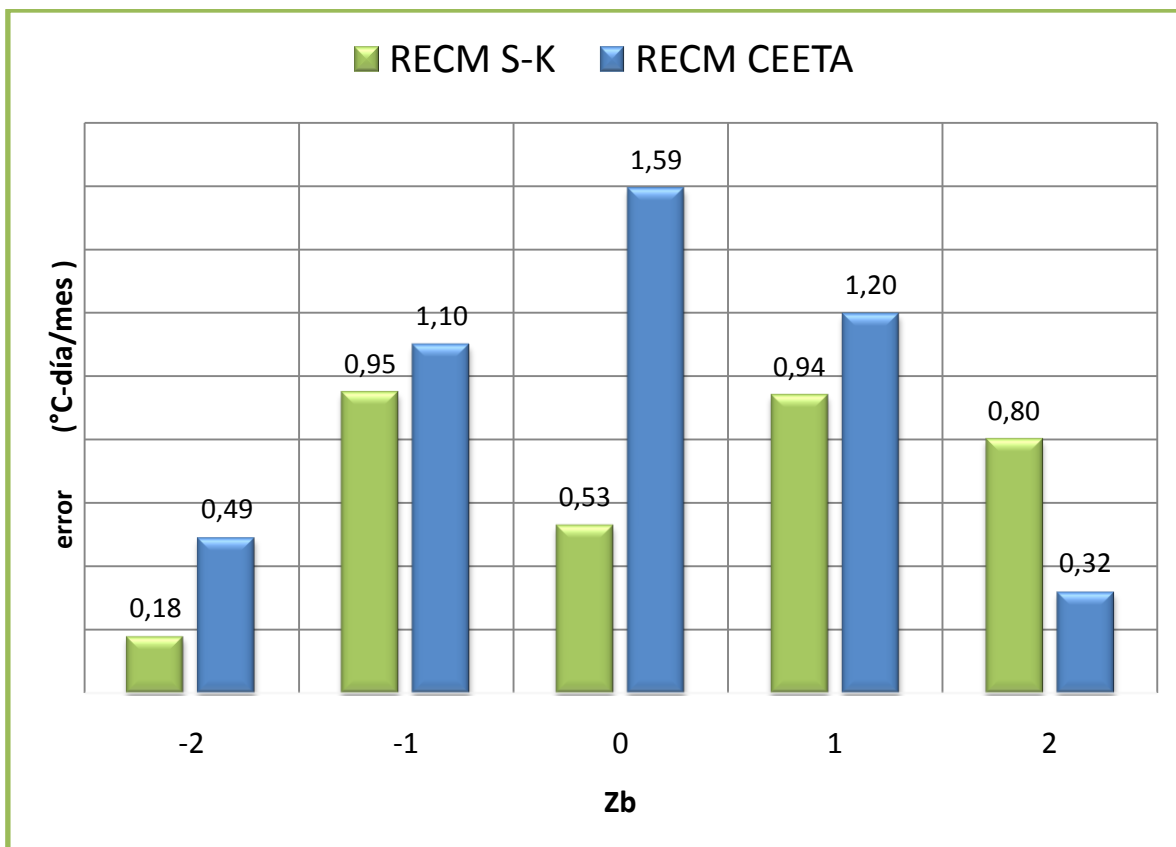
Tabla 2.8. Representación de los errores introducidos por el método desarrollado por investigadores del CEETA para los meses de verano.

Meses	Zb				
Junio	-2	-1	0	1	2
2009		0,89	1,13	1,19	0,03
2010		1,19	2,47	0,65	
2011		2,55	1,25	2,06	
2012		1,62	0,09	1,11	0,77
2013		1,11	0,62	0,13	
Julio					
2009		0,38	0,50	0,62	0,04
2010		0,88	1,28	1,80	
2011		0,92	0,03	0,89	0,03
2012		0,65	1,33	0,25	0,59
2013		0,55	2,01	0,82	0,19
Agosto					
2009		0,47	0,84	0,94	0,12
2010		1,48	3,69	2,53	0,61
2011		0,93	0,91	1,63	0,18
2012		0,74	1,60	0,96	0,04
2013		0,77	1,97	1,47	0,04
Septiembre					
2009		0,69	0,18	0,33	0,07
2010		0,33	0,27	0,78	0,08
2011	0,49	0,89	0,52	0,37	
2012		0,22	2,44	1,44	0,15
2013		1,81	2,40	0,42	
MBE	0,49	0,95	1,28	1,02	0,21
RECM	0,49	1,10	1,59	1,20	0,32

Estas son las gráficas que relacionan la ME y la RECM para cada método respectivamente en los meses de verano.



