



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

Facultad de Ingeniería Mecánica

Departamento de Energía

Trabajo de diploma

Título: 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.

Autor: Roger Lester González Broche

Tutor: Msc. Ovidio Rodríguez Santos

Santa Clara

2016



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

Agradecimientos

A mi madre que ha luchado incesantemente por ver concretada esta realidad de la cual ella es protagonista, por su dedicación y por haberme dado la fuerza y voluntad para seguir por el camino correcto.

A mi padre que con su ternura y amor infinito me ha brindado su valiosísima ayuda, por ser paciente, por su confianza y dedicación.

Al tutor Ovidio Rodríguez Santos por su consagración por haber trabajado arduamente en la realización de este trabajo.

A mi abuela que me han apoyado a lo largo de toda mi carrera.

A todos mis familiares por darme fuerzas en cada momento para alcanzar mis objetivos.

A los buenos amigos que he hecho a lo largo de mis años de estudios, a ellos gracias por resistirme y estar conmigo en los momentos buenos y malos y a otros que aunque no menciono los tengo presentes

A todos los profesores que tuvieron que ver con mi formación profesional a lo largo de toda mi vida como estudiante.

A todas aquellas personas que de una forma u otra han contribuido en la realización de este sueño.

...a todos muchas gracias...

Resumen

Resumen

En el presente trabajo de diploma se realizó un análisis sobre los distintos métodos para el cálculo de los grados-día que pueden ser aplicados. Tomando como muestra el método de Schoenau-Kehrig y el del Msc. Ovidio Rodríguez Santos, comparando ambos métodos con el modelo calculado con los datos meteorológicos reales de Santa Clara comprobando de esta manera la efectividad de dichos métodos, realizados gracias al Microsoft Excel como se muestra en el capítulo II. Seguidamente en el capítulo III se realizó una caracterización general del Hospital Clínico Quirúrgico "Arnaldo Milián Castro" y se analizó mediante un método gráfico-analítico tomando diferentes temperaturas bases el método de los grados-días dando una temperatura base real de $21,5^{\circ}\text{C}$ aplicado dicho procedimiento para las condiciones meteorológicas de la ciudad de Santa Clara.

Summary

Summary

In this work we will make an analysis of the various methods for calculating degree-days that can be applied. Taking as example the method of Schoenau-Kehrig and the Msc. Ovidio Rodríguez Santos, comparing both methods with the calculated model with actual weather data verifying Santa Clara thus the effectiveness of such methods, with the software Microsoft Excel is made as shown in Chapter II. Then in Chapter III a general characterization of the Surgical Hospital "Arnaldo Milián Castro" was performed and analyzed by a graphic-analytical method taking different temperatures basis method degree days giving a real base temperature of 21.5 ° C applied this procedure to the weather conditions of the city of Santa Clara.

Índice

Índice

Introducción	1
Hipótesis	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	3
Capítulo I: Estudio sobre el método de los Grados-día.....	4
1.1 Introducción y uso de los Grados-día.....	4
1.2 Introducción a la temperatura base.....	5
1.3 Métodos para calcular los Grados Días	5
1.3.1 Grados día de Enfriamiento.....	6
1.3.2 Grados día de Calentamiento:.....	6
1.4 Modelos para calcular los Grados Días según otros métodos	8
1.4.1 Método para el cálculo de los Grados Día según Erbs.....	8
1.4.2 Método para el cálculo de los Grados-Día según Hitchin	9
1.4.3 Método para el cálculo de los Grados-Día según Thom.....	10
1.4.4 Método para el cálculo de los Grados-día según Schoenau-Kehrig.....	11
Capítulo II: Desarrollo del procedimiento de cálculo.....	14
2.1 Modelo para el cálculo de los Grados días mensuales de calentamiento y refrigeración con temperatura base variable	14
2.2 Aplicación del método calculado con los valores meteorológicos reales de la ciudad de Santa Clara.....	20
2.3 Aplicación del método de Schoenau-Kehrig.....	22
2.4 Conclusiones parciales	26

Índice

Capítulo III: Caracterización energética del Hospital Arnaldo Milián Castro (HAMC)	27
3.1 Caracterización del hospital Arnaldo Milián Castro	27
3.2 Climatización en hospitales.....	28
3.3 Caracterización energética del Hospital Arnaldo Milián Castro.....	30
3.4 Descripción de las fuentes de suministro de energía eléctrica.....	30
3.5 Análisis energético	30
3.6 Principales portadores energéticos utilizados en el hospital durante los años 2010, 2011 y 2012	32
3.7 Método para calcular el consumo de energía mensual.....	35
3.8 Análisis para determinar la temperatura base mediante Microsoft Excel	36
3.9 Conclusiones Parciales	40
Conclusiones generales	41
Recomendaciones	42
Bibliografía	43
Anexos	45

Introducción

Introducción

Desde épocas tan tempranas como en la segunda mitad del siglo XIX se notó la necesidad de introducir un parámetro que estando ligado a la temperatura ambiental, permitiera relacionar de manera práctica el sistema energía-clima, destacándose para ello el término Grados-día.(Aramís Fonte Hernandez, 2005). El origen de la teoría de grados-día puede ser realmente en el sector no energético. Su fundador es un Inglés científico naturalista y político Richard Strachey [1817-1908], que introdujo Grados día de para describir la fase vegetativa del desarrollo de la planta, iniciativa a la temperatura de base de 5,6 ° C. La teoría de Grados día todavía se utiliza en la biología y la agricultura por esta razón, así como para la determinación del potencial de la distribución geográfica de las plantas. (Richard, 1878)

El uso de los Grados días para los problemas de calentamiento parece haberse originado en la industria del gas en América. Duffton en 1934 llamó la atención de los ingenieros británicos a su valor, a ser seguido por demostraciones de su correlación con el consumo de combustible. La primera aplicación registrada de Grados día a los edificios se origina en los Estados Unidos con la Asociación Americana de Gas en 1920 (ASHVE, 1933). Se ha demostrado (estadísticamente) que el consumo de combustible en las viviendas varió en proporción de Grados-día a una temperatura base de 65 ° F (18.3 ° C), asumiendo un punto de ajuste interno de 70°F. Esto llevó a la idea de que las ganancias internas contribuyeron a un aumento de 5°C en la temperatura interna.(R, 1941)

Los fundamentos del uso moderno se establecieron en la década de 1940 por una serie de documentos en el Diario de la Institución de Calefacción y Ventilación de Ingenieros. El más importante fue el ideado por McVicker, que en 1946, donde abordó los temas de cálculo de Grados día y su uso como herramienta de predicción y vigilancia. Una de las grandes mejoras fueron las exploradas por Cornell en 1958, que sugirió la ocupación intermitente de los edificios y que se debe utilizar el término

Introducción

de "día fraccionado" con diferente temperatura base para el día y la noche para el cálculo de Grados-día.(NC 53-142, 1985)

Otros modelos de estimación de Grados día se han propuesto, con distintas modificaciones incluidas, por ejemplo, la utilización de las ganancias por ejemplo, Hitchin y Hyde, en 1979 (Office, 1928); (H. M. J, 1980) propuso un modelo que calcula la media de la temperatura interna de un edificio ocupado de forma intermitente, y la temperatura base se determina a partir de esto.

Problema científico:

En la literatura se conocen varios métodos para el cálculo de los Grados días, la selección de uno de ellos para una aplicación concreta depende del análisis de los valores meteorológicos de temperatura del lugar al que se le va a aplicar el modelo en este caso al Hospital Arnaldo Milián Castro. Se recomienda los métodos de Ovidio Rodríguez Santos y el de Schoenau y Kehrig para el cálculo de los Grados días mensuales de enfriamiento y calentamiento con temperatura base variable, donde una de los problemas es ¿cómo determinar una temperatura base específica de refrigeración para el Hospital Arnaldo Milián Castro, utilizando el método más factible?

Hipótesis:

Es posible establecer mediante la aplicación de varios métodos de cálculo con el fin de obtener los valores de los Grados día en la ciudad de Santa Clara, y aplicar un método gráfico analítico mediante gráficos de dispersión para lograr de esta manera la temperatura base específica para el Hospital Arnaldo Milián Castro.

Objetivo general:

Establecer una comparación entre los métodos calculados siendo estos el del profesor Ovidio Rodríguez Santos y el de Schoenau y Kehrig con el modelo calculado con los valores meteorológicos reales de Santa Clara que permita seleccionar un modelo que cumpla con las variables de entradas del lugar al que se le vaya a aplicar y logré la mayor exactitud al ser comprobado. En este trabajo

Introducción

también se realizará un modelo gráfico-analítico que podrá determinar la temperatura base existente en el Hospital Arnaldo Milián Castro de la ciudad de Santa Clara.

Objetivos específicos:

1. Aplicación de varios métodos para el cálculo de los Grados días mensuales de calentamiento y refrigeración con temperatura base variable, a la región de la ciudad de Santa Clara, usando datos meteorológicos para un período de 2009 al 2013.
2. Establecer la precisión de los métodos utilizados, mediante la comparación entre los resultados obtenidos con los valores reales, los obtenidos de la aplicación del método de Schoenau y Kehrig, y los del método de Ovidio Rodríguez Santos a la localidad de Santa Clara.
3. Aplicar un procedimiento gráfico-analítico para determinar la temperatura base de refrigeración para el Hospital Arnaldo Milián Castro mediante el uso del programa Microsoft Office Excel.

Capítulo I

Capítulo I: Estudio sobre el método de los Grados-día

1.1 Introducción y uso de los Grados-día

Los Grados día son muy importante para calcular la demanda energética tanto en frío como en calor de un determinado sistema de climatización. Por ello es imprescindible conocer, usar y saber calcular este parámetro climático.(Rodríguez, 2013)

Los Grados-día son esencialmente la suma de las diferencias de la temperatura base de referencia y la temperatura media diaria exterior. La temperatura de referencia que se conoce como la temperatura base es diferente para cada edificación, es una temperatura del punto de equilibrio, es decir, la temperatura exterior en el que los sistemas de calentamiento (o enfriamiento), no necesita ejecutarse con el fin de mantener condiciones de confort. Cuando la temperatura exterior sea superior a la temperatura base, el sistema de climatización debe proporcionar frío. Dado que la ganancia de calor de un edificio es directamente proporcional a la diferencia entre la temperatura exterior e interior, se deduce que el consumo energético de un edificio con climatización durante un período de tiempo debe estar relacionado con la suma de estas diferencias de temperatura en este período.(ONE, 2009)

Los Grados día son un parámetro importante a considerar para la definición de las estrategias de diseño o los requerimientos de climatización (natural o artificial) y, por lo tanto, la demanda de energía de una edificación. Los Grados día se pueden definir como los requerimientos de calentamiento o enfriamiento (en grados centígrados o Kelvin), necesarios para alcanzar la zona de confort, acumulados en un cierto período de tiempo (generalmente un mes; aunque podrían ser semanales, o incluso horarios). Esta temperatura de confort es la temperatura base (TB) fijada.(Rodríguez, 2013)

Los Grados-día calculados por cualquier técnica se pueden aplicar ya sea para crecimiento de los cultivos o en aplicaciones de cálculos de sistemas energéticos. Lo

Capítulo I

que hace los dos usos diferentes, es la elección de la temperatura base de referencia, la forma en que se selecciona, y lo que luego se hace con el total resultante de grados-día. Los Grados Días tienen diferentes usos uno de ellos es en las edificaciones teniendo como principal aporte estimar el consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono debido a la calefacción y la refrigeración, para el monitoreo continuo de la energía y el análisis energético de nuevas construcciones y de los edificios existentes, sobre la base de datos históricos. Los primeros pueden ser utilizados con el fin de establecer los presupuestos de energía, y obtener un rendimiento aproximado del edificio con los patrones típicos. Este último puede ser utilizado para evaluar el rendimiento en uso e identificar los cambios en los patrones de consumo, y establecer futuros objetivos de consumo de energía. (CIBSE, 2006)

1.2 Introducción a la temperatura base

La temperatura base es la temperatura de referencia que se utiliza para el cálculo de los Grados-días. La misma es diferente para cada edificación, es una temperatura del punto de equilibrio, es decir, la temperatura exterior en el que los sistemas de calentamiento (o enfriamiento), no necesita ejecutarse con el fin de mantener condiciones de confort (G. J, 1990). La temperatura base para aplicaciones de refrigeración se puede definir también como la temperatura exterior en que la planta de refrigeración no es necesario operar para satisfacer las necesidades de espacio de refrigeración

1.3 Métodos para calcular los Grados Días

Los grados de un período determinado de tiempo (una semana, un mes, etc.) son la suma, para todos los días de ese período de tiempo, de la diferencia entre una temperatura fija o base de los Grados día (16, 18, 20, 22, 25°C) y la temperatura media del día. Cuando esa temperatura media diaria sea inferior a la temperatura base, obtendremos los Grados día de calentamiento; si, por el contrario, esa temperatura media diaria es superior a la base, obtendremos los Grados día de

Capítulo I

enfriamiento. Así que podemos tener dos tipos de Grados día: de calentamiento o de enfriamiento. (Rodríguez, 2013)

1.3.1 Grados día de Enfriamiento

Es un indicador del grado de rigurosidad climática de un sitio ya que relaciona la temperatura media con una cierta temperatura de confort para refrigeración. Se define como la suma de las diferencias horarias de la temperatura máxima media del aire exterior superior a una temperatura base de refrigeración, con respecto a este valor para todos los días del año.

Para su determinación es usual utilizar la siguiente expresión simplificada:

$$GD_e = \sum_{i=1}^n \frac{T_{m\acute{a}x} - TBe}{2} * N_i * X_e \quad (1.1)$$

Dónde:

TBe → es la temperatura base de calefacción (20, 23, 25 °C)

Tmáx → es la temperatura máxima (diaria o mensual)

Ni → es la cantidad de días del mes considerado

Xe → es un coeficiente lógico que valdrá 1 cuando la temperatura máxima media sea mayor a la TBe y cero cuando sea menor.

Este indicador climático es utilizado por normas de varios países para clasificar el clima para uso en Eficiencia energética edilicia, limitar las cargas térmicas en refrigeración de los edificios, facilitar la determinación de cargas térmicas anuales o mensuales en refrigeración, entre otros.

