

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

**Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías
Ambientales (CEETA)**

TRABAJO DE DIPLOMA

**Título: Aplicación de un procedimiento para la gestión energética
en hospitales y hoteles de la provincia de Villa Clara.**

Autor: Elianys Rodríguez Díaz

Tutores: M. Sc. Ovidio Rodríguez Santos

Ing. Yunior García Gálvez

Santa Clara, Junio 2019
Copyright©UCLV

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Center of Environmental Energy and Technological
Studies (CEETA).

DIPLOMA THESIS

Title: Application of a procedure for energy management in
hospitals and hotels in the province of Villa Clara.

Author: Elianys Rodríguez Díaz

Thesis Director: M. Sc. Ovidio Rodríguez Santos
Ing. Yunior García Gálvez

Santa Clara, June, 2019
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

*La ciencia puede divertirnos y fascinarnos
pero es la ingeniería la que cambia el mundo.*

Issac Asimov

Agradecimientos:

Los más grandes agradecimientos van dedicados a ustedes mami y papi, porque fueron mi mayor inspiración durante todo este largo andar, porque sin ustedes no sé qué sería de mis sueños, no hubiese sido quien soy hasta ahora y porque sin ustedes esto nunca hubiera tenido sentido. Muchas gracias por su paciencia y por confiar siempre en mí.

Le doy las gracias también a mi niña hermosa que desde que llego a mi vida ha sido el motor impulsor de todos mis logros. Te amo mucho mi vida.

A mis tías Ana Deisy y Yenisey por sus consejos y apoyarme siempre y por ser como madres para mí.

A mí querido tutor Ovidio por su confianza y dedicación en este momento tan importante. Muchas gracias por ayudarme y enseñarme a ampliar la mente como profesional y a lograr siempre los objetivos previstos.

Muchas gracias a todos los profesores de la facultad, pues desde que estaba en primer año solo han sabido entregarme su sabiduría y que por ellos hoy es que estoy aquí. Muchas gracias por no perder nunca la paciencia conmigo.

Gracias al claustro de profesores del departamento de investigación del CEETA por enseñarme que ser ingeniera no es solamente tener un título sino saber resolver problemas con conocimientos y técnicas.

A Samy Brito por ser esa persona que siempre entendió mi postura ante la vida y ante todas las adversidades que tuve en el transcurso del tiempo.

A mis amigas Anyel y Dianelis por estar siempre conmigo en las buenas y malas.

A todos los que no menciono, pero que de una forma u otra son parte de este gran logro.

MUCHAS GRACIAS.

Resumen:

En la presente investigación se realiza una revisión bibliográfico-documental donde se exponen aspectos teóricos relacionados con el método de los Grados-Día, las normas cubanas como la ISO 50001, ISO 50002, ISO 50003:2014, entre otras; las normales climatológicas, la temperatura base y lo relacionado con el establecimiento de líneas de base energéticas a nivel mundial. De acuerdo con los principales resultados se caracterizó el clima de Villa Clara como muy caliente/húmedo en general. Se establece un procedimiento de cálculo para la obtención de la línea de base energética para las entidades seleccionadas de la provincia, perteneciendo estas al sector de los servicios y siendo de vital importancia en el consumo energético provincial, Con esto se logra establecer un control y monitoreo de la energía consumida. Luego se proponen diferentes indicadores de desempeño, calculado fundamentalmente para escala de tiempo mensual. La aplicación de este procedimiento contribuye a la realización de análisis más confiables en la evaluación del desempeño energético en entidades del sector hotelero y el terciario en general.

Palabras claves: Grados-Día, NC ISO 50001, desarrollo energético, Gestión Energética, Línea de Base Energética, Normales Climatológicas, temperatura base.

Summary:

In the present investigation, a bibliographic-documentary review is made where theoretical aspects related to the Grades-Day method are exposed, Cuban norms such as ISO 50001, ISO 50002, ISO 50003: 2014, among others; the climatological normals, the base temperature and that related to the establishment of energy baselines worldwide. According to the main results, Villa Clara's climate was characterized as very hot / humid in general. A calculation procedure is established to obtain the energy baseline for the selected entities of the province, belonging to the services sector and being of vital importance in the provincial energy consumption. This is achieved by establishing a control and monitoring of the energy consumed. Then different performance indicators are proposed, calculated mainly for monthly time scale. The application of this procedure contributes to the realization of more reliable analyzes in the evaluation of energy performance in entities of the hotel sector and the tertiary sector in general.

Keywords: Grades-Day, NC ISO 50001, energy development, Energy Management, Energy Baseline, Climatological Standards, base temperature.