Gráfica 2.4.Comparación de la Media del Error para los meses de verano.



Gráfica 2.5. Comparación de la Raíz del Error Cuadrático Medio para los meses de verano.

2.7. Obtención del Año Típico-grados-día.

Teniendo en cuenta las características de los métodos anteriormente mencionados se escogió el desarrollado por investigadores del CEETA para crear un Año Típico, tipificando los grados-día de refrigeración para cada mes con una temperatura base variable. Se utilizaron 26 temperaturas base en el intervalo de 6°C hasta 32°C.

Se obtuvieron los grados-día de refrigeración tipificados con este método ya que trabaja con las temperaturas medias mensuales, algo muy importante, pues las empresas y entidades cubanas que utilizan un ciclo de refrigeración o calefacción, para conservar bienes o brindar servicios, analizan mensualmente sus parámetros energéticos, además la norma cubana NC 53-142, con la cual se trabaja en la confección del Año Típico-grados-día, brinda las temperaturas máximas y mínimas mensuales normalizadas, no las diarias ni las desviaciones

estándar mensuales, descartando así los métodos que utilizan la desviación estándar o temperaturas diarias u horarias para calcular los grados-día.

Para la obtención del Año Típico-grados-día se recurrió a la norma cubana NC 53-142 la cual establece los valores de las variables climáticas de Cuba utilizadas en el cálculo de las relaciones físicas que se originan entre el medio y las edificaciones (NC 53-142, 1985).

Las variables climáticas consideradas por la norma son las siguientes:

- Temperatura del aire
- Humedad relativa del aire
- Lluvia
- Nubosidad
- Viento

De estas variables la utilizada para realizar el Año Típico-grados-día fue la temperatura del aire, específicamente la temperatura mínima y máxima.

Para el cálculo de los grados-día de refrigeración tipificados se utilizaron las temperaturas máximas y mínimas de cada mes, obtenidas por la norma cubana NC 53-142 y una temperatura media normalizada la cual se calcula utilizando la temperatura media aritmética, donde:

$$Tm_a = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (2.4)$$

Tm_a : es la temperatura media aritmética resultante de las temperaturas mínimas y máximas tomadas de la norma NC 53-142.

T_{max} : es la temperatura máxima para cada mes, brindada por la norma NC 53-142

T_{min} : es la temperatura mínima para cada mes, brindada por la norma NC 53-142

$$T'_m = 0.7156 * Tm_a^{1.0992} \quad (2.5)$$

T'_m : es la temperatura media normalizada

Las constantes 0.7156 y 1.0992 se obtuvieron relacionando la temperatura media mensual (t_m), la cual es el promedio de todas las temperaturas diarias en el mes, y una temperatura media aritmética ($T_m'_a$) donde:

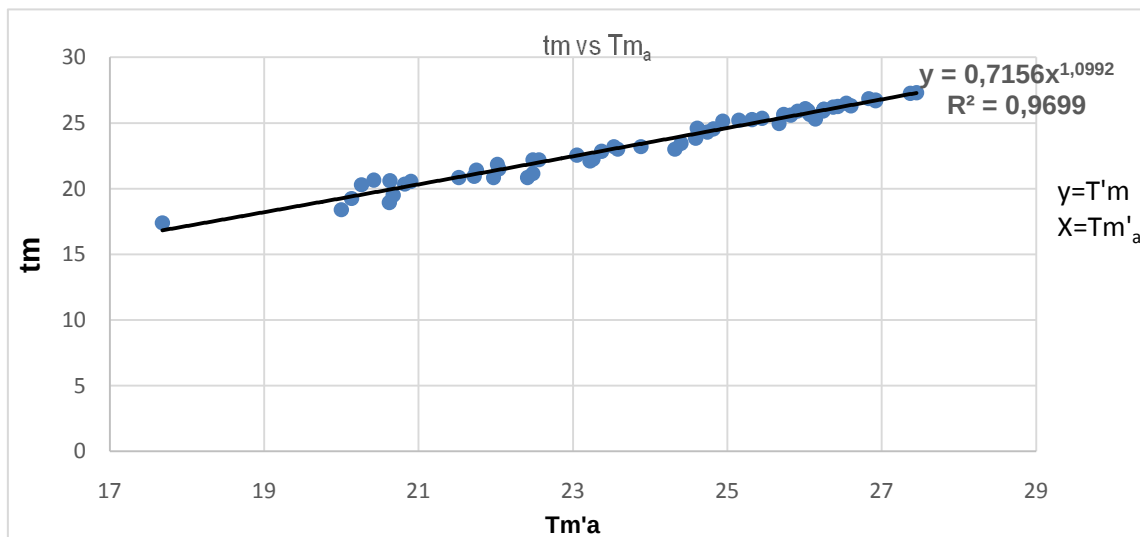
$$T_m'_a = \frac{t_{\min} + t_{\max}}{2} \quad (2.6)$$