1.3.2 Grados día de Calentamiento:

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

Capítulo I

costo de los sistemas solares no sea excesivo y a la vez, sea suficiente para cubrir las necesidades de calefacción. (Aramís Fonte Hernandez, 2005)

$$GD_{cal} = \sum_{i=1}^n (TB_c - \frac{T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n}}{2} * N_i * X_c \quad (1.2)$$

Dónde:

TBc → es la temperatura base de calefacción (16, 18, 20, 22°C)

Tmáx → es la temperatura máxima (diaria o mensual)

Tmín → es la temperatura mínima (diaria o mensual)

Ni → es la cantidad de días del mes considerado

Xc → es un coeficiente lógico que valdrá 1 cuando la temperatura media mensual sea menor a la TBc y cero cuando sea mayor

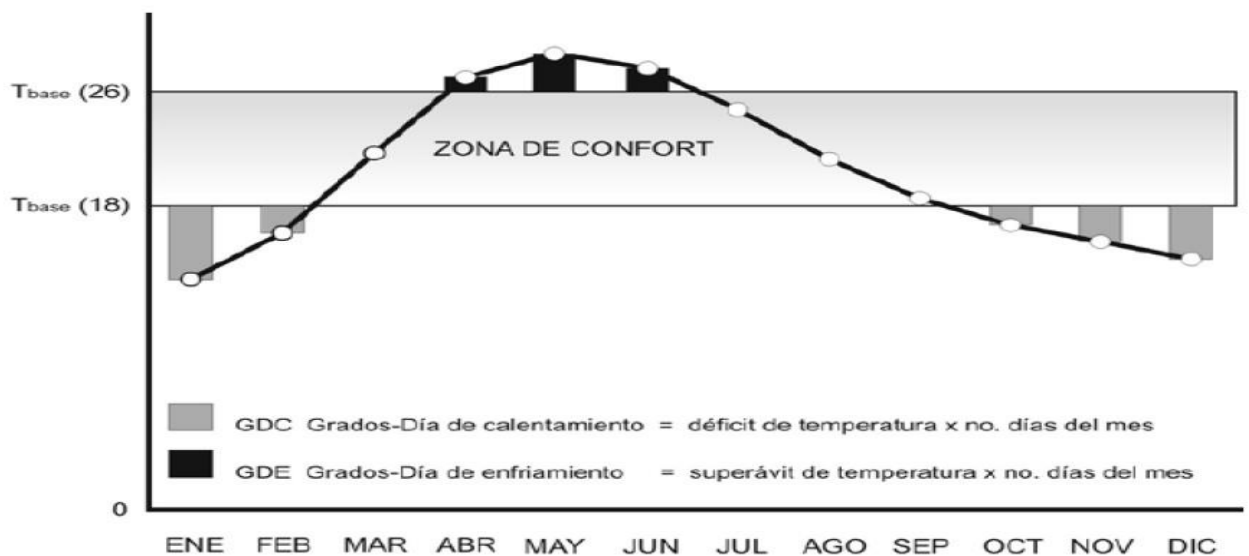


Figura 1.1 En la siguiente gráfica se puede ver la diferencia entre Grados día de calentamiento y de enfriamiento a diferentes temperaturas bases.

Capítulo I

1.4 Modelos para calcular los Grados Días según otros métodos

1.4.1 Método para el cálculo de los Grados Día según Erbs

Una de las vías para calcular los Grados-día mediante las temperaturas promedio mensuales, es el método desarrollado por Erbs en 1983 (ONE, 2009). 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 $Dm (18-Ta)$ para los grados-día de calentamiento y $Dm (Ta-18)$ para los Grados-día de enfriamiento, donde Dm es el número de días del mes y Ta 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. Para compensar esto, el método de Erbs calcula la desviación estándar de la temperatura media mensual alrededor del año (σ_y), y la media diaria alrededor del 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. Los Grados-día durante el mes pueden ser entonces calculado como:

$$GD_m = \sigma_m * (Dm)^{1.5} * \left[\frac{h}{2} + \frac{\ln(e^{-ah} + e^{ah})}{2a} \right] \quad (1.3)$$

Dónde:

$$h = (T_{base} - Ta) / [\sigma_m (Dm)^{1/2}] \text{ (para el cálculo de grados-día de calefacción),}$$

$$h = (Ta - T_{base}) / [\sigma_m (Dm)^{1/2}] \text{ (para el cálculo de grados-día de enfriamiento),}$$

$$a = 1.698(Dm)^{1/2},$$

$\sigma_m = 1.45 - 0.29Ta + 0.664\sigma_y$. (Esta fórmula está concebida para las condiciones meteorológicas del Reino Unido)

La ecuación para σ_m que se ajuste a las condiciones del Caribe es:

$$\sigma_m = 3.54 - 0.029Ta + 0.00644\sigma_y$$

Capítulo I

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.

1.4.2 Método para el cálculo de los Grados-Día según Hitchin

Ha habido varios esfuerzos por calcular grado-días a partir de los datos de tiempo reducidos, por ejemplo Erbs (ONE, 2009), basado en el análisis estadístico de distribuciones de temperatura truncadas. Éstos son normalmente basados en la temperatura media mensual y la desviación estándar a lo largo del mes. (Hitchin, 1981) propuso una fórmula relativamente simple para los Grados-día de calefacción que mostró una buena correlación con el clima del Reino Unido. La fórmula de Hitchin es:

$$D_m = \frac{N_m * (T_b - T_m)}{1 - e^{-k * (T_b - T_m)}} \quad (1.5)$$

Dónde:

D_m = Grados-Día mensual.

N_m = Número de días del mes.

T_b = Temperatura base.

T_m = Temperatura promedio mensual

k = Constante de la localidad

La constante de la localidad k es igual a:

Capítulo I

$$k = \frac{2.5}{\sigma_t}$$

Dónde:

σ_t = Desviación estándar de las temperaturas del mes.

1.4.3 Método para el cálculo de los Grados-Día según Thom

Thom ideó un método para estimar los valores medios de los Grados-día para cualquier temperatura base utilizando medios mensuales y desviaciones estándar de la temperatura del aire. El método se basa en la suposición de que la temperatura se distribuye normalmente y utiliza factores empíricos derivados de los datos del tiempo de América del Norte. El método se aplicó a Heathrow datos del tiempo para el mismo período utilizado para el cálculo directo de Grados día. A todas las temperaturas de bases entre 5 y 20 ° C los valores medios anuales de acuerdo en el plazo de 1 por ciento. Acuerdo que fue menos satisfactorio para los valores mensuales, especialmente cuando la temperatura media fue de cerca de la temperatura base. En febrero, por ejemplo había una discrepancia de 10 por ciento o más a temperaturas de base por debajo de 8 ° C. el método de Thom no tiene ningún medio de la inclusión de las variaciones de temperatura diurnas y esto puede ser la fuente de las discrepancias. Los datos de Heathrow sugieren que los factores empíricos en el método deben a sí mismos varían de mes a mes. También pueden ser dependientes del sitio.

Para estimar el modelo de Grados días variables, se requiere la capacidad de calcular fácilmente grado días de diversas temperaturas de referencia. Para este estudio, tomamos ventaja del hecho de que la CNDC ha empleado un procedimiento bastante sencillo para estimar días mensuales del grado de temperaturas medias mensuales (desarrollado durante los años 1950 y 1960 por H.C.S. Thom). El desarrollo de este procedimiento fue motivado por la falta de las temperaturas medias diarias consistentes para muchas estaciones meteorológicas. El método Thom se basa en la observación de que las temperaturas medias de un día en particular a través de una serie de años se distribuyen normalmente. La

Capítulo I

implementación real de la especificación Thom se basa en la construcción de la variante normalizada h, donde h se define como:

$$DD_{bm} = N(T_b - T_m + YS_M N^{\frac{1}{2}}) \quad (1.6)$$

Donde

D → es el valor medio mensual de grado día

T_b → es la temperatura base

T_m → es la temperatura exterior media del mes

N → es el número de días del mes

Sm → es la desviación estándar de la temperatura media mensual 1 es un factor empírico

1.4.4 Método para el cálculo de los Grados-día según Schoenau-Kehrig

El método fue desarrollado por Schoenau y Kehrig y es uno de los métodos ampliamente adoptado. Teniendo en cuenta que este método utiliza la desviación de las temperaturas medias diarias alrededor de la media mensual, en comparación con el método de la espina que utiliza la desviación estándar de las temperaturas medias mensuales de año en año. Se considera la desviación estándar más apropiado para ser utilizado en el cálculo, el único supuesto hecho es que por cada mes las temperaturas medias diarias, T, se dispersan alrededor de la temperatura media mensual con una distribución normal.(G. J, 1990)

Grados día de calentamiento

$$HDD_M = N * S_d [Z_b * F(Z_b) + f(Z_b)] \quad (1.7)$$

$$Z_b = \frac{T_b - T_m}{S_d} \quad (1.8)$$

Capítulo I

Grados día de enfriamiento (calculada de la misma manera que HDDb excepto que cambia la ecuación de Zb)

$$CDD_b = N * S_d [Z_b * F(Z_b) + f(Z_b)] \quad (1.9)$$

$$Z_b = \frac{T - T_b}{S_d} \quad (1.10)$$

Fórmulas probabilísticas (se usan para los dos casos)

$$f(Z_b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-Z_b^2}{2}\right)} \quad (1.11)$$

$$F(Z_b) = \sum_{-\infty}^Z f(z) dz \quad (1.12)$$

Dónde:

HDDb → Grados-día de calentamiento, b (temperatura base tomada).

CDDb → Grados-día de enfriamiento, b (temperatura base tomada).

N → Número de días del mes

Z_b → Diferencia entre la temperatura de base

T_m → Temperatura media mensual

S_d → Desviación estándar normalizada de las temperaturas medias diarias para el mes.

T_b → Temperatura base

F (Zb) → Función acumulativa normal probabilística.

f(Zb) → Función probabilística de densidad (se mueve desde 0 a 1 desviación estándar)

Capítulo I

Este modelo tiene la ventaja de usar funciones estadísticas que son fáciles de programar en cualquier tipo de hoja de cálculo, tiene como desventajas, que se pierde la forma tradicional de la ecuación para el cálculo de los Grados días y no propone un método para el cálculo de la desviación estándar de las temperaturas medias diarias mensuales.

Capítulo II

Capítulo II: Desarrollo del procedimiento de cálculo

2.1 Modelo para el cálculo de los Grados días mensuales de calentamiento y refrigeración con temperatura base variable

El modelo que se propone para el cálculo de los Grados-día de enfriamiento y/o calentamiento, establece como variables climatológicas, la temperatura media diaria " t_m ", la temperatura media mínima diaria " t_{min} " y la temperatura máxima diaria " t_{max} ", todas para un periodo de tiempo de un mes. Con estas variables se define el parámetro adimensional " \check{Z} ".

$$\check{Z} = t_m / (t_{max} - t_{min}) \quad (2.1)$$

Para el cálculo de los Grados-día de enfriamiento y calentamiento mensual con temperatura base variable, tradicionalmente se utilizan las expresiones (2.2) y (2.3) respectivamente:

$$GD_M = N(t_m - t_b) \quad (2.2)$$

$$GD_{mc} = N(t_b - t_m) \quad (2.3)$$

Dónde:

GD_{me} \longrightarrow Grados-día mensuales de enfriamiento.

GD_{mc} \longrightarrow Grados-día mensuales de calentamiento.

t_m \longrightarrow temperatura media para el período.

t_b \longrightarrow temperatura base.

N \longrightarrow número de días del periodo correspondiente. Se toma $N = N_{mes}$ cuando el período de tiempo se considera para un mes.

Éstas expresiones resultan inexactas, para el caso en que la temperatura base toma valores en el intervalo comprendido, entre la temperatura media mínima diaria hasta la temperatura media máxima diaria para el mes. El rango de valores en que la temperatura base toma valores, puede ser incluso mayor, con valores de la

Capítulo II

temperatura base por debajo de la temperatura mínima media o por encima de la máxima media mensual respectivamente.

En dichas expresiones, t_m representa la temperatura media mensual para el período, t_b la temperatura base y N el número de días del periodo correspondiente, se toma $N = N_{\text{mes}}$ cuando el período de tiempo se considera de un mes.

En el rango de valores donde la temperatura toma valores se destacan tres puntos característicos:

$t_b = t_{\min}$, cuando la temperatura base alcanza el valor de la temperatura media mínima diaria para el mes.

$t_b = t_m$, cuando la temperatura base alcanza el valor de la temperatura media diaria para el mes.

$t_b = t_{\max}$, cuando la temperatura base alcanza el valor de la temperatura media máxima diaria para el mes.

Tomando en consideración éstos puntos característicos, se establecen tres intervalos para la variación de los valores de la temperatura base en el mes.

➤ Primer intervalo.

$$t_b \leq t_{\min}$$

• Segundo intervalo.

$$(t_{\min} \leq t_b \leq t_{\max})$$

• Tercer intervalo.

$$t_b \geq t_{\max}$$

Por las expresiones presentadas anteriormente, se hace evidente, que el procedimiento de cálculo es específico en dependencia de que los grados-día se calculen prioritariamente para enfriamiento o para calentamiento, por lo que los términos y ecuaciones se concretan para cada caso.

Capítulo II

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

Para el cálculo de los Grados-día de enfriamiento se cumple sin errores la ecuación (2), debido a que en este intervalo, la temperatura base nunca va a ser mayor que la temperatura media diaria mínima, esto implica que no existan valores de grados-día negativos. Sin embargo, en ese mismo intervalo, el cálculo de los grados-día de calentamiento no es posible, porque, al aplicar la ecuación (3), da como resultado que todos los valores de los Grados-día resulten negativos y por lo tanto se eliminan.

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

En este intervalo las ecuaciones anteriormente mencionadas dejan de ser exactas, incrementando su inexactitud para el caso de los grados-día de enfriamiento y disminuyendo para el caso de los Grados día de calentamiento a medida que aumenta el valor de la temperatura base. Esto ocurre debido a que en dicho intervalo al calcular los valores de los Grados-día, se producen valores negativos de los mismos, que deben ser eliminados, dejando de ser el valor de la temperatura media mensual apropiado para el cálculo en ese intervalo.

Por consiguiente, para el segundo intervalo, se deberán considerar otras ecuaciones para corregir estas inexactitudes, siendo conveniente utilizar ecuaciones que no distorsionen en lo fundamental las características de las ecuaciones (2) y (3), debido a que existe una experiencia en su uso en diversos campos del saber. Este modelo propone ecuaciones donde el término t_m se sustituye por los términos t'_{mee} y t'_{mec} , nombrados por los autores, temperatura media mensual equivalente de enfriamiento y temperatura media mensual equivalente de calentamiento y representan los nuevos valores de la temperatura media mensual que se incrementan al incrementarse el valor de la temperatura base. Para el cálculo de t'_{mee} y t'_{mec} se definen también los términos t_{mee} y t_{mec} que resultan similares, pero que a diferencia de los primeros, no consideran el valor real de la desviación estándar de las temperaturas medias diarias para el mes, sino que la toman igual a cero.

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

Capítulo II

En el cálculo de los Grados-día de calentamiento se cumple sin errores la ecuación (3) debido a que en este intervalo, la temperatura base nunca va a ser menor que la temperatura media diaria máxima, esto implica que no existan valores de grados-día negativos. Sin embargo, en ese mismo intervalo, el cálculo de los Grados-día de enfriamiento no es posible, porque, al aplicar la ecuación (2), da como resultado que todos los valores de los grados-día resulten negativos y por lo tanto se eliminan.