Tabla de contenido

Introducción.....	9
Capítulo 1: Estudio del Arte	13
1.1. Introducción.....	13
1.2. Caracterización de las Normas Cubanas	13
1.2.1. NC ISO 50001.....	13
1.2.2. ISO 50002.....	17
1.2.3. ISO 50003:2014	18
1.2.4. ISO 50004:2014	18
1.2.5. ISO 50006:2014	18
1.2.6. ISO 50015.....	19
1.3. Introducción al método de los Grados-Día	20
1.3.1. Método Grados-día. Definición.....	20
1.3.2. Grados día de enfriamiento.....	21
1.3.3. Grados día de calentamiento	21
1.3.4. Métodos de Cálculo para los Grados-Días.....	21
1.3.4 Aplicaciones de los Grados-Días	22
1.4 La temperatura base	25
1.5. Línea de Base Energética	26
1.6. Indicadores de Desempeño.....	27
1.7. Caracterización del clima en Cuba	27
1.7.1. Caracterización de las zonas meteorológicas	28
1.8. Definición de Normales Climatológicas	29
Capítulo 2: Métodos de cálculo seleccionados.....	31
2.1. Introducción	31
2.2. El método de los grados-día aplicado a la gestión energética.....	31
2.2.1. Procedimiento para el estimado de la temperatura base t_b , para el cálculo de los grados-día de enfriamiento, con escala de tiempo variable	32
2.2.2. Calculo de la Temperatura Base.....	35
2.3. Modelo base para el cálculo de los Grados-Día de enfriamiento (GDE) con temperatura base variable.....	36
2.3.1. Breve introducción.....	36
2.3.2. Método de Cálculo.	37
2.4. Cálculo de los Grados-Día de enfriamiento (GDE) en Microsoft Excel.....	38
2.5. Procedimiento para establecer la línea de base energética	40
2.5.1. Metodología a seguir.....	40
Capítulo 3: Resultados y discusión.	46
3.1. Calculo de los Grados Día de Enfriamiento.....	46
3.2. Procedimiento para establecer la Línea de Base Energética	47
3.3 Línea Base Energética para un hotel de la provincia central de Villa Clara.	53
Conclusiones	58
Recomendaciones	59
Trabajos Citados.....	60
Anexos.....	62

Introducción.

Con el paso de los años se ha buscado soluciones para el incremento de la eficiencia energética con mayor rapidez y corto plazo, basado en la utilización de fuentes renovables de energía para reducir emisiones de gases de efecto invernadero y la disminución del consumo de combustibles fósiles. Se investiga en la forma de utilizar el método de los grados-día como herramienta para aplicarlo al sistema de gestión energética [1], la obtención de una línea base energética a través de una temperatura base variable con el propósito de relacionar la variación del consumo de energía mensual contra la temperatura para con ello estandarizar un procedimiento de cálculo que sea aplicable a empresas [2], donde existan sistemas de refrigeración donde su consumo de energía se corresponda con una importante parte del consumo total de la energía eléctrica.

A partir de la Revolución Energética el país comenzó a llevar a cabo la implementación de los Sistemas de Gestión Energética (SGEn) fundamentalmente en los centros de producción y servicios mayores consumidores. En el 2011 la Organización Internacional de Normalización (ISO) creó la Norma del Sistema de Gestión Eficiente de Energía ISO 50001, y ese mismo año fue adoptada como Norma Cubana, esta presenta como propósito facilitar a las organizaciones el establecimiento de los sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, la eficiencia energética, y el uso y consumo de la energía [3].

Esta norma, especifica los requisitos aplicables al uso y consumo de la energía, incluyendo la medición, documentación e información, las prácticas para el diseño y adquisición de equipos, sistemas, procesos y personal que posibilitan el mejoramiento continuo del desempeño energético. La aplicación de esta norma internacional contribuye a lograr un uso más eficiente de las fuentes de energía disponibles, tanto renovables como no renovables, a incrementar la competitividad y a reducir el impacto ambiental asociado al uso de la energía. Además, puede ser utilizada para la certificación, el registro o para la implantación de un sistema de gestión energética en una organización [4].

La importancia que se le concede a la gestión de la energía en la provincia de Villa Clara puede valorarse en el hecho que en los últimos años se han realizado varios estudios relacionados con el tema de los Grados-Día, que involucra a empresas importantes en el territorio, pero existen otras que también representan un alto por ciento en el consumo energético. El sector de los servicios es uno de los que se ha venido trabajando [5], dentro del cual se encuentran los hospitales y hoteles.

El propósito que se tiene al estudiar varias entidades de la provincia, específicamente 6 hospitales y 5 hoteles es obtener la línea base energética de estas entidades mediante la aplicación del Método de los Grados-Día Herramienta necesaria en la norma NC ISO 50001.

En el documento: Recomendaciones metodológicas para la implementación de sistemas de gestión de la energía según la norma ISO 50001 [6], se hace referencia a la existencia de variables con una elevada correlación con el consumo de energía, así como una relación causa efecto entre ellas, por lo cual se hace necesario incluir esta variable en la normalización de la línea base energética y los indicadores de desempeño energético. Dentro de las variables de influencia en el consumo de energía más frecuentes se pueden señalar las siguientes:

1. Los niveles de producción.
2. La estructura de productos (con diferentes consumos específicos de energía).
3. El clima (en instalaciones con significativos consumos en refrigeración y climatización).
4. Los niveles de ocupación (en las edificaciones).
5. Las horas de operación.
6. Los niveles de luz ambiente.