$T_m'_a$: es la temperatura media aritmética resultante de las temperaturas máximas y mínimas de cada mes, obtenidas por el instituto de meteorología.

$t_{\min}$: es temperatura mínima del mes obtenida por el instituto de meteorología.

$t_{\max}$: es la temperatura máxima del mes obtenida por el instituto de meteorología.

En el siguiente gráfico se puede observar la curva exponencial resultado de t_m vs $T_m'_a$ ecuación (2.6) utilizando un gráfico de dispersión. El valor de regresión es de un 0.97 por lo que el valor de t_m normalizado (T'_m) es bastante cercano al real.



Gráfica 2.6. Gráfica que muestra la relación entre t_m y $T_m'_a$.

En la tabla 2.9 se obtuvieron las temperaturas medias normalizadas para cada mes mediante la ecuación (2.5).

Tabla 2.9. Representación de la temperatura media normalizada (T'm) para cada mes.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Tmax	26,8	27,4	29,1	30,5	31,2	31,5	32,7	32,6	31,8	30,1	27,8	26,5
Tmin	15,8	15,7	17,1	16,5	21,1	21,7	22,1	22,0	21,7	20,7	18,0	15,8
Tm_a	21,3	21,6	23,1	23,5	26,2	26,6	27,4	27,3	26,8	25,4	22,9	21,2
T'm	20,6	20,9	22,6	23,0	25,9	26,4	27,2	27,1	26,5	25,1	22,4	20,5

Calculadas las temperaturas medias normalizadas, utilizando la metodología de cálculo desarrollada por investigadores del CEETA, se obtuvo la tabla 2.11 la cual contiene los grados-día de refrigeración tipificados para cada mes en la ciudad de Santa Clara para una temperatura de base variable.

En ocasiones la temperatura base se hizo más pequeña que la temperatura mínima por lo que no fue necesario aplicar la metodología de cálculo del método que se escogió. Para calcular los grados-día de refrigeración tipificados en el intervalo $t_b \leq t_{min}$ se utilizó la ecuación:

$$GD_t = (T'm - t_b) * N \quad (2.7)$$

Donde

GD_t: son los grados-día de refrigeración tipificados

T'm: es la temperatura media normalizada

t_b: es la temperatura base

N: es el número de días del mes

En la tabla 2.10 se representan los valores de las variables utilizadas en la metodología para el cálculo de los grados-día de refrigeración tipificados en el mes de marzo. En este caso las temperaturas máximas y mínimas obtenidas por la norma NC 53-142 son 29,1°C y 17,1°C respectivamente.

Se utiliza la metodología desarrollada por investigadores del CEETA en el intervalo donde $17,1^{\circ}\text{C} \leq t_b \leq 29,1^{\circ}\text{C}$ y la ecuación (2.7) para $t_b \leq 17,1^{\circ}\text{C}$.

Tabla 2.10. Representación de los grados-día de refrigeración tipificados para una t_b variable en el mes de marzo.