En resumen las ecuaciones (2.2) y (2.3), son válidas para el primer y tercer intervalo respectivamente. Para el cálculo de los Grados-día en el segundo intervalo se definen las ecuaciones siguientes

$$GD_{me} = N_{mes}(t'_{mer} - t_b) \quad (2.4)$$

$$GD_{mc} = N_{mes}(t_b - t'_{mec}) \quad (2.5)$$

Los valores de t'_{mee} y t'_{mec} varían con relación a la variación de t_b , para su cálculo, primero se sigue un procedimiento de cálculo que implica el cálculo de las variables t_{mee} y t_{mec} por las ecuaciones (2.6) y (2.7):

$$t_{mer} = [(t_b - t_{min})(t_{max} - t_m)/(t_{max} - t_{min})] + t_m \quad (2.6)$$

$$t_{mec} = [(t_b - t_{min})(t_m - t_{min})/(t_{max} - t_{min})] + t_{min} \quad (2.7)$$

Estas variables se sustituyen en las ecuaciones (2.8) y (2.9), donde, además de los términos t_{mee} y t_{mec} se sustituyen los coeficientes **Ze** y **Zc**

$$t'_{mee} = (t_{mee} - t_{max})(e^{Z_e(t_{mee} - t_m)}) + t_{max} \quad (2.8)$$

$$t'_{mec} = (t_{mec} - t_{min})(e^{Z_c(t_m - t_{mec})}) + t_{min} \quad (2.9)$$

Los coeficientes "**Ze**" y "**Zc**" en las ecuaciones (2.8) y (2.9) para enfriamiento y calentamiento respectivamente, dependen de las características climatológicas de la región geográfica a la que se le quiera calcular los Grados-día. Al tener valores constantes para todo el intervalo, se pueden calcular para un determinado valor de

Capítulo II

t_{mee} y t_{mec} , el modelo propone calcularlos para el punto donde t_b iguala en valor a t_m , mediante las siguientes ecuaciones:

$$Z_e = \ln((t'_{mee} - t_{max})/(t_{mee} - t_{max}))/((t_{mee} - t_m)) \quad (2.10)$$

$$Z_c = \ln((t'_{mec} - t_{min})/(t_{mec} - t_{min}))/((t_m - t_{mec})) \quad (2.11)$$

En las ecuaciones (2.10) y (2.11) los valores de t'_{mee} y t'_{mec} que se sustituyen, se calculan por las expresiones (2.12) y (2.13) y los valores de t_{mee} y t_{mec} se calculan por las ecuaciones (2.6) y (2.7), para valores de $t_b = t_m$.

$$t'_{mee} = t_{mee} - Z \quad (2.12)$$

$$t'_{mec} = t_{mec} + Z \quad (2.13)$$

Los valores de Z para una región dada, se obtienen a partir de la siguiente expresión.

$$Z = A \check{Z}^{-B} \quad (2.14)$$

Dónde:

A y **B** son coeficientes específicos para la región.

El término \check{Z} fue definido en la ecuación (2.1)

Con el cálculo de los términos t'_{mee} y t'_{mec} , se calculan los Grados día de enfriamiento y calentamiento por las ecuaciones (2.4) y (2.5).

El modelo permite determinar los GD_{mc} a partir del cálculo de los GD_{me} o viceversa, mediante las ecuaciones (2.14),(2.15),(2.16) y realizar comprobaciones, mediante las expresiones (2.17) y (2.18).

$$GD_{me} - GD_{mc} = N_{mes}(t_m - t_b) \quad (2.14)$$

$$GD_{me} = N_{mes}(t_m - t_b) + GD_{mc} \quad (2.15)$$

$$GD_{mc} = GD_{me} - N_{mes}(t_m - t_b) \quad (2.16)$$

$$t'_{mee} + t'_{mec} = t_m - t_b \quad (2.17)$$

$$t'_{mee} + t'_{mec} = t_{mee} - t_{mec} \quad (2.18)$$

Capítulo II

Con anterioridad se destacó que el procedimiento de cálculo se hace específico en dependencia de que los grados-día se calculen prioritariamente para enfriamiento o para calentamiento, lo que posibilita que el modelo se pueda sintetizar en dos modelos, uno para el cálculo de los Grados-día de enfriamiento y otro para el cálculo de los grados-día de calentamiento. Ambos modelos, posibilitan calcular además, en el caso del primero, los Grados-día de calentamiento y en el caso del segundo los Grados-días de enfriamiento.

Al obtener las formulas principales de este método para poder calcular los Grados días se les introdujeron al programa Microsoft Excel con datos de temperaturas ya antes obtenidos y se logró tener el resultado. Realizando a su vez una comparación con los valores de Grados días obtenido con los valores meteorológicos reales de Santa Clara, obteniendo una diferencia de error mínima queriendo decir esto que el método de Msc.Ovidio Rodríguez Santos es efectivo para este cálculo.

Este método tiene como ventaja que se utiliza como variable de entrada la temperatura media (t_m), la temperatura máxima (t_{max}), y temperatura mínima (t_{min}), para el mes, además propone una relación funcional entre dos parámetros Z y \check{Z} para la ciudad de Santa Clara lo que desecha la necesidad de utilizar la desviación estándar como parámetro de entrada. Este modelo no distorsiona la fórmula general para el cálculo de los Grados día.

Capítulo II

Tabla 2.1 Representa el cálculo de los Grados días según el método del Msc.Ovidio Rodríguez Santos

Fuente: elaboración propia

días del mes	tmax	tm	tmin	tb	tme	Z	tme (tm)	A	B	Z	t'mee "	ke	t'mee	GDe	Gdee	Gdc	Dif. de error
1	24.4	22.48	20.4	20.40	22.48	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.48	64.48	64.4	0.00	-0.08
2	24.4	22.48	20.4	20.53	22.54	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.49	60.64	60.5	0.16	-0.14
3	24.4	22.48	20.4	20.66	22.60	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.49	56.87	56.6	0.39	-0.27
4	24.4	22.48	20.4	20.79	22.67	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.50	53.17	52.88	0.69	-0.29
5	24.4	22.48	20.4	20.92	22.73	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.51	49.54	49.24	1.06	-0.30
6	24.4	22.48	20.4	21.05	22.79	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.53	45.98	45.65	1.50	-0.33
7	24.4	22.48	20.4	21.17	22.85	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.55	42.51	42.48	2.03	-0.03
8	24.4	22.48	20.4	21.30	22.91	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.57	39.13	39.1	2.65	-0.03
9	24.4	22.48	20.4	21.43	22.98	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.59	35.83	36.01	3.35	0.18
10	24.4	22.48	20.4	21.56	23.04	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.61	32.64	33.08	4.16	0.44
11	24.4	22.48	20.4	21.69	23.10	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.64	29.54	30.22	5.06	0.68
12	24.4	22.48	20.4	21.82	23.16	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.68	26.55	27.38	6.07	0.83
13	24.4	22.48	20.4	21.95	23.22	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.71	23.67	24.65	7.19	0.98
14	24.4	22.48	20.4	22.08	23.29	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.75	20.92	22	8.44	1.08
15	24.4	22.48	20.4	22.21	23.35	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.80	18.28	19.4	9.80	1.12
16	24.4	22.48	20.4	22.34	23.41	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.84	15.78	16.84	11.30	1.06
17	24.4	22.48	20.4	22.46	23.47	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.90	13.41	14.68	12.93	1.27
18	24.4	22.48	20.4	22.59	23.53	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	22.95	11.19	12.56	14.71	1.37
19	24.4	22.48	20.4	22.72	23.59	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	23.02	9.12	10.64	16.64	1.52
20	24.4	22.48	20.4	22.85	23.66	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	23.08	7.21	8.95	18.73	1.74
21	24.4	22.48	20.4	22.98	23.72	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	23.16	5.47	7.42	20.99	1.95
22	24.4	22.48	20.4	23.11	23.78	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	23.24	3.90	6.1	23.42	2.20
23	24.4	22.48	20.4	23.24	23.84	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	23.32	2.52	4.8	26.04	2.28
24	24.4	22.48	20.4	23.37	23.90	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	23.41	1.33	3.64	28.85	2.31
25	24.4	22.48	20.4	23.50	23.97	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	23.51	0.35	2.6	31.87	2.25
26	24.4	22.48	20.4	23.63	24.03	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	23.61	-0.42	1.85	35.10	2.27
27	24.4	22.48	20.4	23.75	24.09	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	23.72	-0.97	1.3	38.55	2.27
28	24.4	22.48	20.4	23.88	24.15	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	23.84	-1.29	0.78	42.23	2.07
29	24.4	22.48	20.4	24.01	24.21	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	23.97	-1.36	0.39	46.16	1.75
30	24.4	22.48	20.4	24.14	24.28	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	24.10	-1.18	0.26	50.34	1.44
31	24.4	22.48	20.4	24.27	24.34	5.62	23.48	2.31	0.81	0.57	22.90	0.49	24.25	-0.73	0.13	54.79	0.86
Nm	31																

2.2 Aplicación del método calculado con los valores meteorológicos reales de la ciudad de Santa Clara

Con el uso del Microsoft Excel se pudo calcular y obtener valores que me sirvieron de total ayuda para lograr el cálculo de los Grados días mensuales de calentamiento y refrigeración con temperatura base variable, a la región de la Ciudad de Santa Clara, usando datos meteorológicos para un período del 2009 al 2013, se tomó como muestra la temperatura media variable para cada día del mes durante un período de cinco años. Calculando una temperatura base variable para la misma cantidad de días del mes, luego se hizo corresponder la temperatura base con los valores de temperatura media para cada día donde el resultado de ese valor es la resta de la

Capítulo II

temperatura media menos la temperatura base ($t_m - t_b$) siendo este valor un número variable para cada día y luego al realizar una suma total de todos los valores diarios se pudo obtener el valor de los grados día para un día del mes y así sucesivamente para cada día del mes durante el periodo de tiempo que se tomó como muestra es decir cinco años. Una muestra de esto que se ha explicado es la siguiente tabla:

Tabla 2.2 Cálculo de los Grados días usando los datos meteorológicos de la ciudad de Santa Clara

Fuente: elaboración propia

Año 2009	Enero	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00
días	tb	14.50	14.82	15.15	15.47	15.79	16.11	16.44	16.76	17.08	17.40	17.73	18.05	18.37	18.69	19.02
1.00	14.50															
2.00	16.40	1.90	1.58	1.25	0.93	0.61	0.29									
3.00	16.60	2.10	1.78	1.45	1.13	0.81	0.49	0.16								
4.00	18.10	3.60	3.28	2.95	2.63	2.31	1.99	1.66	1.34	1.02	0.70	0.37	0.05			
5.00	18.50	4.00	3.68	3.35	3.03	2.71	2.39	2.06	1.74	1.42	1.10	0.77	0.45	0.13		
6.00	18.80	4.30	3.98	3.65	3.33	3.01	2.69	2.36	2.04	1.72	1.40	1.07	0.75	0.43	0.11	
7.00	19.50	5.00	4.68	4.35	4.03	3.71	3.39	3.06	2.74	2.42	2.10	1.77	1.45	1.13	0.81	0.48
8.00	19.80	5.30	4.98	4.65	4.33	4.01	3.69	3.36	3.04	2.72	2.40	2.07	1.75	1.43	1.11	0.78
9.00	19.90	5.40	5.08	4.75	4.43	4.11	3.79	3.46	3.14	2.82	2.50	2.17	1.85	1.53	1.21	0.88
10.00	19.90	5.40	5.08	4.75	4.43	4.11	3.79	3.46	3.14	2.82	2.50	2.17	1.85	1.53	1.21	0.88
11.00	19.90	5.40	5.08	4.75	4.43	4.11	3.79	3.46	3.14	2.82	2.50	2.17	1.85	1.53	1.21	0.88
12.00	20.30	5.80	5.48	5.15	4.83	4.51	4.19	3.86	3.54	3.22	2.90	2.57	2.25	1.93	1.61	1.28
13.00	20.30	5.80	5.48	5.15	4.83	4.51	4.19	3.86	3.54	3.22	2.90	2.57	2.25	1.93	1.61	1.28
14.00	20.50	6.00	5.68	5.35	5.03	4.71	4.39	4.06	3.74	3.42	3.10	2.77	2.45	2.13	1.81	1.48
15.00	20.80	6.30	5.98	5.65	5.33	5.01	4.69	4.36	4.04	3.72	3.40	3.07	2.75	2.43	2.11	1.78
16.00	21.00	6.50	6.18	5.85	5.53	5.21	4.89	4.56	4.24	3.92	3.60	3.27	2.95	2.63	2.31	1.98
17.00	21.10	6.60	6.28	5.95	5.63	5.31	4.99	4.66	4.34	4.02	3.70	3.37	3.05	2.73	2.41	2.08
18.00	21.20	6.70	6.38	6.05	5.73	5.41	5.09	4.76	4.44	4.12	3.80	3.47	3.15	2.83	2.51	2.18
19.00	21.30	6.80	6.48	6.15	5.83	5.51	5.19	4.86	4.54	4.22	3.90	3.57	3.25	2.93	2.61	2.28
20.00	21.40	6.90	6.58	6.25	5.93	5.61	5.29	4.96	4.64	4.32	4.00	3.67	3.35	3.03	2.71	2.38
21.00	21.50	7.00	6.68	6.35	6.03	5.71	5.39	5.06	4.74	4.42	4.10	3.77	3.45	3.13	2.81	2.48
22.00	21.80	7.30	6.98	6.65	6.33	6.01	5.69	5.36	5.04	4.72	4.40	4.07	3.75	3.43	3.11	2.78
23.00	22.20	7.70	7.38	7.05	6.73	6.41	6.09	5.76	5.44	5.12	4.80	4.47	4.15	3.83	3.51	3.18
24.00	22.50	8.00	7.68	7.35	7.03	6.71	6.39	6.06	5.74	5.42	5.10	4.77	4.45	4.13	3.81	3.48
25.00	22.50	8.00	7.68	7.35	7.03	6.71	6.39	6.06	5.74	5.42	5.10	4.77	4.45	4.13	3.81	3.48
26.00	22.80	8.30	7.98	7.65	7.33	7.01	6.69	6.36	6.04	5.72	5.40	5.07	4.75	4.43	4.11	3.78
27.00	22.90	8.40	8.08	7.75	7.43	7.11	6.79	6.46	6.14	5.82	5.50	5.17	4.85	4.53	4.21	3.88
28.00	22.90	8.40	8.08	7.75	7.43	7.11	6.79	6.46	6.14	5.82	5.50	5.17	4.85	4.53	4.21	3.88
29.00	23.40	8.90	8.58	8.25	7.93	7.61	7.29	6.96	6.64	6.32	6.00	5.67	5.35	5.03	4.71	4.38
30.00	24.00	9.50	9.18	8.85	8.53	8.21	7.89	7.56	7.24	6.92	6.60	6.27	5.95	5.63	5.31	4.98
31.00	24.50	10.00	9.68	9.35	9.03	8.71	8.39	8.06	7.74	7.42	7.10	6.77	6.45	6.13	5.81	5.48
GD	640.80	191.30	181.70	171.80	162.20	152.60	143.00	133.14	124.02	115.06	106.10	96.86	87.90	79.21	70.76	62.40

Al obtener los Grados día según los datos meteorológicos reales de Santa Clara podemos realizar una comparación con unos de los métodos de cálculo ya antes mencionado en el capítulo I escogiendo el método de Schoenau-Kehrig.