Una de las variables con una influencia determinante en el consumo de energía asociado a los sistemas de refrigeración corresponde al clima, ya que este engloba características como temperatura y humedad del aire, variables

relacionadas directamente con las cargas sensibles y latentes del sistema de refrigeración y por lo tanto con el consumo de energía.

En este trabajo se realiza una normalización de la variable clima mediante el método grados-días, con el objetivo de obtener una línea base energética para las entidades del sector terciario, es específico hoteles y hospitales en la provincia de Villa Clara. Para lo cual, se tomaron como temperatura promedio mensual las normales climatológicas para las regiones de Santa Clara, Caibarién, Sagua la Grande, Manicaragua y Santo Domingo.

Situación problemática:

Para la correcta implementación de un sistema de gestión energética en hoteles y hospitales se hace necesario seleccionar un método para determinar la línea base e índices de desempeño con el cual se obtengan altos valores de correlación y posibiliten la utilización de los índices vigentes en este tipo instalaciones.

Hipótesis:

Es posible determinar la línea base energética con un alto coeficiente de correlación mediante la aplicación de un procedimiento que relacione el consumo de energía eléctrica con la temperatura ambiente exterior y/o los niveles de ocupación como variables claves.

Objetivo general:

Obtener la línea base energética y los índices de desempeño para los hoteles y hospitales seleccionados de la provincia Villa Clara, utilizando como herramienta fundamental el cálculo de los Grados-Día de enfriamiento.

Objetivos específicos:

1. Realizar un estudio para seleccionar los métodos y herramientas en el marco teórico de la investigación.
2. Especificar los dos métodos a utilizar: el cálculo de los Grados-Día como herramienta fundamental, y el procedimiento para establecer la línea de base energética para cada entidad propuesta.

3. Realizar una evaluación del procedimiento establecido para las entidades correspondiente para establecer la ecuación de la línea base energética y el cálculo de los índices de desempeño.

Capítulo 1: Estudio del Arte

1.1. Introducción

En el presente capítulo se analizarán los fundamentos teóricos que sirven de base a la investigación. Se abordará una panorámica global sobre el proceso de gestión energética y su aplicación en Cuba. Se particulariza en la Norma Cubana ISO 50001, además de hacer referencia a las normas ISO 50002, ISO 50003:2014, ISO 50004:2014, ISO 50006:2014, ISO 50015.

Se realiza además una breve descripción del clima en Cuba específicamente en la provincia de Villa Clara, donde se sitúan las entidades que se estudian. Entre los distintos métodos empleados para analizar la interacción del clima con el consumo de energía, sobre todo en procesos de climatización, refrigeración, acondicionamiento de locales, etc., se encuentra el denominado Método de los Grados-Día, el cual se basa en el análisis de un denominado valor de temperatura base, que es el punto en el cual debe existir un equilibrio dinámico entre el objeto o sistema en estudio y el ambiente [7]. En este capítulo se aborda todo lo relacionado a este concepto así como sus disímiles aplicaciones.

1.2. Caracterización de las Normas Cubanas

1.2.1. NC ISO 50001

En el año 2008 la organización Internacional de Normalización ISO identificó la necesidad de desarrollar una norma internacional para los sistemas de gestión energética. En junio de 2011 se publicó la **Norma ISO 50001**, la cual está basada en una amplia capacidad de aplicación en todos los sectores económicos, por lo que se espera que incida en un vasto conjunto de organizaciones que en suma representan cerca de un 60% de la demanda energética mundial y que logre un incremento de la eficiencia energética a largo plazo de un 20% o más en las instalaciones industriales [8].

En ese mismo año Cuba la adoptó e inició la preparación para aplicarla en entidades de esa esfera, vital en el avance socioeconómico del país, que transita con éxito el sendero de la certificación de la calidad en la producción, los servicios y el comercio.

Según Mario A. Álvarez Guerra Plasencia [9], en la implementación del sistema de gestión energética se siguen los requisitos exigidos por la NC ISO 50001 “Sistemas de gestión de la energía-Requisitos con orientación para su uso”, vigente desde diciembre de 2011. El propósito de esta norma es facilitar a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética y el uso y consumo de la energía. El alcance del trabajo se restringe a las etapas de política y planificación energéticas.

Según Israel García Silva [10], esta norma tiene como objeto proveer los sistemas y procesos necesarios para que las distintas organizaciones mejoren su política energética. Está destinada a cualquier tipo de organismo. En ella se especifican los requisitos de un sistema de gestión de energía que permite a la organización alcanzar los compromisos derivados de su política energética y establecer objetivos, metas y planes de acción para mejorar su rendimiento energético. Está basado en el ciclo de mejora continua Planificar – Hacer – Verificar – Actuar (PHVA) representado en la figura 1. Con ello se consigue un uso más eficiente de las fuentes de energía así como la reducción del impacto ambiental [6].

PLANEAR: establecer los objetivos y los procesos necesarios para alcanzar los resultados de acuerdo con las oportunidades para mejorar el comportamiento energético y las políticas de la organización.

HACER: implementar los procesos.

VERIFICAR: monitorear y evaluar los procesos y los productos con referencia a las políticas, objetivos y sus características claves.