N	T _{max}	T' _m	T _{min}	t _b	t _{mee}	ζ	t _{mee} (tm)	A	B	Z	t' _{mee} TM	Ze	Θ_{mee}	GD _{mee}
31	29,1	22,57	17,1	29	29,0	1,9	25,5	2,314	0,81	1,39	24,2	0,11	29	0
	29,1	22,57	17,1	28	28,5	1,9	25,5	2,314	0,81	1,39	24,2	0,11	28	0
	29,1	22,57	17,1	27	28,0	1,9	25,5	2,314	0,81	1,39	24,2	0,11	27	0,7
	29,1	22,57	17,1	26	27,4	1,9	25,5	2,314	0,81	1,39	24,2	0,11	26	7
	29,1	22,57	17,1	25	26,9	1,9	25,5	2,314	0,81	1,39	24,2	0,11	26	16
	29,1	22,57	17,1	24	26,3	1,9	25,5	2,314	0,81	1,39	24,2	0,11	25	28
	29,1	22,57	17,1	23	25,8	1,9	25,5	2,314	0,81	1,39	24,2	0,11	24	42
	29,1	22,57	17,1	22	25,2	1,9	25,5	2,314	0,81	1,39	24,2	0,11	24	59
	29,1	22,57	17,1	21	24,7	1,9	25,5	2,314	0,81	1,39	24,2	0,11	24	78
	29,1	22,57	17,1	20	24,1	1,9	25,5	2,314	0,81	1,39	24,2	0,11	23	99
	29,1	22,57	17,1	19	23,6	1,9	25,5	2,314	0,81	1,39	24,2	0,11	23	122
	29,1	22,57	17,1	18	23,1	1,9	25,5	2,314	0,81	1,39	24,2	0,11	23	146
	29,1	22,57	17,1	17										173
	29,1	22,57	17,1	16										204
	29,1	22,57	17,1	15										235
	29,1	22,57	17,1	14										266
	29,1	22,57	17,1	13										297
	29,1	22,57	17,1	12										328
	29,1	22,57	17,1	11										359
	29,1	22,57	17,1	10										390
	29,1	22,57	17,1	9										421
	29,1	22,57	17,1	8										452
	29,1	22,57	17,1	7										483
	29,1	22,57	17,1	6										514

Tabla 2.11. Año Típico-grados-día para la ciudad de Santa Clara con una temperatura base variable.

		tb																															
N	Meses	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>14</u>	<u>15</u>	<u>16</u>	<u>17</u>	<u>18</u>	<u>19</u>	<u>20</u>	<u>21</u>	<u>22</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>28</u>	<u>29</u>	<u>30</u>	<u>31</u>	<u>32</u>					
31	ENE	454	423	392	361	330	299	268	237	206	175	145	119	94	72	51	34	19	7														
28	FEB	418	390	362	334	306	278	250	222	194	166	139	116	94	74	56	40	26	14	5													
31	MAR	514	483	452	421	390	359	328	297	266	235	204	173	146	122	99	78	59	42	28	16	7	0,7										
30	ABR	510	480	450	420	390	360	330	300	270	240	210	183	158	135	114	94	75	58	43	30	18	10	3									
31	MAY	616	585	554	523	492	461	430	399	368	337	306	275	244	213	182	151	125	101	80	60	42	27	15	6	1							
30	JUN	611	581	551	521	491	461	431	401	371	341	311	281	251	221	191	161	132	108	86	66	48	32	19	9	3							
31	JUL	658	627	596	565	534	503	472	441	410	379	348	317	286	255	224	193	162	136	113	91	71	52	37	23	13	5	0,8					
31	AGO	655	624	593	562	531	500	469	438	407	376	345	314	283	252	221	190	159	134	110	88	68	50	35	22	11	4	0,5					
30	SEP	616	586	556	526	496	466	436	406	376	346	316	286	256	226	196	166	137	113	91	71	52	36	23	12	5	0,5						
31	OCT	591	560	529	498	467	436	405	374	343	312	281	250	219	188	157	127	102	80	59	41	25	13	5									
30	NOV	491	461	431	401	371	341	311	281	251	221	191	161	131	106	83	62	43	27	14	4												
31	DIC	449	418	387	356	325	294	263	232	201	170	140	114	90	68	48	31	17	6														

Capítulo 3. Análisis de resultados.

Obtenidas las gráficas que relacionan la magnitud del error (ME o RECM), para los meses de verano e invierno, se realiza un análisis para ver el comportamiento de ambos métodos con el objetivo de validar el desarrollado por investigadores de CEETA.

3.1. Análisis de los resultados para los meses de invierno.

Para los meses de invierno, como se puede observar en la gráfica 2.2, la mayor magnitud de la ME es de $3.46^{\circ}\text{C-día/mes}$ y es obtenida por el método desarrollado por investigadores del CEETA. Además, la diferencia máxima entre cada método es $2.13^{\circ}\text{C-día/mes}$ obtenida para $Z_b = 0$.