Capítulo II

2.3 Aplicación del método de Schoenau-Kehrig

Utilizando el tabulador Microsoft Excel como herramienta se logró el resultado de cierta manera, se tomó los datos de temperatura máxima, mínima y la media para todo un mes y la temperatura base variable de cada día del mes. Luego se introdujo la formulas según lo plantea Schoenau-Kehrig en su método.

$$Z_b = \frac{T - T_b}{s_d} \quad (1.10)$$

Al obtener los valores de **Z_b** para cada día del mes ya podía plantear la ecuación principal del método

$$CDD_b = N * S_d [Z_b * F(Z_b) + f(Z_b)] \quad (1.9)$$

Obteniendo los valores de los Grados día reales calculados para todos los días del mes .Luego saque una diferencia de error entre los Grados día del método de Schoenau-Kehrig calculado y los Grados día con los valores reales de Santa Clara dando como resultado un error mínimo.

Tabla 2.3 Cálculo de los Grados días según el método de Schoenau-Kehrig

Fuente: elaboración propia

Días	tmax	tm	tmin	tb	GD reales	z	GD Caculados	Diferencia de error
1	24.4	22.48	20.4	20.40	64.40	1.86	64.91	0.51
2	24.4	22.48	20.4	20.53	60.50	1.74	61.05	0.55
3	24.4	22.48	20.4	20.66	56.60	1.63	57.24	0.64
4	24.4	22.48	20.4	20.79	52.88	1.51	53.47	0.59
5	24.4	22.48	20.4	20.92	49.24	1.40	49.76	0.52
6	24.4	22.48	20.4	21.05	45.65	1.28	46.13	0.48
7	24.4	22.48	20.4	21.17	42.48	1.17	42.57	0.09
8	24.4	22.48	20.4	21.30	39.10	1.05	39.10	0.00
9	24.4	22.48	20.4	21.43	36.01	0.94	35.75	-0.26
10	24.4	22.48	20.4	21.56	33.08	0.82	32.51	-0.57
11	24.4	22.48	20.4	21.69	30.22	0.71	29.40	-0.82
12	24.4	22.48	20.4	21.82	27.38	0.59	26.43	-0.95
13	24.4	22.48	20.4	21.95	24.65	0.47	23.62	-1.03
14	24.4	22.48	20.4	22.08	22.00	0.36	20.98	-1.02
15	24.4	22.48	20.4	22.21	19.40	0.24	18.50	-0.90
16	24.4	22.48	20.4	22.34	16.84	0.13	16.21	-0.63
17	24.4	22.48	20.4	22.46	14.68	0.01	14.09	-0.59
18	24.4	22.48	20.4	22.59	12.56	-0.10	12.16	-0.40
19	24.4	22.48	20.4	22.72	10.64	-0.22	10.41	-0.23
20	24.4	22.48	20.4	22.85	8.95	-0.33	8.85	-0.10
21	24.4	22.48	20.4	22.98	7.42	-0.45	7.45	0.03
22	24.4	22.48	20.4	23.11	6.10	-0.56	6.22	0.12
23	24.4	22.48	20.4	23.24	4.80	-0.68	5.15	0.35
24	24.4	22.48	20.4	23.37	3.64	-0.79	4.23	0.59
25	24.4	22.48	20.4	23.50	2.60	-0.91	3.44	0.84
26	24.4	22.48	20.4	23.63	1.85	-1.02	2.77	0.92
27	24.4	22.48	20.4	23.75	1.30	-1.14	2.21	0.91
28	24.4	22.48	20.4	23.88	0.78	-1.25	1.74	0.96
29	24.4	22.48	20.4	24.01	0.39	-1.37	1.36	0.97
30	24.4	22.48	20.4	24.14	0.26	-1.48	1.06	0.80
31	24.4	22.48	20.4	24.27	0.13	-1.60	0.81	0.68
Nm	31							
Sd	1.12							

Capítulo II

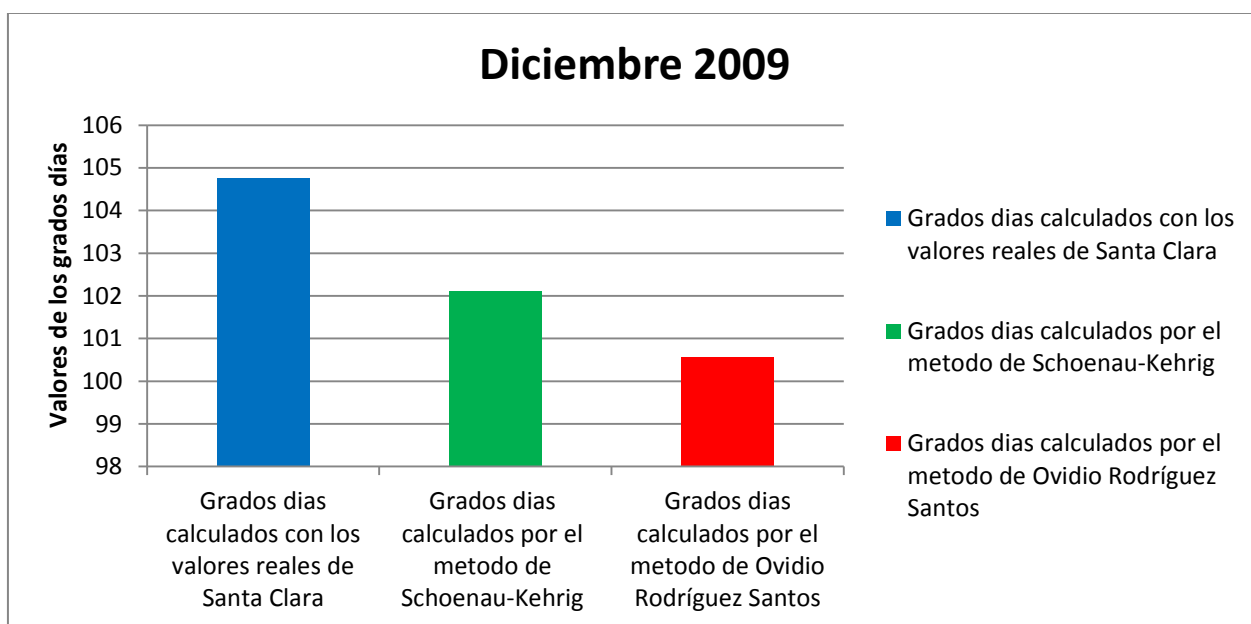


Figura 2.1 Grafica de comparación entre distintos métodos de cálculo de los Grados días con una temperatura base de 20°C para el mes de Diciembre del año 2009.

Fuente: elaboración propia

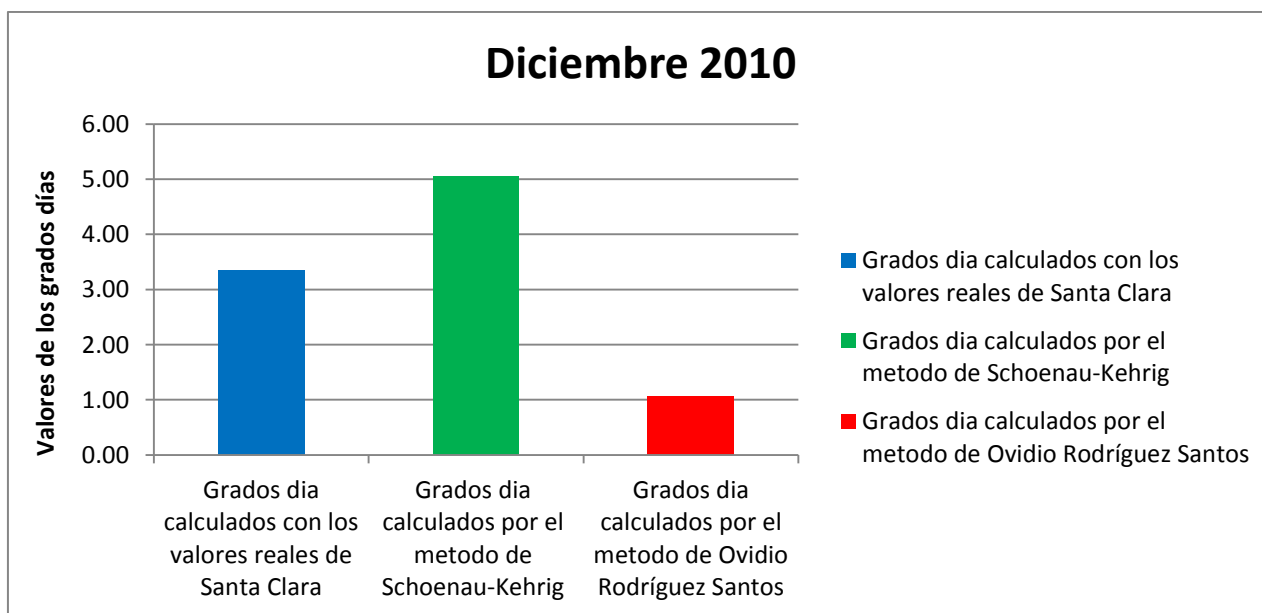


Figura 2.2 Gráfica de comparación entre distintos métodos de cálculo de los Grados día con una temperatura base de 20°C para el mes de Diciembre del año 2010.

Fuente: elaboración propia

Capítulo II

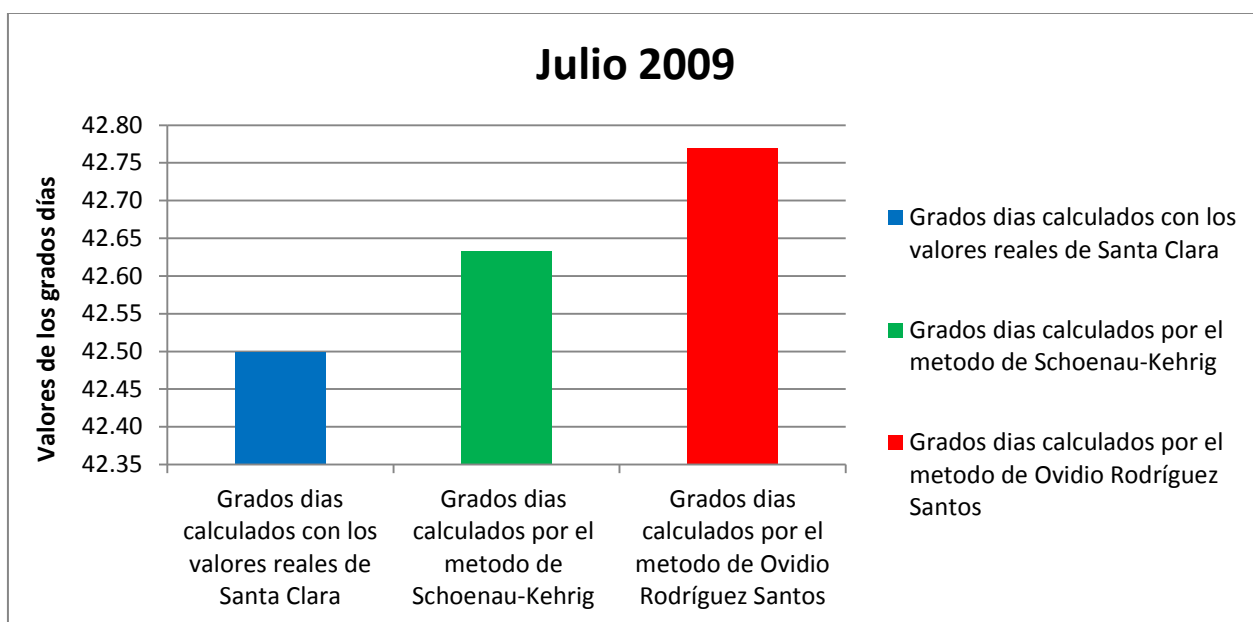


Figura 2.3 Gráfica de comparación entre distintos métodos de cálculo de los Grados día con una temperatura base de 26°C para el mes de Julio del año 2009.

Fuente: elaboración propia

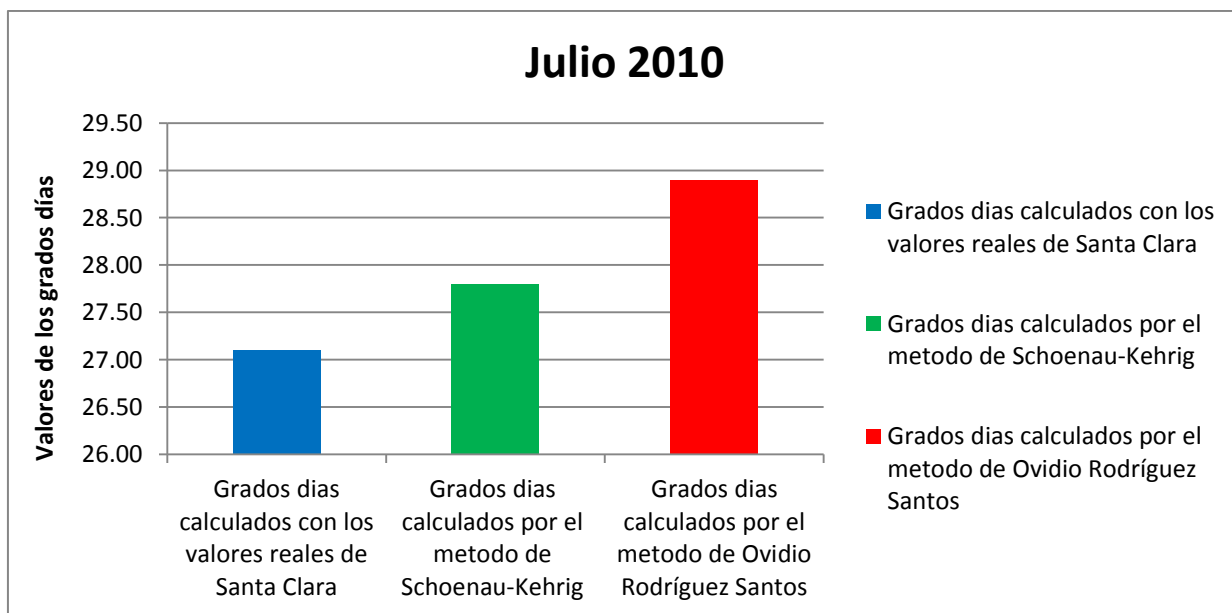


Figura 2.4 Gráfica de comparación entre distintos métodos de cálculo de los Grados día con una temperatura base de 26°C para mes de Julio del año 2010.