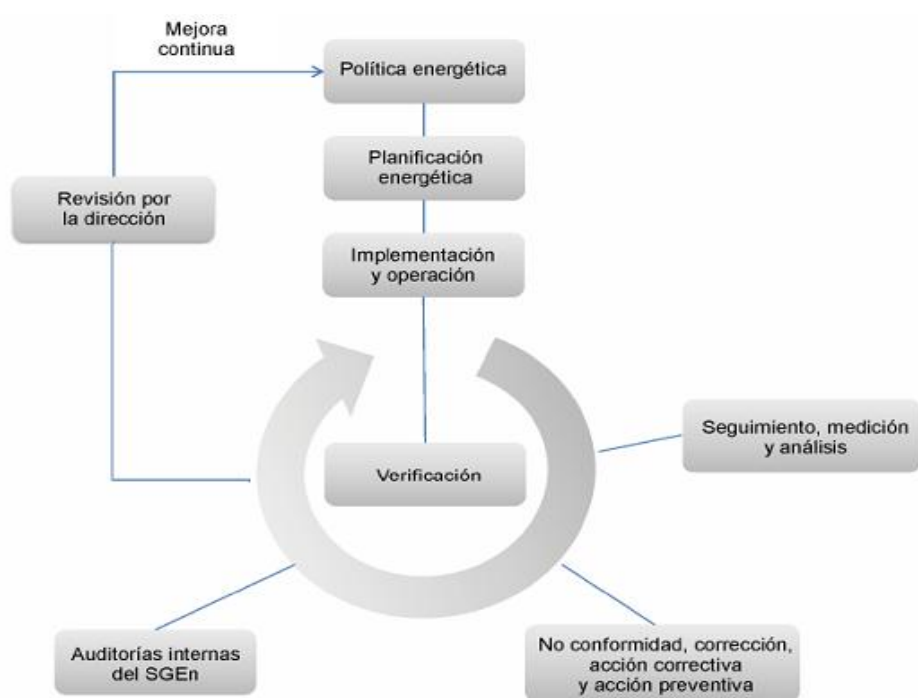
ACTUAR: tomar acciones para la mejora continua del comportamiento energético.

En la figura 1 se establece un Modelo de Sistema de Gestión Energética (SGEn) en la que se puede observar, dentro del ciclo de mejora continua, donde se podrían enfocar medidas para perfeccionar un SGEn determinado. Uno de los enfoques en el cual se podrían implementar una mejora de dicho sistema es en la planificación, mediante la obtención de una línea base

energética que permita identificar un problema u oportunidad que contribuyan a una mejora del desempeño energético.

Esta línea base energética se puede obtener asociando el consumo de energía de una entidad determinada al clima presente en la región donde se encuentra mediante la normalización con el método Grado-Día, de esta manera quedaría normalizado el consumo de energía correspondiente a las variaciones de temperatura del ambiente quedando un consumo de energía no asociado correspondiente a otros sistemas de la entidad.

Figura 1. Modelo del Sistema de Gestión de la Energía.



Definición de la política energética.

La política energética constituye la base, la guía para la implementación, operación y mejora del SGEn y del desempeño energético de la organización. Esta debe ser simple y breve, para que sea comprendida por todos los miembros y personal relacionado con la organización, y reflejar el compromiso de la Dirección para lograr la mejora continua del desempeño energético y asegurar la información y los recursos para alcanzar los objetivos y metas.

La política energética proporciona el marco para establecer los objetivos y metas energéticos, en consonancia con los objetivos estratégicos de la organización, así como la referencia para la evaluación de su cumplimiento. [6]

Establecimiento del plan de implementación del SGEEn.

En el plan de implementación deberán quedar definidos las tareas y resultados (entregables) asociados a ellas, los responsables de que la tarea se ejecute y el plazo para su ejecución (fecha de inicio y de terminación), así como cualquier observación sobre los recursos u otros aspectos necesarios. Esto es, el plan establece: “qué se realizará”, “quién lo realizará” y “cuándo se realizará”. En el plan se puede incluir el calendario de reuniones del equipo de gestión y de reuniones con la Dirección para reportar y analizar la marcha de la implementación del SGEEn [6].

Implementación y operación del SGEEn:

Una vez concluida la etapa de “Planear” del modelo de mejora continua PHVA, se debe pasar a la etapa de “Hacer”, esto es, a la implementación de los resultados de la planificación, ejecutando las actividades contempladas en los planes de acción, y logrando que la operación del SGEEn se incorpore al quehacer cotidiano de la organización.

La implementación y operación del SGEEn tiene como elemento central la gestión de los usos significativos de energía para lograr el cumplimiento de los objetivos y metas asociados a ellos [10], utilizando al efecto los siguientes mecanismos:

- ✓ Competencia, formación y toma de conciencia.
- ✓ Comunicación.
- ✓ Documentación.
- ✓ Control operacional.
- ✓ Diseño.
- ✓ Adquisición de servicios de energía, productos, equipos y energía.

Verificación:

La Verificación, tercera etapa del ciclo de mejora continua PHVA, tiene como objetivos asegurar que se cumplan los requerimientos del SGEN en consonancia con la política energética, que las acciones se desarrollan acorde al plan aprobado y que se alcancen los objetivos y metas de mejora del desempeño energético programadas.