En la comparación de la RECM, establecida en la gráfica 2.3, los errores más significativos obtenidos para la ME aumentan, esto sucede por la manera en que la RECM los evalúa. Al igual que para la ME el error máximo se obtiene para una $Z_b = 0$, y en este caso toma un valor de $4.28^{\circ}\text{C-día/mes}$. La mayor diferencia entre ambos métodos es de $2.39^{\circ}\text{C-día/mes}$.

3.2. Análisis de los resultados para los meses de verano.

Para los meses de verano, para la ME, se obtiene un error máximo de $1.3^{\circ}\text{C-día/mes}$, como se puede observar en la gráfica 2.4. Este error se corresponde con el método desarrollado por los investigadores del CEETA. Para una $Z_b = 0$ se obtiene la diferencia máxima entre la ME de cada método, en este caso adquiere un valor de $0.9^{\circ}\text{C-día/mes}$.

Para la comparación de mediante la RECM, establecida en la gráfica 2.5, se obtiene un error máximo de $1.6^{\circ}\text{C-día/mes}$ para $Z_b = 0$. La diferencia máxima entre ambos métodos es de $1.1^{\circ}\text{C-día/mes}$.

3.3. Análisis del Año típico-gradoss-día.

En la tabla 2.11 están presentes los grados-día de refrigeración tipificados para cada mes en correspondencia con las temperaturas base.

Se puede observar que los mayores valores para los grados-día de refrigeración tipificados, para cada temperatura base, están en correspondencia con los meses de verano. Esto se debe a que en estos meses están presentes las mayores temperaturas del año. Se obtiene una temperatura base mayor de 32°C porque la temperatura exterior máxima, obtenida por la norma NC 53-142, es 32.7°C para el mes de julio.

Conclusiones.

1. Con una diferencia máxima de los errores introducidos por ambos métodos de $2.13^{\circ}\text{C-día/mes}$ para la ME y $2.39^{\circ}\text{C-día/mes}$ para la RECM, se puede afirmar que el método desarrollado por investigadores del CEETA calcula los grados-día de refrigeración con una exactitud similar al método realizado por Schoenau y Kehrig.
2. Se escogió la metodología realizada por Schoenau y Kehrig para realizar la comparación ya que este método es fácil de programar en cualquier hoja de cálculo, introduce un error aceptable en los resultados y además utiliza datos de entrada mensuales al igual que el método desarrollado por investigadores del CEETA.
3. Realizada la comparación se puede observar que los errores evaluados por la ME y la RECM para los meses de invierno adquieren los mayores valores para ambos métodos, esto es resultado de la diferencia entre la temperatura máxima y mínima, la cual toma valores superiores a los meses de verano. Los resultados máximos de la evaluación de los errores para el método desarrollado por Schoenau y Kehrig y el realizado por investigadores del CEETA, en estos meses, son de $2.29^{\circ}\text{C-día/mes}$ y 3.46°C/mes respectivamente para la ME y $2.92^{\circ}\text{C-día/mes}$ y $4.28^{\circ}\text{C-día/mes}$ respectivamente para la RECM.
4. Es posible mediante la aplicación del modelo desarrollado por investigadores del CEETA, obtener valores típicos mensuales de los resultados del cálculo de los grados-día, al introducir como variables de entradas las normales climatológicas: temperatura media T_m , temperatura máxima $T_{\max}$ y la temperatura mínima $T_{\min}$, de las temperaturas medias diarias mensuales.

Recomendaciones.

1. Se recomienda calcular los parámetros A y B para otras regiones del país con el objetivo de facilitar la utilización del método desarrollado por investigadores del CEETA.
2. Continuar la profundización en las aplicaciones de los grados-día para usos de la refrigeración.
3. Realizar un estudio del Año Típico-grados-día realizado en este documento con el objetivo validar su uso.

Bibliografía.