Fuente: elaboración propia

Capítulo II

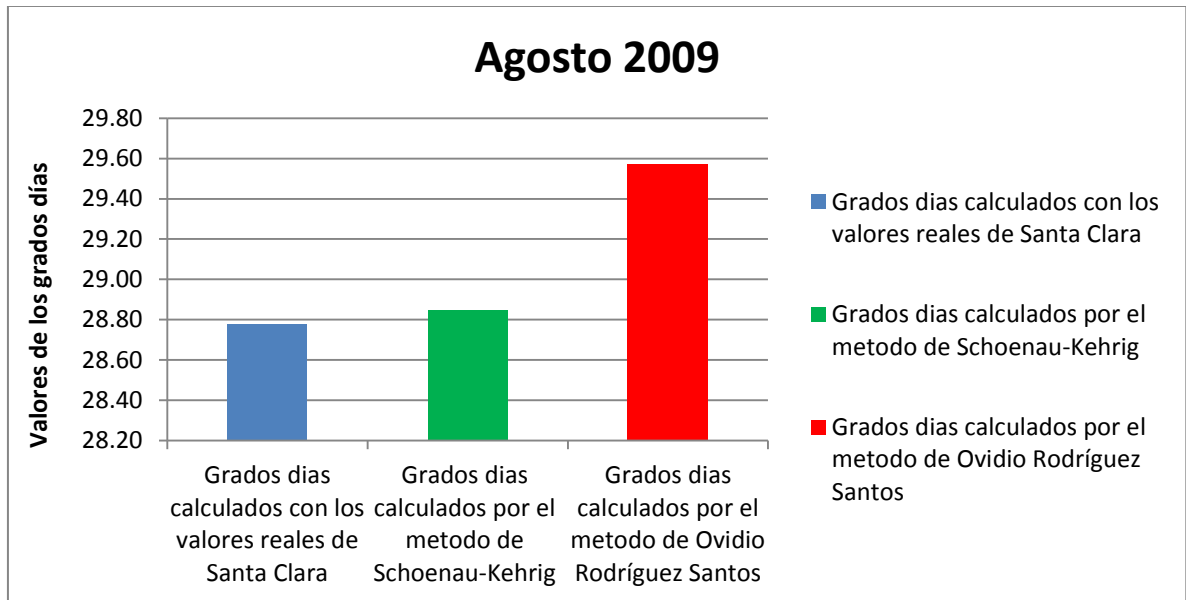


Figura 2.5 Gráfica de comparación entre distintos métodos de cálculo de los Grados día con una temperatura base de 26°C para el mes de Agosto del año 2009.

Fuente: elaboración propia

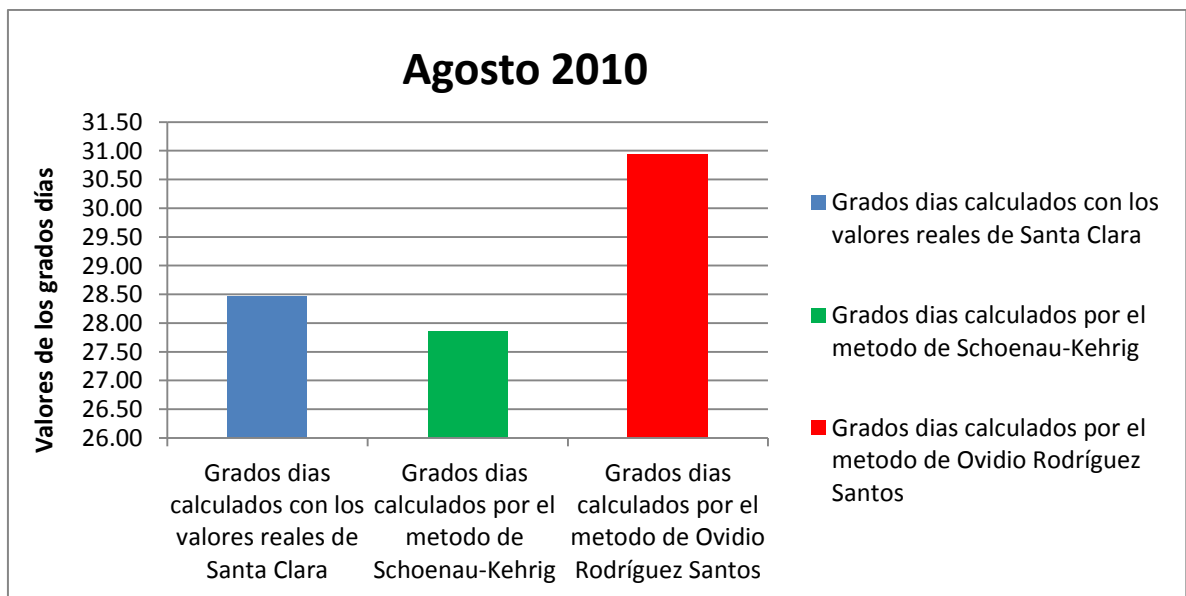


Figura 2.6 Gráfica de comparación entre distintos métodos de cálculo de los Grados día con una temperatura base de 26°C para el mes de Agosto del año 2010.

Fuente: elaboración propia

Capítulo II

2.4 Conclusiones parciales

1. Se logró calcular los Grados día para los métodos seleccionados en el capítulo alcanzando valores exactos para cada uno de estos y obteniendo entre estos tres modelos una diferencia de error la cual muestra que existe una diferencia mínima de exactitud entre los métodos siendo esta no superior de 8 grados días.
2. Mediante las gráficas de barras se puede observar a simple vista la mínima diferencia de error entre los métodos, siendo el mes de diciembre del año 2009 el que presentó mayor diferencia de error entre el método del profesor Ovidio Rodríguez y los valores meteorológicos reales de Santa Clara siendo este valor de 4 grados día.
3. El mes de Diciembre del año 2009 es un mes que presentó una diferencia de error bastante elevada entre la comparación del método de Schoenau-Kehrig con los valores meteorológicos reales de Santa Clara que oscilaron entre 4 y 5, al igual que en el mes de enero ocurriendo casi parecido en la comparación del método del profesor Ovidio y los valores meteorológicos reales de Santa Clara quedando esto plasmado en los anexos 2 y 3.

Capítulo III: Caracterización energética del Hospital Arnaldo Milián Castro (HAMC)

3.1 Caracterización del hospital Arnaldo Milián Castro

El Hospital Clínico Quirúrgico "Arnaldo Milián Castro" es una institución del Sistema Nacional de Salud, que inició sus actividades el 8 de Octubre de 1990 y fue inaugurado el 3 de Diciembre de 1993, ubicado en la calle Nuevo Hospital, entre Circunvalación y Doble Vía, en la ciudad de Santa Clara, provincia Villa Clara. El mismo se encarga de brindar asistencia médica, científica y tecnológica altamente calificada, a la provincia de Villa Clara y a gran parte del territorio central, puesto que está equipado con tecnologías de punta y cuenta con un numeroso grupo de especialistas de alto prestigio médico y reconocimiento a nivel nacional.(Web, 2011)

El mismo está distribuido en tres áreas básicas donde se brindan servicios hospitalarios:

- Cuerpo de guardia
- Hospitalización
- Consulta externa

Atiende una población de 536 mil 580 habitantes . Y para ello cuenta con 21 salones de operaciones y una dotación de 594 camas.(ONE, 2009)

Capítulo III

Esquema del Hospital Arnaldo Milián Castro



Figura 3.1 Partes en que se divide el hospital.

- 1- Bloque Administrativo y Consulta Externa.
- 2- Hospitalizado.
- 3- Parqueo Techado.
- 4- Departamento de Mantenimiento.
- 5- Área de la bala de Oxígeno.
- 6- Lavandería.
- 7- Sistemas Ingenieros.
- 8- Área de los Tanques de Combustible.

3.2 Climatización en hospitales

Se tiene en cuenta que las habitaciones del hospital se mantienen ocupadas durante todo el día y la noche y al 100%, y esto es durante todo el año. Existen algunos factores a tener en cuenta dentro de las habitaciones pero el más importante es el de la circulación de aire, que debe estar supeditada a cada habitación.

La climatización de los hospitales es un factor determinante en el tratamiento de los pacientes con afecciones cardiacas, de tiroides, respiratorios, quemaduras, SIDA, tratamientos especiales, terapéutica, maternidad, cirugía, morgue y otras zonas de

Capítulo III

servicio. Estas habitaciones deben tener una extracción de aire capaz de crear una presión negativa y no debe haber intercomunicación entre las distintas zonas por peligro de contaminación.

Ya que existen pacientes que son sometidos a un cuidado extremo es por eso que están presentes estos sistemas de climatización especiales.

Por tanto: se necesita un determinado comportamiento de los flujos de aire, una adecuada temperatura. También requerimientos específicos de filtrado y aire exterior así como evitar la proliferación de virus y microorganismos. Hay que tener en cuenta la humedad que existe en el local.

Si se estima necesario, será conveniente prever un sistema de extracción independiente, en cada Quirófano, para eliminar la concentración de gases anestésicos al terminar la operación. La zona ocupada por pacientes se trata mejor con sistemas de inducción de aire primario y agua secundaria.

Algunos locales donde más necesario se hace el sistema de climatización:

- Hemodiálisis
- Salones de Operaciones
- Quemados
- Terapias
- Oftalmología
- Maxilofacial
- Rayos X

Existen locales donde se necesita un sistema de climatización específico como por ejemplo en los salones de operaciones los cuales llevan el centralizado pues estos necesitan filtro, extractor y el cambio de aire cada 1 hora.

Se debe tener en cuenta que si se instala por ejemplo Split esto es demasiado arriesgado ya que hay grandes posibilidades de que haya diferentes microorganismos en los salones.

Capítulo III

3.3 Caracterización energética del Hospital Arnaldo Milián Castro

El sistema energético de mayor impacto en el consumo de energía es el de climatización centralizada y dispone de dos turbocompresores de 150 toneladas de frío cada uno, uno antiguo y otro moderno de alta eficiencia, dos compresores de aire medicinal, dos bombas de crear vacío, 7 cámaras para conservar y congelar alimentos y los equipos electromédicos fundamentalmente los de imagenología. Posee tres grupos de generación de emergencia de ello dos de 500 KVA marca Volvo que se sincronizan y otro de 813 KVA marca SDMO. El sistema de suministro sufre de reiteradas interrupciones donde entran a respaldar los grupos con períodos de tiempo promedio de 8 a 15 minutos.

3.4 Descripción de las fuentes de suministro de energía eléctrica

El centro se alimenta a través dos transformadores de 1000 KVA cada uno con una relación de transformación 33,0 / 0,48 KV, los dos trabajan permanentemente y de forma individual, uno alimentando las cargas de primera emergencia y el otro el resto de las cargas, en las condiciones actuales y según las mediciones realizadas, los transformadores están trabajando al 70% y al 20% respectivamente. El centro se encuentra respaldado desde otro circuito de 33kV y con tres grupos de emergencia, dos de ellos de 500 KVA cada uno con posibilidad de sincronizarse y otro de 813 kVA.

3.5 Análisis energético

Consumos energéticos del hospital Arnaldo Milián Castro en período comprendido de marzo-agosto del 2013.

Capítulo III

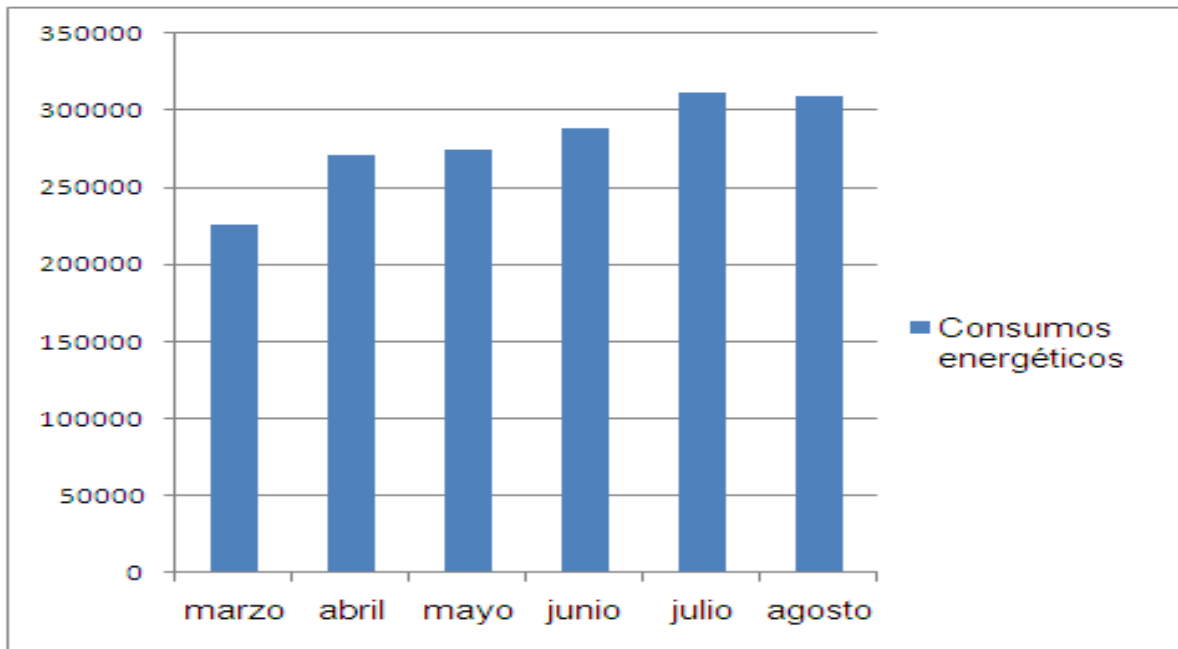
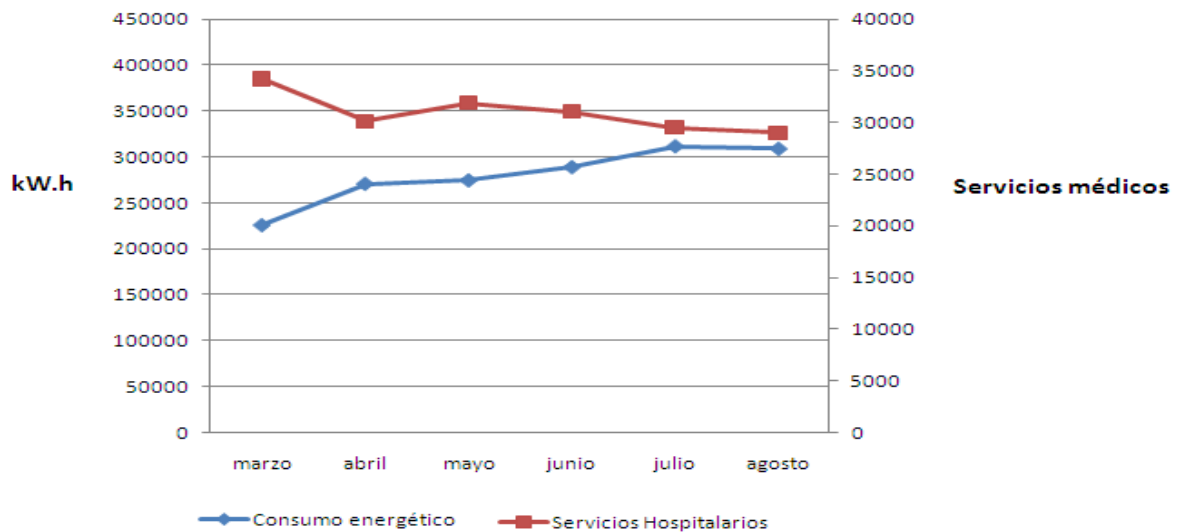


Figura 3.2 Consumos energéticos del hospital Arnaldo Milián Castro.