Para ello se monitorea y analiza el comportamiento de las características clave que determinan el desempeño energético de la organización y se implementan las acciones que correspondan para corregir desviaciones asociadas al incumplimiento de requerimientos del SGEN o de metas específicas, así como para evitar su futura ocurrencia [6].

Revisión por la dirección:

La revisión por la Dirección corresponde a la etapa de “Actuar” del ciclo de mejora PHVA y comprende el proceso de revisar, evaluar y tomar las acciones apropiadas para asegurar la conveniencia, adecuación y efectividad del SGEN y la mejora continua del desempeño energético de la organización.

La revisión por la Dirección se realiza a intervalos planificados, quedando a la decisión de la organización establecer la frecuencia. La implementación de acciones y proyectos de mejora, u otros cambios en el contexto o el desempeño energético de la organización, pueden demandar revisiones adicionales a las programadas [6].

1.2.2. ISO 50002

La norma ISO 50002 habla de las auditorías energéticas estableciendo el procedimiento adecuado para realizar una buena auditoría. Según esta norma, las líneas base se deben utilizar en el análisis de las mejoras del rendimiento energético de la organización. Éstas se emplean en los tres niveles de auditorías que diferencia la propia norma. También se incluyen las líneas base en la evaluación de oportunidades (cálculo de ahorros) [11].

1.2.3. ISO 50003:2014

Esta norma recoge los requisitos específicos para la competencia, consistencia e imparcialidad en la auditoría y la certificación de sistemas de gestión energéticos. Dichos sistemas de gestión energéticos determinan y ajustan líneas base con las que comparar los resultados para evaluar la eficiencia energética [12].

1.2.4. ISO 50004:2014

La norma ISO 50004 proporciona una guía para el establecimiento, la implementación, el mantenimiento y la mejora de los sistemas de gestión energética.

Según esta norma, las revisiones energéticas suministran la información y los datos necesarios para el establecimiento de las líneas base energética. Dichas líneas deben expresar mediante una relación matemática: la relación del consumo de energía como función de una serie de variables relevantes. Debe ser un modelo ingenieril, un ratio o un dato de consumo en caso de no existir variables destacadas.

El periodo que se toma para establecer la línea base debe ser representativo en cuanto a las variaciones que se producen (ocupación, producción,...). Este se determina por los datos necesarios para establecer dicha línea [13].

1.2.5. ISO 50006:2014

La norma ISO 50006 facilita una guía a los organismos del establecimiento, uso y mantenimiento de los indicadores de rendimiento energético (EnPIs) y de las líneas base energética (EnBs) como partes del proceso de evaluación de la eficiencia energética. Esta establece que las líneas base energéticas son referencias que caracterizan y cuantifican el rendimiento energético de una institución durante un determinado periodo de tiempo. Estas líneas también se utilizan para calcular ahorros energéticos a partir de referencias anteriores y posteriores a la mejora implantada [4].

1.2.6. ISO 50015

Explica Carmen González Pérez[11] que el propósito de esta norma es establecer un conjunto de principios y directrices que se utilizarán para la medición y verificación (M&V) de la eficiencia energética de una entidad o sus componentes. Los M&V tienen como finalidad proporcionar confianza a las partes interesadas sobre los resultados. Deben dirigirse los siguientes principios:

1. La exactitud y la gestión de la incertidumbre apropiada: la incertidumbre de los resultados, incluida la precisión de la medición, debe ser administrado a un nivel apropiado para el propósito de la M&V.
2. La transparencia y la reproducibilidad del proceso de M&V: un proceso M&V debe ser documentado para garantizar la transparencia y la trazabilidad del proceso, contribuyendo así a la confianza de los resultados.
3. La gestión de datos y la planificación de mediciones: la gestión de datos incluye los medios para almacenar, mantener y asegurar los datos. Debe incluir además, información sobre la planificación acerca de la ubicación, la frecuencia, los sensores,...
4. La competencia del practicante de M&V: el organismo debe definir los requisitos de competencia ayudando así a la confianza en los resultados.
5. La imparcialidad: el plan de M&V así como los informes del mismo deben contener una declaración sobre la imparcialidad del practicante de M&V.
6. La confidencialidad: cualquier información confidencial necesaria para llevar a cabo la M&V debe ser accesible al practicante de la misma, debiendo documentar la falta de la misma en el plan de M&V en caso de que pueda afectar al resultado.
7. El uso de métodos apropiados: la selección del método de cálculo y método de M&V estarán establecidos en el plan de M&V.

1.3. Introducción al método de los Grados-Día

Los Grados-día son muy importantes 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.

La variable grados-día se utiliza para cuantificar lo fría o cálida que es la temperatura exterior de un día respecto a una temperatura de base determinada, que es aquella en la que no se necesita climatizar los espacios. En la mayoría de estudios que utilizan esta variable, la temperatura exterior del aire que se tiene en cuenta es la temperatura media diaria, siempre que la disponibilidad de datos lo permita. De hecho, en algunos estudios se realizan estimaciones a partir de temperaturas medias mensuales [7].