1. 13790, B. E. I. (2004). Thermal performance of buildings. Calculation of building energy demand for heating.
2. A.R. Day, T. G. K. (1998). "Degree-days: comparison of calculation methods, Building Services Engineering Research and Technology."
3. Almaguer, M. (2016). "Herramienta para la generación del año meteorológico típico"
4. Broche, R. L. G. (2016). "Obtención de la temperatura base para el Hospital Arnaldo Milián Castro, con la aplicación y comparación de diferentes métodos de cálculo de los Grados día.".
5. Ciulla G., L. B. V. M. E. (2015). "Degree Days and Building Energy Demand."
6. Day, T. (2006). "Degree-days: theory and application."
7. Didier Thevenard (2011). "Methods for Estimating Heating and Cooling Degree-Days to Any Base Temperature."
8. González, G. S. and R. O. Rodríguez "Estudio de los Días-Grado con fines térmicos en Santa Clara Study of Day-Grade for Thermal Purposes in Santa Clara."
9. Handbook, A. (2009). "ASHRAE Handbook–Fundamentals." Atlanta, GA.
10. Mourshed, M. (2012). "Relationship between annual mean temperature and degree-days."
11. Normalizacion, C. E. d. (1985). "NC 53-142 Variables climáticas para la física de la arquitectura."
12. Polaino de los Santos. Lazara, o. (1997). " Instalación de Climatización ".
13. Ruiz de Adana , M. (2002). "Aplicación de la dinámica de fluidos computacional al control de mermas de vino en naves de crianza climatizadas."
14. Q., Z. (2005). "Climatic zoning for the thermal design of residences in China based on heating degree-days and cooling degree-hours." J Asian Archit Build Eng

15. R, G. (1941). Degree-days' J. Inst. Heating Ventilating Engineers
16. Geleenis, J. J. (2009). "A simplified quadratic expression for the approximate estimation of heating degree-days to any base temperature." Applied Energy**86**(10): 1986-1994.
17. Oktay Z, C. C., Dincer I (2012). "A new approach for predicting cooling degree hours and energy requirements in buildings." Energy**36**(8): 4855–4863.
18. J, H. M. (1980). "Degree day methods."
19. ONE. (2009). AE Anuario Estadístico Separata. *Edición 2010, 2011*.
20. Shorter, J. A., et al. (2002). Skillful Seasonal Degree-day Forecasts and Their Utility in the Weather Derivative Market. 16 th Conference on Probability and Statistics in the Atmospheric Sciences.
21. Betancourt, D. (2016). "Medición del error en pronósticos de demanda."

Anexos.

Para la ciudad de Santa Clara se calculan los grados-día de refrigeración en los años (2009-2013) utilizando la metodología desarrollada por investigadores del CEETA. Se utilizaron los datos aportados por el instituto de meteorología para dicha ciudad.

Se calculan los grados-día de refrigeración para el intervalo $t_{min} \geq t_b \geq t_{max}$ por el método desarrollado por investigadores del CEETA. Para $t_{min} \geq t_b$ los grados-día de refrigeración se calculan utilizando la ecuación:

$$GD_{t_{min} \geq t_b} = (t_m - t_b) * N$$

Para $t_{max} \leq t_b$ los grados-día de refrigeración son 0.

Anexo 1. Tabla que representa los grados-día de refrigeración para la ciudad de Santa Clara para el año 2009.

2009					tb																							
Mes	N	tmax	tm	tmin	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
Ene	31	24,5	20,7	14,5	455	424	393	362	331	300	269	238	207	176	145	117	90	66	45	26	12	3	0					
Feb	28	23,2	20,0	13,6	392	364	336	308	280	252	224	196	167	139	111	86	62	41	24	11	2	0						
Mar	31	25,7	21,5	16,0	481	450	419	388	357	326	295	264	233	202	171	142	114	88	65	44	27	13	4	0				
Abr	30	26,5	24,3	19,5	550	520	490	460	430	400	370	340	310	280	250	220	190	160	129	99	71	46	25	10	1			
May	31	27,0	24,9	23,3	587	556	525	494	463	432	401	370	339	308	277	246	215	184	153	122	91	60	33	12	0			
Jun	30	27,3	25,8	23,9	595	565	535	505	475	445	415	385	355	325	295	265	235	205	175	145	115	85	55	28	9	0		
Jul	31	28,8	27,5	25,8	665	634	603	572	541	510	479	448	417	386	355	324	293	262	231	200	169	138	107	76	45	20	3	
Ago	31	28,1	26,9	25,3	649	618	587	556	525	494	463	432	401	370	339	308	277	246	215	184	153	122	91	60	30	8	0	
Sep	30	27,5	26,4	24,9	611	581	551	521	491	461	431	401	371	341	311	281	251	221	191	161	131	101	71	41	16	1		
Oct	31	27,8	25,7	22,1	610	579	548	517	486	455	424	393	362	331	300	269	238	207	176	145	114	84	56	33	15	3		
Nov	30	25,6	23,3	18,9	518	488	458	428	398	368	338	308	278	248	218	188	158	128	98	70	45	25	9	1				
Dic	31	25,9	23,2	18,3	534	503	472	441	410	379	348	317	286	255	224	193	162	131	101	74	49	29	13	3				