En el gráfico que se muestra a continuación se observa como varían los consumos energéticos para un período determinado. La energía eléctrica es el portador energético de mayor consumidor en el hospital, siendo los meses de mayo a octubre los más consumidores aunque este solo representado hasta agosto ya que en este capítulo se utilizarán estos consumos para determinar la temperatura base de refrigeración real para aplicar el método de los Grados-días para el hospital con el objetivo de monitorear la energía. En los meses de verano el consumo aumenta debido al incremento de la temperatura en la isla y los equipos de climatización y refrigeración; equipos altamente consumidores; son más utilizados que en otra época del año.

Capítulo III



Energía y Servicios Hospitalarios vs Meses

Figura 3.3 Correlación entre la energía y las producciones.

Como se puede observar en el gráfico la correlación entre el consumo de energía y los servicios hospitalarios es muy baja, porque existen otros factores que influyen en el consumo de energía, por ejemplo la climatización.

3.6 Principales portadores energéticos utilizados en el hospital durante los años 2010, 2011 y 2012

A continuación se mostrará a través de unas gráficas el comportamiento del consumo de los portadores energéticos en tcc durante estos años.

Capítulo III

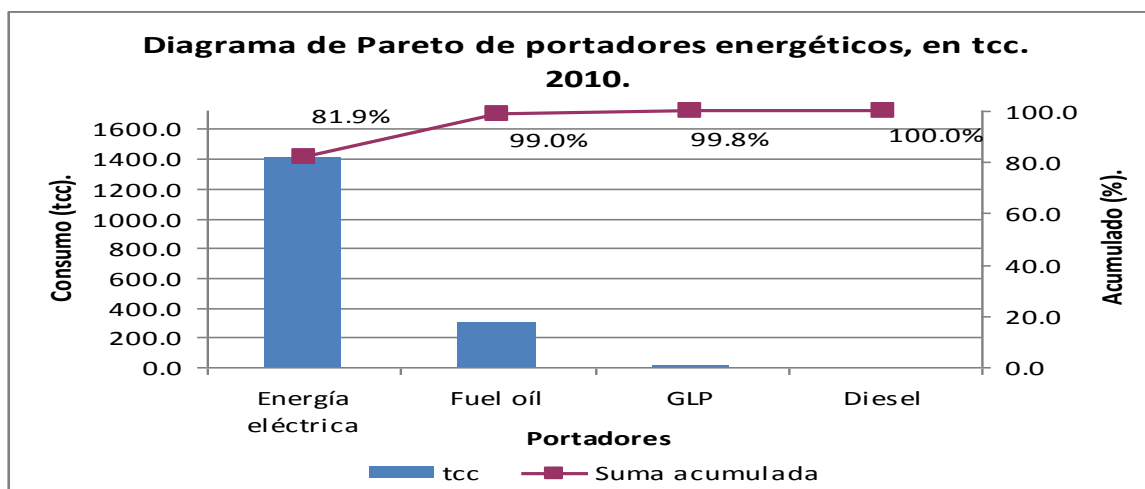


Figura 3.4 Diagrama de Pareto de los portadores energéticos en el año 2010.

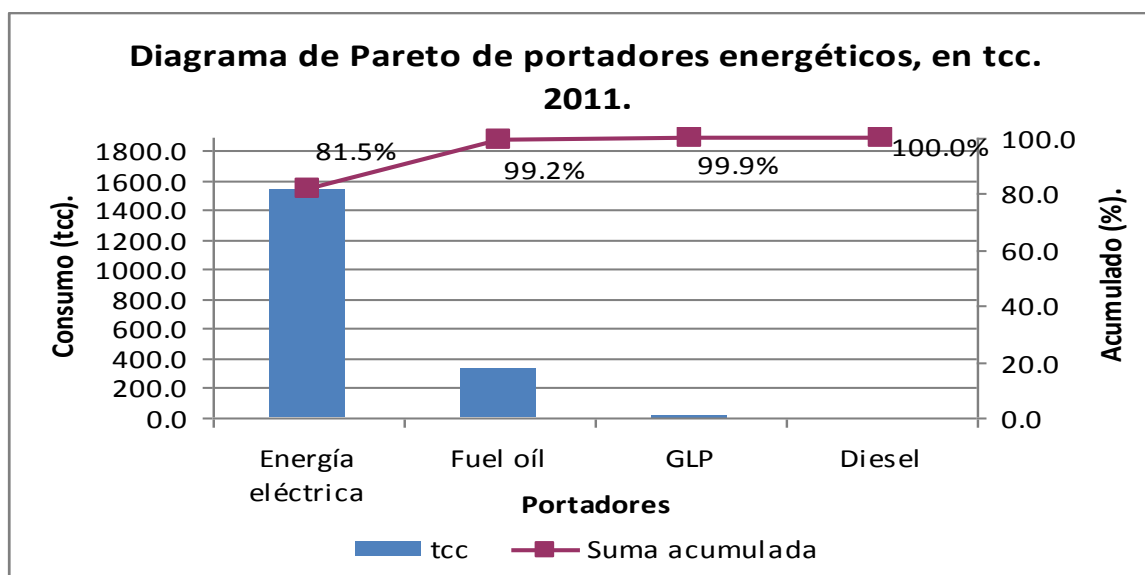


Figura 3.5 Diagrama de Pareto de los portadores energéticos en el año 2011.

Capítulo III

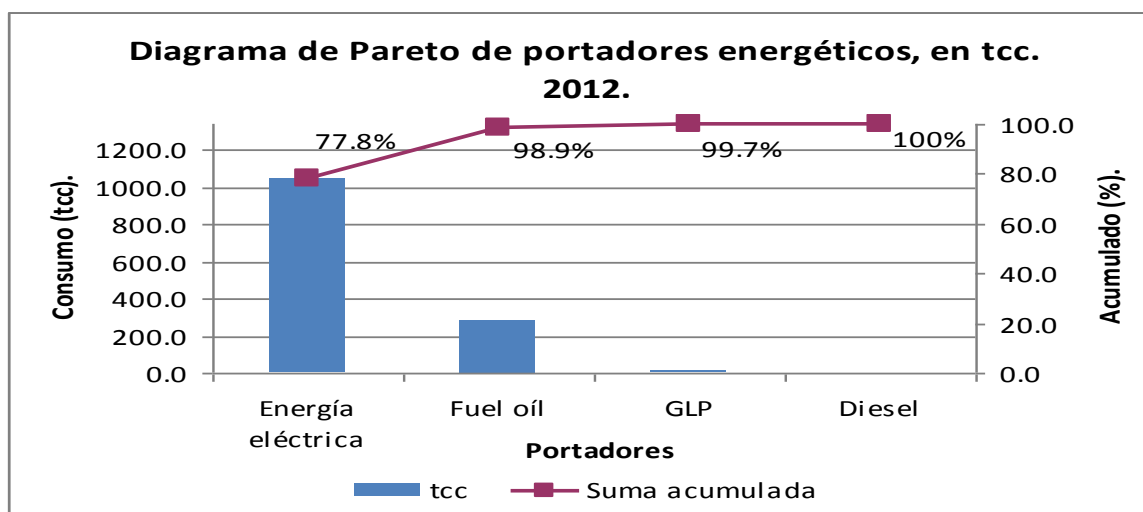


Figura 3.6 Diagrama de Pareto de los portadores energéticos en el año 2012.

Al analizar estos gráficos que designan el Diagrama de Pareto se determinó que la Energía Eléctrica y el Fuel Oil representan más del 98% del consumo total del Hospital Arnaldo Milián Castro para los años ya antes mencionados, por lo tanto se deben encaminar los estudios para aumentar la eficiencia de la instalación en una disminución del consumo de estos portadores.

Áreas, equipos o sistemas más representativos en el consumo de portadores energéticos:

Electricidad

- Sistema de clima centralizado.
- Sistema de clima alternativo (AV, Split, Consolas, Chiller).
- Sistema de iluminación.
- Compresores de aire medicinal y bombas de creación de vacío.
- Bombeo de agua potable.
- Equipos electromédicos.

Fuel Oil

- Sistema de generación de vapor

Capítulo III

3.7 Método para calcular el consumo de energía mensual

Como las pérdidas de calor en condiciones estáticas son directamente proporcionales a la diferencia entre la temperatura interna y externa, el consumo de energía mensual E_m , se puede calcular como en la ecuación.

$$E_m = \frac{H * DD_m * t_h}{\eta \frac{h_s}{c_s}} \quad (3.1)$$

Donde:

η → Eficiencia

DD_m → Grados día

H → Coeficiente de transmisión global del edificio

t_h → Es la calefacción de tiempo en un día (que se puede suponer igual a 24 h si es continuo)

H_s → Sistema de calefacción

C_s → Sistema de refrigeración

E_m → Consumo de energía mensual

Capítulo III

3.8 Análisis para determinar la temperatura base mediante Microsoft Excel

La clave para que exista un valor fiable mediante el método de los Grados-días, se encuentra en la definición de la temperatura base. Dicha temperatura será definida en este capítulo pero solo para el caso de la refrigeración debido a que en Cuba predominan las condiciones tropicales del clima.

El método que se aplica a continuación es un método gráfico-analítico, donde se analizan diferentes temperaturas bases. El mismo consiste en determinar la temperatura base mediante la relación que existe entre los consumos de energía y los Grados día por medio de un gráfico de dispersión. Con esta relación se obtiene una curva de tendencia que muestra una ecuación polinómica de orden dos ($y = \alpha'x^2 + \alpha x + \beta$). Esta curva de tendencia tiene tres componentes importantes: (α'), su pendiente (α) y su intersección con el eje vertical (β). La pendiente expresa que tanta energía se utiliza en el espacio en función de las condiciones climáticas representadas por los Grados día. Si se considera exclusivamente el consumo de energía para la climatización, sería de suponer que a cero Grados día no habría consumo de energía, siendo este igual a cero. Esto significa que la intersección de la línea en el eje de las ordenadas es el consumo de energía debido a usos no relacionados con la climatización (β) (iluminación, equipos eléctricos, etc.). El coeficiente (α') determina cual es la temperatura base real, porque a medida que dicho coeficiente se acerque más a cero, más exacta será dicha temperatura, siempre y cuando exista una alta correlación entre los consumos de energía y los Grados-días. Todo esto se aplica para un período de tiempo determinado.

Capítulo III

Tabla 4. Consumos energéticos del hospital Arnaldo Milián Castro para el periodo comprendido de Marzo hasta Agosto del año 2013 Fuente: elaboración propia

Meses	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Consumos (Kw*h)	225585	270666	274409	288894	311540	308870

Tabla 5. Grados-días para distintas temperaturas bases para el periodo comprendido de Marzo hasta Agosto del año 2013 Fuente: elaboración propia

Meses	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Tb (°C)	GD (K*día)	GD (K*día)	GD (K*día)	GD (K*día)	GD (K*día)	GD (K*día)
17.5	90.52	212.7	224.44	262.5	265.67	280.24
18.1	71.92	194.7	205.84	244.5	247.07	261.64
18.6	56.42	179.7	190.34	229.5	231.57	246.14
20	41.28	137.7	146.94	187.5	188.17	202.74
21	27.08	107.7	115.94	157.5	157.17	171.74
21.5	22.8	92.8	100.44	142.5	141.67	156.24
21.8	19.47	83.81	91.14	133.5	132.37	146.94

Capítulo III

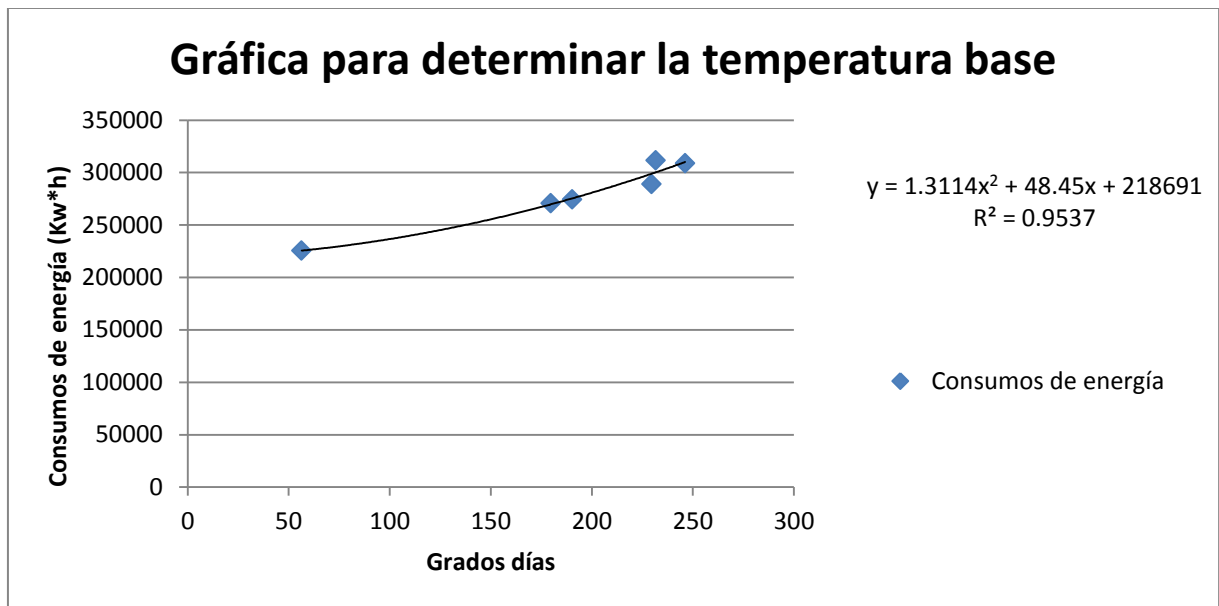


Figura 3.7 Gráfico de dispersión para una temperatura base de 18.6°C.
Fuente: elaboración propia

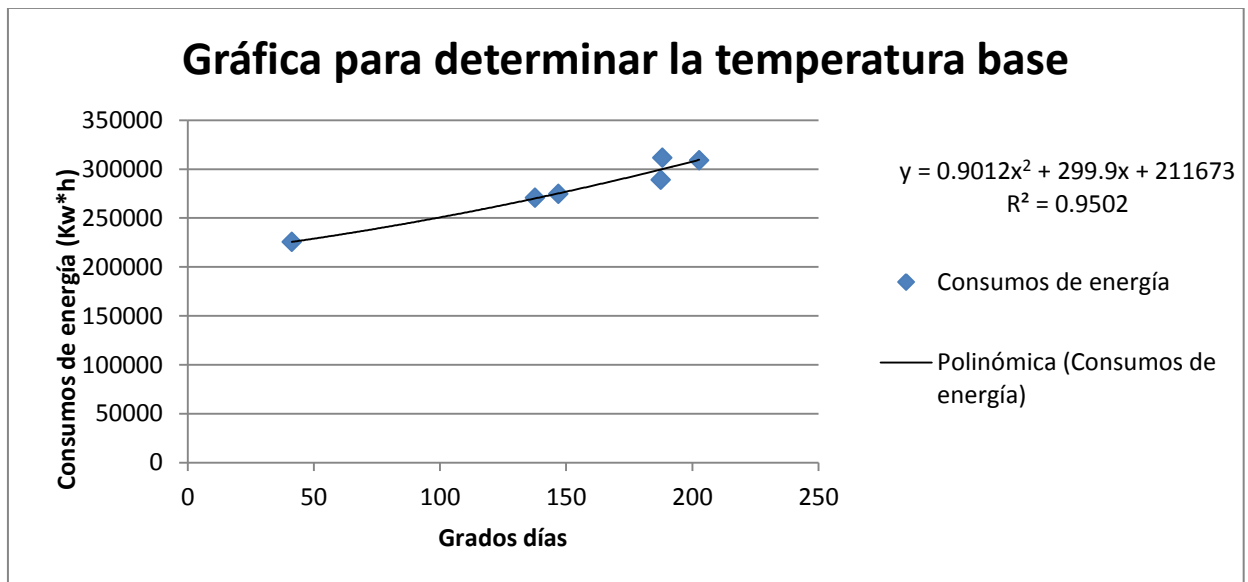


Figura 3.8 Gráfico de dispersión para una temperatura base de 20°C.