Los grados-día cuantifican la discrepancia o distancia entre la temperatura ambiente representativa de un período de tiempo y una cierta temperatura de referencia.

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 enfriamiento. Así que podemos tener dos tipos de Grados día: de calentamiento o de enfriamiento [14].

1.3.1. Método Grados-día. Definición

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 [1].

1.3.2. 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 [15].

1.3.3. 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 costo de los sistemas solares no sea excesivo y a la vez, sea suficiente para cubrir las necesidades de calefacción [15].

1.3.4. Métodos de Cálculo para los Grados-Días

Hay varias maneras de determinar los grados-día, se puede hacer mediante [16]:

-  El promedio de grados-hora
-  Las temperaturas máximas y mínimas diarias
-  La temperatura diaria media
-  El cálculo directo de los grados-día mensuales utilizando la temperatura media mensual y la desviación estándar mensual.

Como se puede observar las tres primeras maneras de determinar los grados-día utiliza 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 se utiliza en este trabajo la

metodología realizada por Rodríguez Santos, investigador del Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales, un método que utiliza datos de entrada mensuales que si son brindados por los institutos de meteorología, este método nos facilita la posibilidad de realizar el cálculo para varios periodos de tiempo: diario, mensual y anual.

Usos de los Grados día [7].

- Para definir la zona térmica de un lugar y determinar el aislamiento térmico adecuado.
- Se utilizan en modelos matemáticos f (GDR, GDC)
 - En Benchmarking de inmuebles, centros médicos, escuelas, etc.
 - Se utiliza en Protocolo de verificación de ahorros.

1.3.4 Aplicaciones de los Grados-Días

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. 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 [17].

El uso de los Grados días para los problemas de calentamiento parece haberse originado en la industria del gas en América. Dufton 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. 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 [15].

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 de "día fraccionado" con diferente temperatura base para el día y la noche para el cálculo de Grados-día [18].

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 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 [19].

En un trabajo realizado por Nasello O.B y De La Casa A.C [14] se estima la variación de la demanda de energía residencial para la ciudad de Córdoba en el período 1960-2011, a partir de los grados-día de calefacción (HDD) y grados-día de enfriamiento (CDD), y se utilizan además los registros de temperatura de Pajas Blancas y Pilar, como contraparte rural, para distinguir entre los efectos del calentamiento global y de la "isla de calor urbana". La influencia del calentamiento global se pone de manifiesto con una tendencia decreciente de HDD en todas las estaciones, mientras resulta creciente para CDD. Además, por efecto de "isla de calor urbana", los valores de HDD en Córdoba son inferiores y los de CDD superiores a los de Pajas Blancas y Pilar, siendo estas diferencias constantes durante todo el periodo. Se observa también que al modificar los umbrales de temperaturas consideradas de confort (T_b), es posible reducir de manera substancial la demanda de energía. Una pequeña reducción de T_b de 18°C a 15°C representaría para la ciudad de Córdoba un ahorro de 52% del requerimiento de energía para calefacción, en tanto el aumento de T_b de 18°C a 21°C reduciría la demanda de energía para refrigeración en el orden de 53%.

Según Alfredo Esteves [18], la ventaja que tiene utilizar los grados día radica en que, a través de este simple número, se puede conocer la rigurosidad de la situación climática del lugar. Por ejemplo mostrando los valores de GDC para distintas localidades de la provincia de Mendoza, Argentina, se puede observar que Mendoza (Observatorio) cuenta con la mitad del valor correspondiente a Malargüe y esto significa que el mismo edificio construido en uno y otro lado, consumirá el doble de energía, por lo tanto, la propuesta del proyectista del edificio debería tener en cuenta un nivel de conservación de energía que tome en cuenta esta situación climática.

Como parte de un proyecto de investigación de Aramis Fonte Hernández, que estudia, entre otras cosas, la relación entre el consumo de energía y las variables climáticas fundamentales, en la provincia de Camagüey, Cuba. Entre los distintos métodos empleados para analizar la interacción del clima con el consumo de energía, sobre todo en procesos de climatización, refrigeración, acondicionamiento de locales, etc., se encuentra el denominado Método de los Grados-Día. Como resultado del trabajo se logró establecer que el valor de temperatura base para esta zona es de 23,6 °C, valor muy superior al establecido para países de Europa y Norteamérica, pero que se corresponde con la teoría, pues parece tener una determinada relación con la latitud [7].

Heller (2000) [15], realizó un estudio en el que analizó diferentes métodos para la determinación de la carga térmica de calor en redes de distrito de calor en Dinamarca, desde unos relativamente simples entre los que se encuentra el método de normalización de los grados-día hasta otros más complejos que incluso incorporaban la simulación de edificios con TRNSYS (2004). Posteriormente comparó los resultados obtenidos con los valores reales y demostró que el método de los grados-día presenta resultados muy próximos a la realidad y es la mejor opción de los métodos simples. Ello es debido fundamentalmente al gran efecto que tiene la temperatura ambiente exterior sobre la demanda térmica. Este método se basa en el cálculo de la suma de las diferencias de temperatura horarias o medias diarias entre la temperatura ambiente exterior y una temperatura base durante ese período de tiempo.