Anexo 2. Tabla que representa los grados-día de refrigeración para la ciudad de Santa Clara para el año 2010.

2010					tb																											
Mes	N	tmax	tm	tmin	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28					
Ene	31	25,5	20,1	13,0	438	407	376	345	314	283	244	221	192	164	137	112	89	67	48	32	19	8	2	0								
Feb	28	25,1	20,3	15,5	399	371	343	315	287	259	256	203	175	147	121	96	74	54	36	21	9	2	0	0								
Mar	31	26,5	20,6	14,7	454	423	392	361	330	299	268	237	206	175	148	123	99	77	57	40	25	13	4	0								
Abr	30	26,8	23,5	19,6	526	496	466	436	406	376	346	316	286	256	226	196	166	136	107	81	57	36	19	7	1							
May	31	27,6	26,3	24,5	628	597	566	535	504	473	442	411	380	349	318	287	256	225	194	163	132	101	70	40	16	1						
Jun	30	28,6	27,4	25,9	641	611	581	551	521	491	461	431	401	371	341	311	281	251	221	191	161	131	101	71	41	16	1					
Jul	31	28,4	26,8	25,3	646	615	584	553	522	491	460	429	398	367	336	305	274	243	212	181	150	119	88	57	29	9	0					
Ago	31	28,6	26,9	24,9	649	618	587	556	525	494	463	432	401	370	339	308	277	246	215	184	153	122	91	52	29	10	1					
Sep	30	27,4	26,0	24,4	601	571	541	511	481	451	421	391	361	331	301	271	241	211	181	151	121	91	61	33	11	0						
Oct	31	26,3	24,6	22,9	577	546	515	484	453	422	391	360	329	298	267	236	205	174	143	112	81	50	24	6	0							
Nov	30	25,3	22,0	18,4	481	451	421	391	361	331	301	271	241	211	181	151	121	92	66	44	25	10	1	0								
Dic	31	22,6	17,7	12,2	362	331	300	269	238	207	176	146	118	92	68	46	28	13	3	0	0	3	17	39								

Anexo 3. Tabla que representa los grados-día de refrigeración para la ciudad de Santa Clara para el año 2011.

2011					tb																							
Mes	N	tmax	tm	tmin	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27		
Ene	31	24,3	20,8	16,4	459	428	397	366	335	304	273	242	211	180	149	119	91	66	43	24	10	1	0					
Feb	28	24,3	21,8	18,5	441	413	385	357	329	301	273	245	217	189	161	133	105	78	53	31	14	3	0					
Mar	31	26,0	22,0	17,0	497	466	435	404	373	342	311	280	249	218	187	156	128	101	76	54	35	19	8	1	0			
Abr	30	26,6	25,2	23,8	575	545	515	485	455	425	395	365	335	305	275	245	215	185	155	125	95	65	35	12	0			
May	31	26,8	25,3	23,7	599	568	537	506	475	444	413	382	351	320	289	258	227	196	165	134	103	72	42	17	2	2		
Jun	30	27,9	25,9	23,9	597	567	537	507	477	447	417	387	357	327	297	267	237	207	177	147	117	87	58	33	13	1		
Jul	31	27,8	26,4	24,7	633	602	571	540	509	478	447	416	385	354	323	292	261	230	199	168	137	106	75	45	19	3		
Ago	31	27,8	26,6	24,8	639	608	577	546	515	484	453	422	391	360	329	298	267	236	205	174	143	112	81	50	22	4		
Sep	30	27,6	26,0	24,6	600	570	540	510	480	450	420	390	360	330	300	270	240	210	180	150	120	90	60	32	10	0		
Oct	31	26,6	24,6	22,2	578	547	516	485	454	423	392	361	330	299	268	237	206	175	144	113	82	53	28	10	0			
Nov	30	25,1	22,6	19,3	497	467	437	407	377	347	317	287	257	227	197	167	137	107	78	52	30	13	2	0				
Dic	31	23,9	21,7	18,0	487	456	425	394	363	332	301	270	239	208	177	146	115	84	56	32	13	2						

Anexo 4. Tabla que representa los grados-día de refrigeración para la ciudad de Santa Clara para el año 2012.