Fuente: elaboración propia

Capítulo III

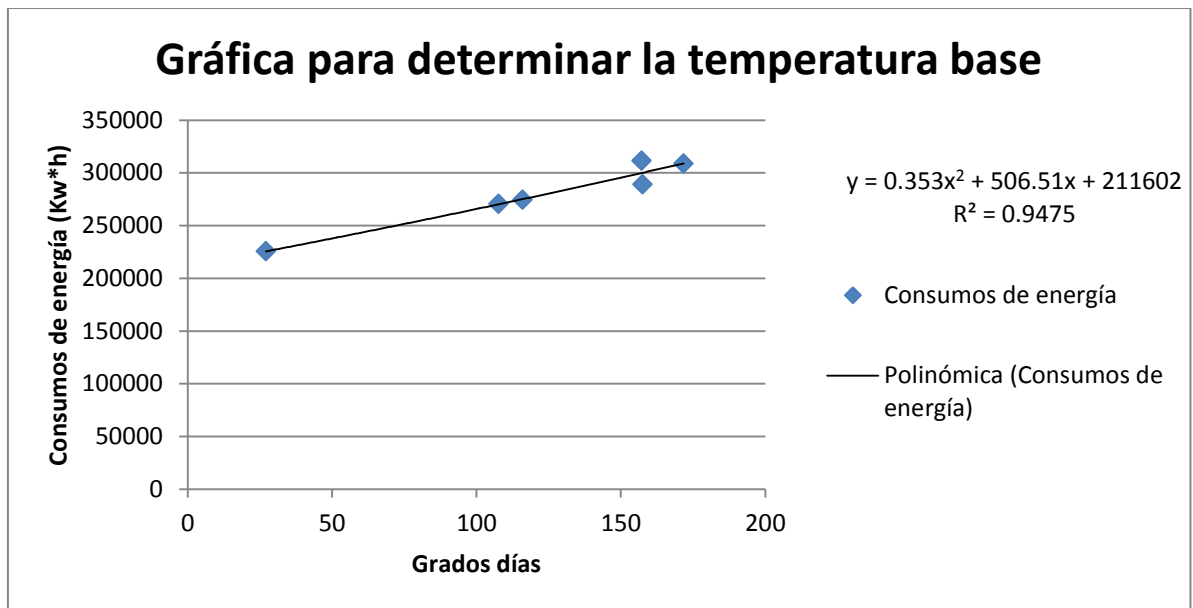


Figura 3.9 Gráfico de dispersión para una temperatura base de 21°C.

Fuente: elaboración propia

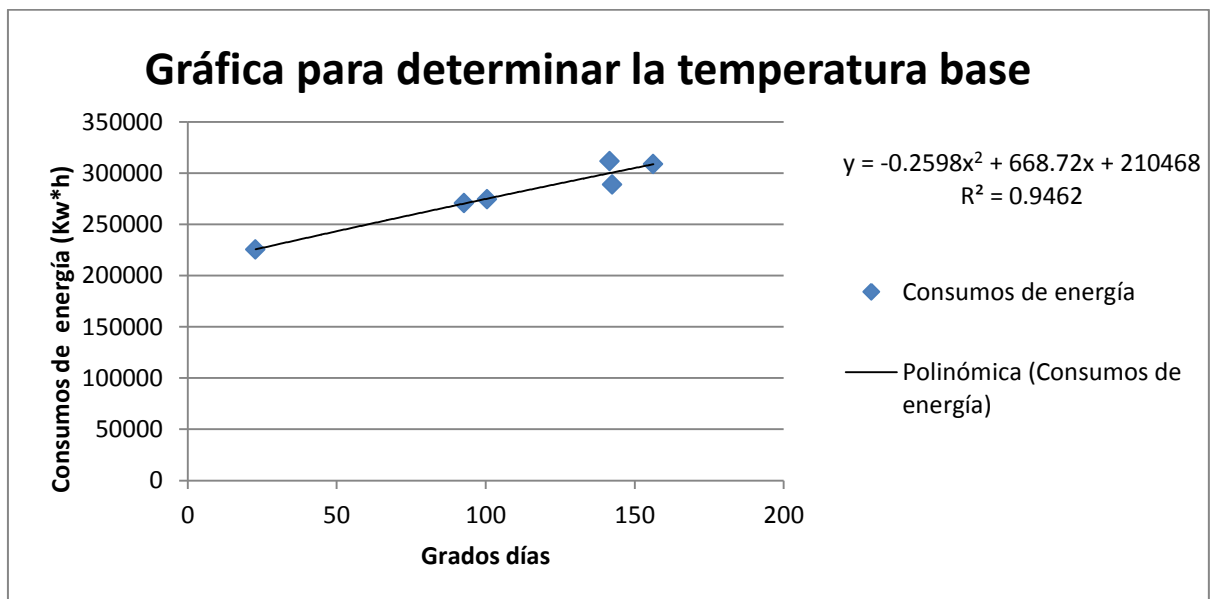


Figura 3.10 Gráfico de dispersión para una temperatura base de 21.5°C. Fuente: elaboración propia

Capítulo III

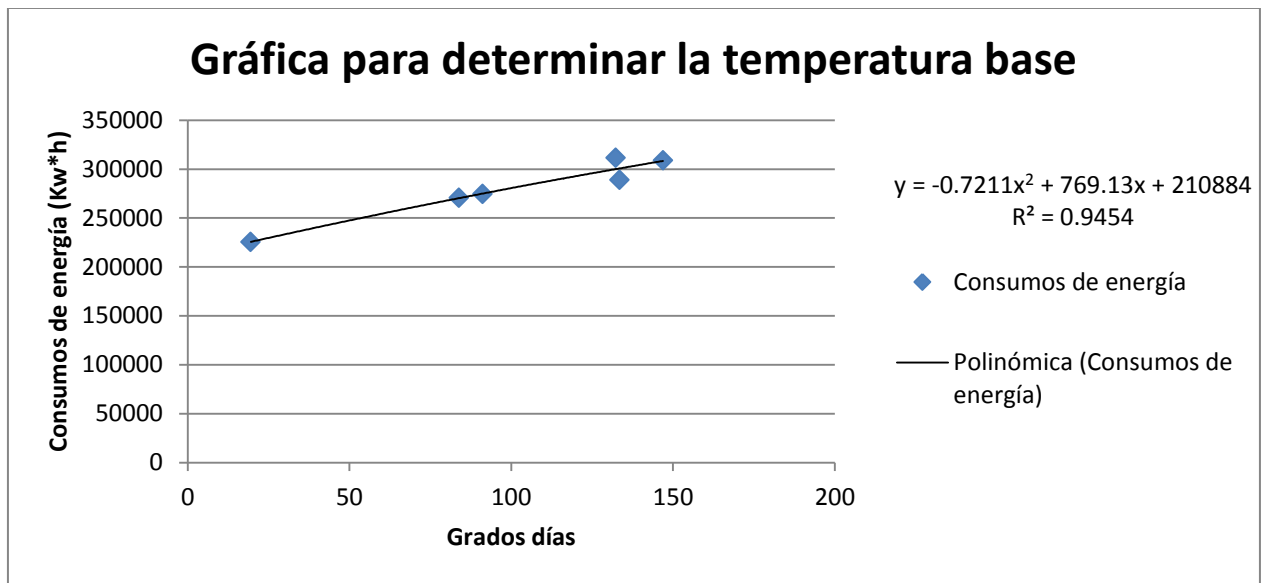


Figura 3.11 Gráfico de dispersión para una temperatura base de 21.8°C. Fuente: elaboración propia

3.9 Conclusiones Parciales

1. Realizado el estudio paramétrico se puede decir, que la temperatura base de 21.5°C es la temperatura base que se recomienda para el Hospital Arnaldo Milián Castro.
2. Con la exposición de los indicadores energéticos del Hospital Arnaldo Milián Castro se efectuaron las principales herramientas de control como el diagrama de Pareto determinando que la Energía Eléctrica y el Fuel Oil representan más del 97% del consumo total para los años 2010, 2011, 2012.

Conclusiones generales

Conclusiones generales

1. En este trabajo de diploma se aplicaron dos métodos de cálculo para obtener los valores de los Grados día según el método de Schoenau-Kehrig y el del profesor Ovidio Rodríguez Santos tomando los resultados de dichos modelos y comparándolos con el modelo de cálculo con los valores meteorológico de la ciudad de Santa Clara y calculando una diferencia de error entre ellos obteniendo un resultado mínimo por lo que estos métodos son factibles para realizar este tipo de cálculo.
2. A través de la comparación de los métodos ya antes mencionados podemos decir que existe una buena exactitud entre ellos ya que las diferencia de error no son mayores de 8 grados días, en el mes de diciembre del año 2009 es un mes que presentó una diferencia de error entre la comparación del método de Schoenau-Kehrig con los valores meteorológicos reales de Santa Clara que oscilaron entre 4 y 5, al igual que en el mes de enero. En los demás meses de la comparación se apreciaron valores de menos 1 grados día de diferencia.
3. Luego de realizado un estudio de los indicadores energéticos del Hospital Arnaldo Milián Castro se implementaron la principales herramientas de control como el diagrama de Pareto determinando que la Energía Eléctrica y el Fuel Oil representan más del 97% del consumo total para los años 2010, 2011, 2012. Con los consumos de Energía Eléctrica del período de marzo a agosto del año 2013 y los grado días de dicho período aplicando el método gráfico analítico obtenemos que la temperatura base estimada para el hospital es de 21,5 °C.

Recomendaciones

Recomendaciones

- Se recomienda para posteriores trabajos de diploma calcular el estimado de consumo de energía en un período de tiempo para el Hospital Arnaldo Milián Castro, teniendo los valores específicos de cada variable las cuales se muestran en la ecuación 3.1 ya que de esta manera se logra verificar los resultados de los métodos utilizados, no siendo esto tema de estudio un este trabajo de diploma.
- Continuar la profundización en las aplicaciones de los grados-día para usos de la refrigeración.
- Aplicarle al Hospital Arnaldo Milián Castro otros métodos de cálculos de los Grados día ya antes mencionados con el objetivo de observar los grados de exactitud entre ellos.

Bibliografía

1. 53-142, N. (1985). Variables climatológicas para la física de la arquitectura.
2. Aramís Fonte Hernandez, Z. R. J. (2005). Métodos de grados día. Determinación de la temperatura base para la provincia de Camaguey. Camaguey.
3. ASHVE. (1933). ASHVE Guide. New York: New York, NY: American Society of Heating and Ventilating Engineers.
4. CIBSE. (2006). TM41- Degree-days, Theory and application. London.
5. Hitchin. (1981). Building services Engineering research and technology. Londres.
6. J, G. (1990). *Energy and Buildings* (Vol. Volume, Vo).
7. J, H. M. (1980). "Degree day methods" Proc. CIBS/Industrial Energy Thrift Scheme Seminar.
8. Lorenzo, D. D. A. (n.d.). Implementación del software de simulación energética Energy Plus al Hospital Clínico Quirúrgico "Arnaldo Milián Castro." Villa Clara.
9. Office, T. M. (1928). The Weekly Weather Report 26th Feb, 1928 (London: His Majesty's Stationery Office). London.
10. ONE. (2009). AE Anuario Estadístico Separata. *Edición 2010, 2011*.
11. R, G. (1941). "Degree-days" J. Inst. Heating Ventilating Engineers 8 381–42.
12. Richard, S. L.-G. S. (1878). 'Paper on the computation and quantity of heat in excess of a fixed base temperature received at any place during the course of the year to supply a standard comparison with the progress of vegetation Quarterly Weather Report Appendix II.
13. Rodríguez, M. (2013). Gestión integrada. Aprendemos el concepto uso y cálculo de los grados día.
14. Web. (2011). Hospital provincial universitario Arnaldo Milián Castro. Retrieved from www.hamc.vcl.sld.cu/hamc

Bibliografía

15. Kevin Baumert and Mindy Selman (2003) World Resources Institute, Heating and Cooling Degree Days.
16. Guía de ahorro y eficiencia energética en hospitales. Retrieved from www.fenercom.com
17. Day A R (1999) Cooling degree-days and their applicability to building energy estimation.
18. Dufton A F (1934) 'Degree-days' J. Inst. Heating Ventilating Eng.
19. Víctor Armando Fuentes Freixanet. Los Grados-días como herramienta de diseño bioclimático para el ahorro de energía en edificaciones.
20. Degree Days for Energy Management (2007). Practical introduction. Technology Guide CTG004. Carbon Trust. Crown UK.