Sin duda los Grados-Día son una herramienta importante en la arquitectura ya que puede aportarnos información útil para la toma de decisiones de diseño y para la evaluación y supervisión del uso de la energía en edificaciones ya construidas. A partir de los Grados-Día y particularmente de los Grados-hora es posible determinar los requerimientos de calentamiento de una edificación. Estos requerimientos se pueden determinar al multiplicar los Grados-hora por la conductancia del edificio (tasa de pérdida de calor específica). Otra forma de utilizar los Grados-Día es para evaluar los consumos energéticos, supervisarlos de manera regular para detectar posibles fallas o incrementos no justificados y hacer uso eficiente de la energía [1].

Para este proyecto se utiliza un método realizado por Ovidio Rodríguez Santos, titulado: “Modelo de Cálculo de Grados-Día Mensuales de Enfriamiento y Calentamiento con Temperatura Base Variable, para aplicaciones energéticas” [19]. En este trabajo, se desarrolló un modelo para el cálculo de los grados-día de calentamiento y enfriamiento mensual con temperatura base variable, que utiliza, parámetros o normales climatológicas como: la temperatura media mensual, la temperatura máxima, la temperatura mínima, de las temperaturas medias diarias y el parámetro Z, definido por los autores. El modelo, posibilita el cálculo de los grados- día, con una exactitud comparable con la obtenida por otros métodos, eliminar las desventajas del uso de la desviación estándar como parámetro de entrada y tipificar los resultados para un periodo determinado de tiempo.

1.4 La temperatura base

No existe en ninguno de los ámbitos de aplicación un claro consenso sobre cuál es la temperatura base más adecuada para el cálculo de los grados-día, en parte porque los requerimientos térmicos para cada fenómeno estudiado son distintos, algo que no impide que existan unos determinados estándares [20].

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.

Para un edificio 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 [17].

Pese a que la temperatura es una variable continua en el tiempo, la temperatura media diaria calculada por el procedimiento clásico $((T_{\max} + T_{\min})/2)$ no presenta diferencias significativas respecto a su cálculo mediante más registros diarios (World Meteorological Organization), como sería el caso de los datos recogidos por estaciones meteorológicas que ofrecen registros cada cierto tiempo. En el caso de muchos estudios la preferencia por el método clásico se justifica, además, por la mejor disponibilidad de datos. No obstante, y aunque mayoritariamente el cálculo de los grados-día se efectúa a partir de la temperatura exterior media del aire diaria, existen procedimientos que intentan hacer un seguimiento continuo de la temperatura a lo largo de todo el día. Los grados-día, entonces, pasarían a determinarse calculando primero los grados-hora, y luego sumándolos y dividiendo el resultado por 24. Obviamente, esta metodología podría aplicarse para cualquier número de registros –periódicos-diarios.

1.5. Línea de Base Energética

La línea de base energética constituye la referencia a partir de la cual se medirá la evolución del desempeño energético de la organización, se monitorearán los indicadores de desempeño energético (IDEn) y se establecerán las metas energéticas [6].

La línea de base debe establecerse tomando un periodo reciente de datos confiables, normalmente de uno o dos años, y en donde haya habido una operación estable sin cambios considerables en la organización. Es decir, este periodo debe reflejar la situación típica de operación de la organización [20].

Según Lázaro Flores Díaz [21], la línea base debe normalizarse tomando en consideración las variables que afectan el consumo de energía, tales como el

nivel de producción, la estructura de la producción, la temperatura ambiente (grados-día), etc.

1.6. Indicadores de Desempeño

Todo método de gestión energética debe estar acompañado de las herramientas que permitan identificar oportunidades de mejoras y tener una directa vinculación con la estrategia organizacional [22]. Los indicadores de desempeño energético son parámetros medibles, relaciones o modelos que permiten evaluar el desempeño energético, así como la mejora de éste, mediante la comparación de sus valores actuales contra los valores iniciales de la línea base [6].

En un índice de consumo el numerador será el portador energético, primario o secundario, que se consume en un determinado período, expresado en una unidad de medida de energía. El denominador reflejará el nivel de actividad (producción realizada o servicio prestado) en el período dado, expresado en la unidad de medida que corresponda [23].

Los IDEn se utilizan con los propósitos de evaluar el desempeño energético en un periodo actual con respecto a un periodo de referencia (línea base) y determinar ahorros o sobreconsumos de energía y pronosticar el consumo de energía en un periodo futuro.

Los componentes de un IDEn pueden estar influenciados por determinadas variables independientes, tales como el clima, el nivel y estructura de la producción, el programa de producción, estación del año, etc. Si estas variables no son tenidas en cuenta, el IDEn resultante puede enmascarar la tendencia real en el consumo de energía y conducir a errores durante su interpretación [24].

1.7. Caracterización del clima en Cuba

Según la clasificación de Köppen (modificada), en la mayor parte de Cuba el clima predominante es del tipo cálido tropical, con estación lluviosa en el verano. En general es bastante aceptado expresar que el clima de Cuba es

tropical, estacionalmente húmedo, con influencia marítima y rasgos de semicontinentalidad.