2012					tb																											
Mes	N	tmax	tm	tmin	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28					
Ene	31	23,5	20,6	14,4	453	422	391	360	329	298	267	236	205	173	141	111	83	57	35	18	6	0										
Feb	29	24,6	22,4	17,1	476	447	418	389	360	331	302	273	244	215	186	157	126	97	69	45	24	9	1									
Mar	31	25,4	23,1	19,7	529	498	467	436	405	374	343	312	281	250	219	188	157	126	95	66	41	20	6	0								
Abr	30	25,8	23,6	20,2	527	497	467	437	407	377	347	317	287	257	227	197	167	137	107	78	52	29	12	2								
May	31	26,8	24,8	22,3	583	552	521	490	459	428	397	366	335	304	273	242	211	180	149	118	87	58	33	13	2							
Jun	30	28,2	26,0	23,7	600	570	540	510	480	450	420	390	360	330	300	270	240	210	180	150	120	90	61	37	17	4	0					
Jul	31	28,0	26,1	22,6	624	593	562	531	500	469	438	407	376	345	314	283	252	221	190	159	128	97	68	42	20	6	0					
Ago	31	27,8	26,2	24,0	627	596	565	534	503	472	441	410	379	348	317	286	255	224	193	162	131	100	69	41	18	3						
Sep	30	27,7	26,0	24,2	601	571	541	511	481	451	421	391	361	331	301	271	241	211	181	151	121	91	61	34	13	1						
Oct	31	26,9	24,4	20,0	570	539	508	477	446	415	384	353	322	291	260	229	198	167	136	106	78	53	31	14	3							
Nov	30	23,3	20,9	17,8	447	417	387	357	327	297	267	237	207	177	147	117	87	59	35	15	3	0										
Dic	31	25,1	22,0	16,6	495	464	433	402	371	340	309	278	247	216	154	124	96	70	47	27	13	3	0									

Anexo 5. Tabla que representa los grados-día de refrigeración para la ciudad de Santa Clara para el año 2013.

2013					tb																											
Mes	N	tmax	tm	tmin	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28					
Ene	31	24,4	22,5	20,0	511	480	449	418	387	356	325	294	263	232	201	170	139	108	77	48	24	6	0									
Feb	28	25,7	22,5	16,6	461	433	405	377	349	321	293	265	237	209	181	153	126	100	76	54	35	19	8	1								
Mar	31	25,6	20,4	15,7	447	416	385	354	323	292	261	230	199	168	138	111	87	64	44	27	13	4	0	0								
Abr	30	26,2	24,6	21,5	558	528	498	468	438	408	378	348	318	288	258	228	198	168	138	108	78	49	25	7	0							
May	31	26,4	24,7	22,2	581	550	519	488	457	426	395	364	333	302	271	240	209	178	147	116	85	55	29	10	0							
Jun	30	27,6	26,3	24,5	608	578	548	518	488	458	428	398	368	338	308	278	248	218	188	158	128	98	68	38	15	1						
Jul	31	27,7	26,1	23,6	622	591	560	529	498	467	436	405	374	343	312	281	250	219	188	157	126	95	65	37	16	2						
Ago	31	28,2	26,5	24,8	637	606	575	544	513	482	451	420	389	358	327	296	265	234	203	172	141	110	79	48	23	6	0					
Sep	30	27,1	25,7	24,2	592	562	532	502	472	442	412	382	352	322	292	262	232	202	172	142	112	82	52	25	6	0						
Oct	31	27,1	25,5	23,6	603	572	541	510	479	448	417	386	355	324	293	262	231	200	169	138	107	76	46	21	5	0						
Nov	30	25,6	23,9	20,8	536	506	476	446	416	386	356	326	296	266	236	206	176	146	116	86	57	32	12	1								
Dic	31	24,7	23,4	21,0	538	507	476	445	414	383	318	321	290	259	228	197	166	135	104	73	42	43	17	2								