Anexos

Anexos

Anexo 1. Tabla que representa la comparación del método de Schoenau-Kehrig con el modelo calculado con los valores meteorológicos reales de la ciudad de Santa Clara para el mes de diciembre del año 2009. **Fuente: elaboración propia**

días del mes	tmax	tm	tmin	tb	GD reales	z	GD Caculados	Diferencia de error
1	25.90	23.22	18.30	18.30	152.50	2.11	152.97	0.47
2	25.90	23.22	18.30	18.55	145.15	2.01	145.52	0.37
3	25.90	23.22	18.30	18.79	138.38	1.90	138.12	-0.26
4	25.90	23.22	18.30	19.04	131.38	1.80	130.76	-0.62
5	25.90	23.22	18.30	19.28	124.74	1.69	123.47	-1.27
6	25.90	23.22	18.30	19.53	117.99	1.59	116.26	-1.73
7	25.90	23.22	18.30	19.77	111.51	1.48	109.13	-2.38
8	25.90	23.22	18.30	20.02	104.76	1.38	102.12	-2.64
9	25.90	23.22	18.30	20.26	98.34	1.27	95.23	-3.11
10	25.90	23.22	18.30	20.51	91.95	1.16	88.48	-3.47
11	25.90	23.22	18.30	20.75	85.95	1.06	81.89	-4.06
12	25.90	23.22	18.30	21.00	79.70	0.95	75.48	-4.22
13	25.90	23.22	18.30	21.24	73.70	0.85	69.28	-4.42
14	25.90	23.22	18.30	21.49	67.54	0.74	63.30	-4.24
15	25.90	23.22	18.30	21.73	61.81	0.64	57.56	-4.25
16	25.90	23.22	18.30	21.98	56.06	0.53	52.08	-3.98
17	25.90	23.22	18.30	22.22	50.54	0.43	46.88	-3.66
18	25.90	23.22	18.30	22.47	44.79	0.32	41.96	-2.83
19	25.90	23.22	18.30	22.71	36.69	0.22	37.36	0.67
20	25.90	23.22	18.30	22.96	34.14	0.11	33.06	-1.08
21	25.90	23.22	18.30	23.20	29.30	0.01	29.08	-0.22
22	25.90	23.22	18.30	23.45	24.60	-0.10	25.41	0.81
23	25.90	23.22	18.30	23.69	20.37	-0.20	22.07	1.70
24	25.90	23.22	18.30	23.94	16.36	-0.31	19.04	2.68
25	25.90	23.22	18.30	24.18	12.70	-0.41	16.31	3.61
26	25.90	23.22	18.30	24.43	9.17	-0.52	13.87	4.70
27	25.90	23.22	18.30	24.67	6.60	-0.62	11.71	5.11
28	25.90	23.22	18.30	24.92	4.34	-0.73	9.82	5.48
29	25.90	23.22	18.30	25.16	2.58	-0.83	8.17	5.59
30	25.90	23.22	18.30	25.41	0.96	-0.94	6.74	5.78
31	25.90	23.22	18.30	25.65	0.25	-1.04	5.52	5.27
Nm	31							
Sd	2.33							

Anexos

Anexo 2. Tabla que representa la comparación del método de Schoenau-Kehrig con el modelo calculado con los valores meteorológicos reales de la ciudad de Santa Clara para el mes de enero del año 2010. **Fuente: elaboración propia**

días del mes	tmax	tm	tmin	tb	GD reales	z	GD Caculados	Diferencia de error
1	25.50	20.13	13.00	13.00	221.10	1.77	222.96	1.86
2	25.50	20.13	13.00	13.40	209.10	1.67	210.99	1.89
3	25.50	20.13	13.00	13.81	197.32	1.57	199.15	1.83
4	25.50	20.13	13.00	14.21	186.33	1.47	187.46	1.13
5	25.50	20.13	13.00	14.61	175.53	1.37	175.93	0.40
6	25.50	20.13	13.00	15.02	164.60	1.27	164.60	0.00
7	25.50	20.13	13.00	15.42	154.60	1.17	153.50	-1.10
8	25.50	20.13	13.00	15.82	144.60	1.07	142.64	-1.96
9	25.50	20.13	13.00	16.23	134.58	0.97	132.07	-2.51
10	25.50	20.13	13.00	16.63	125.01	0.87	121.81	-3.20
11	25.50	20.13	13.00	17.03	115.84	0.77	111.89	-3.95
12	25.50	20.13	13.00	17.44	106.82	0.67	102.35	-4.47
13	25.50	20.13	13.00	17.84	98.50	0.57	93.20	-5.30
14	25.50	20.13	13.00	18.24	90.64	0.47	84.48	-6.16
15	25.50	20.13	13.00	18.65	82.85	0.37	76.20	-6.65
16	25.50	20.13	13.00	19.05	75.25	0.27	68.39	-6.86
17	25.50	20.13	13.00	19.45	68.00	0.17	61.06	-6.94
18	25.50	20.13	13.00	19.85	60.80	0.07	54.22	-6.58
19	25.50	20.13	13.00	20.26	53.42	-0.03	47.88	-5.54
20	25.50	20.13	13.00	20.66	46.22	-0.13	42.04	-4.18
21	25.50	20.13	13.00	21.06	39.18	-0.23	36.69	-2.49
22	25.50	20.13	13.00	21.47	32.21	-0.33	31.83	-0.38
23	25.50	20.13	13.00	21.87	26.05	-0.43	27.43	1.38
24	25.50	20.13	13.00	22.27	20.42	-0.53	23.50	3.08
25	25.50	20.13	13.00	22.68	15.14	-0.63	19.99	4.85
26	25.50	20.13	13.00	23.08	10.88	-0.73	16.90	6.02
27	25.50	20.13	13.00	23.48	7.28	-0.83	14.18	6.90
28	25.50	20.13	13.00	23.89	4.56	-0.93	11.82	7.26
29	25.50	20.13	13.00	24.29	2.64	-1.03	9.78	7.14
30	25.50	20.13	13.00	24.69	1.04	-1.13	8.04	7.00
31	25.50	20.13	13.00	25.10	0.40	-1.23	6.55	6.15
Nm	31.00							
Sd	4.03							

Anexos

Anexo 3. Tabla que representa la aplicación del método del profesor Ovidio Rodríguez Santos para el mes de diciembre del año 2010. **Fuente:** elaboración propia

días del mes	tmax	tm	tmin	tb	tme	ž	tme (tm)	A	B	Z	t'mee™	ke	t'mee	GDe	Gdee	GDe	Diferencia de error
1	22.6	17.68	12.2	12.20	17.68	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	17.68	169.88	170	0.00	0.12
2	22.6	17.68	12.2	12.54	17.84	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	17.69	159.82	159.8	0.34	-0.02
3	22.6	17.68	12.2	12.87	18.00	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	17.71	149.92	149.97	0.84	0.05
4	22.6	17.68	12.2	13.21	18.16	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	17.73	140.20	140.11	1.52	-0.09
5	22.6	17.68	12.2	13.54	18.31	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	17.76	130.68	130.68	2.40	0.00
6	22.6	17.68	12.2	13.88	18.47	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	17.79	121.35	121.16	3.47	-0.19
7	22.6	17.68	12.2	14.21	18.63	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	17.83	112.23	112.03	4.75	-0.20
8	22.6	17.68	12.2	14.55	18.79	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	17.88	103.33	102.85	6.25	-0.48
9	22.6	17.68	12.2	14.88	18.95	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	17.94	94.68	93.94	8.00	-0.74
10	22.6	17.68	12.2	15.22	19.11	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	18.00	86.27	84.76	9.99	-1.51
11	22.6	17.68	12.2	15.55	19.27	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	18.07	78.12	75.85	12.24	-2.27
12	22.6	17.68	12.2	15.89	19.43	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	18.16	70.25	66.67	14.77	-3.58
13	22.6	17.68	12.2	16.23	19.58	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	18.25	62.68	58.18	17.60	-4.50
14	22.6	17.68	12.2	16.56	19.74	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	18.35	55.41	50.26	20.73	-5.15
15	22.6	17.68	12.2	16.90	19.90	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	18.46	48.46	42.4	24.18	-6.06
16	22.6	17.68	12.2	17.23	20.06	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	18.58	41.86	35.23	27.98	-6.63
17	22.6	17.68	12.2	17.57	20.22	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	18.72	35.62	28.94	32.14	-6.68
18	22.6	17.68	12.2	17.90	20.38	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	18.86	29.76	23.7	36.68	-6.06
19	22.6	17.68	12.2	18.24	20.54	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	19.02	24.29	18.88	41.61	-5.41
20	22.6	17.68	12.2	18.57	20.70	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	19.19	19.24	14.76	46.96	-4.48
21	22.6	17.68	12.2	18.91	20.85	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	19.38	14.64	11.41	52.76	-3.23
22	22.6	17.68	12.2	19.25	21.01	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	19.58	10.49	8.4	59.01	-2.09
23	22.6	17.68	12.2	19.58	21.17	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	19.80	6.83	6.22	65.75	-0.61
24	22.6	17.68	12.2	19.92	21.33	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	20.03	3.67	4.52	72.99	0.85
25	22.6	17.68	12.2	20.25	21.49	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	20.29	1.05	3.35	80.77	2.30
26	22.6	17.68	12.2	20.59	21.65	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	20.55	-1.01	2.52	89.11	3.53
27	22.6	17.68	12.2	20.92	21.81	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	20.84	-2.48	1.86	98.04	4.34
28	22.6	17.68	12.2	21.26	21.97	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	21.15	-3.34	1.34	107.58	4.68
29	22.6	17.68	12.2	21.59	22.12	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	21.48	-3.55	1.01	117.77	4.56
30	22.6	17.68	12.2	21.93	22.28	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	21.83	-3.09	0.67	128.63	3.76
31	22.6	17.68	12.2	22.26	22.44	1.70	20.27	2.31	0.81	1.51	18.76	0.19	22.20	-1.91	0.34	140.21	2.25
Nm	31																

Anexos

Anexo 4. Tabla que representa el modelo de cálculo de los Grados día con los valores meteorológicos reales de la ciudad de Santa Clara. **Fuente:** elaboración propia

Año 2010	Diciembre	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	
días	tb	12.20	12.54	12.87	13.21	13.54	13.88	14.21	14.55	14.88	15.22	15.55	15.89	16.23	16.56	16.90	
1.00	12.20																
2.00	12.80	0.60	0.26														
3.00	13.40	1.20	0.86	0.53	0.19												
4.00	14.10	1.90	1.56	1.23	0.89	0.56	0.22										
5.00	15.90	3.70	3.36	3.03	2.69	2.36	2.02	1.69	1.35	1.02	0.68	0.35	0.01				
6.00	15.90	3.70	3.36	3.03	2.69	2.36	2.02	1.69	1.35	1.02	0.68	0.35	0.01				
7.00	16.20	4.00	3.66	3.33	2.99	2.66	2.32	1.99	1.65	1.32	0.98	0.65	0.31				
8.00	16.60	4.40	4.06	3.73	3.39	3.06	2.72	2.39	2.05	1.72	1.38	1.05	0.71	0.37	0.04		
9.00	17.00	4.80	4.46	4.13	3.79	3.46	3.12	2.79	2.45	2.12	1.78	1.45	1.11	0.77	0.44	0.10	
10.00	17.10	4.90	4.56	4.23	3.89	3.56	3.22	2.89	2.55	2.22	1.88	1.55	1.21	0.87	0.54	0.20	
11.00	17.20	5.00	4.66	4.33	3.99	3.66	3.32	2.99	2.65	2.32	1.98	1.65	1.31	0.97	0.64	0.30	
12.00	17.20	5.00	4.66	4.33	3.99	3.66	3.32	2.99	2.65	2.32	1.98	1.65	1.31	0.97	0.64	0.30	
13.00	17.40	5.20	4.86	4.53	4.19	3.86	3.52	3.19	2.85	2.52	2.18	1.85	1.51	1.17	0.84	0.50	
14.00	17.60	5.40	5.06	4.73	4.39	4.06	3.72	3.39	3.05	2.72	2.38	2.05	1.71	1.37	1.04	0.70	
15.00	17.70	5.50	5.16	4.83	4.49	4.16	3.82	3.49	3.15	2.82	2.48	2.15	1.81	1.47	1.14	0.80	
16.00	17.70	5.50	5.16	4.83	4.49	4.16	3.82	3.49	3.15	2.82	2.48	2.15	1.81	1.47	1.14	0.80	
17.00	18.00	5.80	5.46	5.13	4.79	4.46	4.12	3.79	3.45	3.12	2.78	2.45	2.11	1.77	1.44	1.10	
18.00	18.20	6.00	5.66	5.33	4.99	4.66	4.32	3.99	3.65	3.32	2.98	2.65	2.31	1.97	1.64	1.30	
19.00	18.40	6.20	5.86	5.53	5.19	4.86	4.52	4.19	3.85	3.52	3.18	2.85	2.51	2.17	1.84	1.50	
20.00	18.60	6.40	6.06	5.73	5.39	5.06	4.72	4.39	4.05	3.72	3.38	3.05	2.71	2.37	2.04	1.70	
21.00	18.70	6.50	6.16	5.83	5.49	5.16	4.82	4.49	4.15	3.82	3.48	3.15	2.81	2.47	2.14	1.80	
22.00	18.70	6.50	6.16	5.83	5.49	5.16	4.82	4.49	4.15	3.82	3.48	3.15	2.81	2.47	2.14	1.80	
23.00	19.20	7.00	6.66	6.33	5.99	5.66	5.32	4.99	4.65	4.32	3.98	3.65	3.31	2.97	2.64	2.30	
24.00	19.30	7.10	6.76	6.43	6.09	5.76	5.42	5.09	4.75	4.42	4.08	3.75	3.41	3.07	2.74	2.40	
25.00	19.40	7.20	6.86	6.53	6.19	5.86	5.52	5.19	4.85	4.52	4.18	3.85	3.51	3.17	2.84	2.50	
26.00	19.70	7.50	7.16	6.83	6.49	6.16	5.82	5.49	5.15	4.82	4.48	4.15	3.81	3.47	3.14	2.80	
27.00	19.80	7.60	7.26	6.93	6.59	6.26	5.92	5.59	5.25	4.92	4.58	4.25	3.91	3.57	3.24	2.90	
28.00	20.10	7.90	7.56	7.23	6.89	6.56	6.22	5.89	5.55	5.22	4.88	4.55	4.21	3.87	3.54	3.20	
29.00	20.40	8.20	7.86	7.53	7.19	6.86	6.52	6.19	5.85	5.52	5.18	4.85	4.51	4.17	3.84	3.50	
30.00	21.10	8.90	8.56	8.23	7.89	7.56	7.22	6.89	6.55	6.22	5.88	5.55	5.21	4.87	4.54	4.20	
31.00	22.60	10.40	10.06	9.73	9.39	9.06	8.72	8.39	8.05	7.72	7.38	7.05	6.71	6.37	6.04	5.70	
GD	548.20	170.00	159.80	149.97	140.11	130.68	121.16	112.03	102.85	93.94	84.76	75.85	66.67	58.18	50.26	42.40	
días	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	
Tmg!		17.68	17.69	17.71	17.73	17.76	17.79	17.83	17.87	17.91	17.95	18.00	18.04	18.10	18.18	18.26	
Tm		17.68	17.84	18.00	18.16	18.31	18.47	18.63	18.79	18.95	19.11	19.27	19.43	19.58	19.74	19.90	
	17.68																
	2.35	5.20	5.03	4.86	4.70	4.53	4.36	4.19	4.03	3.86	3.69	3.52	3.35	3.19	3.02	2.85	
		0.00	0.15	0.29	0.43	0.56	0.69	0.81	0.92	1.04	1.15	1.27	1.38	1.48	1.56	1.64	

Anexos