En el país se reporta también la presencia de otros tipos climáticos como en las zonas más altas de los principales sistemas montañosos o el observado en la franja costera sur de las provincias de Santiago de Cuba y Guantánamo, el cual clasifica como tropical relativamente seco con pocas lluvias.

Como factores determinantes en la formación del clima de Cuba se identifican la cantidad de radiación solar que se recibe, las particularidades de la circulación atmosférica sobre el país, y la diferente influencia de las características físico-geográficas propias del territorio nacional.

Guillermo Saura González [25], nos explica que Cuba se encuentra situada en una latitud muy próxima al Trópico de Cáncer, lo que condiciona la recepción de altos valores de radiación solar durante todo el año, determinando el carácter cálido de su clima. Además, se halla en la frontera entre las zonas de circulación tropical y extratropical, recibiendo la influencia de ambas con carácter estacional. En la temporada que va aproximadamente de noviembre a abril, las variaciones del tiempo y el clima se hacen más notables, con cambios bruscos en el tiempo diario, asociados al paso de sistemas frontales, a la influencia anticiclónica de origen continental y de centros de bajas presiones extratropicales. De mayo a octubre, por el contrario, se presentan pocas variaciones en el tiempo, con la influencia más o menos marcada del Anticiclón del Atlántico Norte. Los cambios más importantes se vinculan con la presencia de disturbios en la circulación tropical (ondas del este y ciclones tropicales).

1.7.1. Caracterización de las zonas meteorológicas

Cuba cuenta con 78 estaciones que pertenecen a la red del instituto meteorológico de Cuba. Si se hace una distribución promedio de dichas estaciones, dividiendo la distancia a lo largo del territorio cubano, entre la cantidad de estaciones meteorológicas, significa una distancia promedio entre los 15 y 20 km distribuidos a todo lo largo y ancho del país. Por lo que, exceptuando el caso de las ciudades, aunque se sabe que en Cuba no hay grandes ciudades excepto La Habana, esto cumple, al menos en número, con

el requerimiento de la tabla 1. Por tanto, la confiabilidad de la utilidad de los datos está a su vez ligada a la precisión planteada.

En la actualidad las redes en Cuba se encuentran distribuidas a lo largo del país en diferentes posiciones, pero este estudio se centrará en las que corresponden al centro de la isla, específicamente las de la provincia de Villa Clara como se puede observar en la tabla siguiente.

Tabla 1. Datos de las estaciones meteorológicas ubicadas en Villa Clara.

Nombre	Altitud	Tmedia	GDe 10°C
Sagua la Grande	22.2	25.2	5572
El Yabú	116.4	24.4	5265
Caibarién	5.5	25.3	5617
Santo Domingo(INIVIT)	116.6	25.0	5478
La Piedra	230.0	24.0	5544

Estas zonas corresponden a las localidades de las estaciones meteorológicas, donde abarcan las tres características de la geografía cubana: llanura, montaña y marítima representadas en la figura 2.

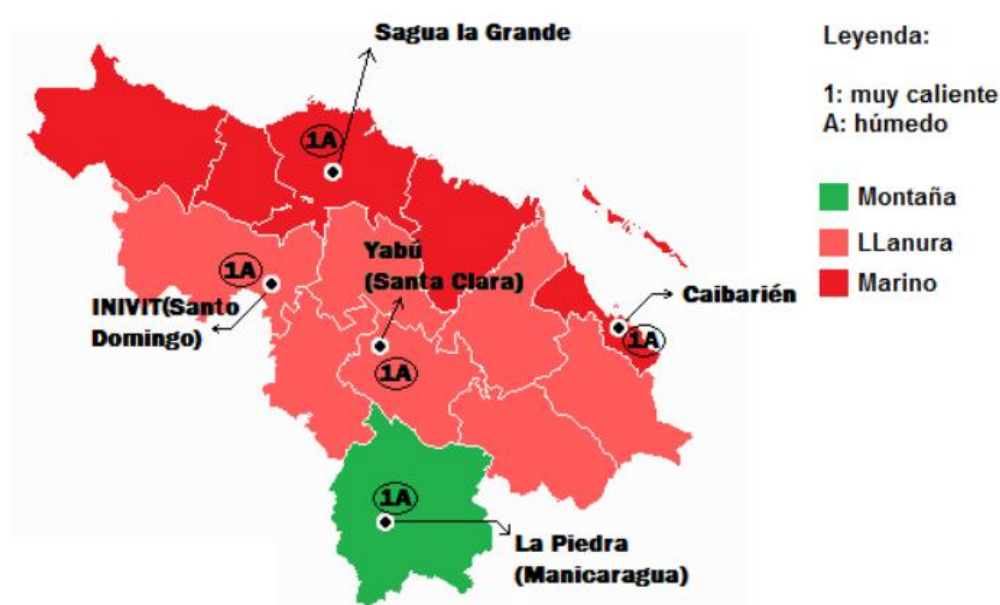


Figura 2. Zonificación climática para la provincia de Villa Clara de acuerdo a las estaciones meteorológicas correspondientes.

1.8. Definición de Normales Climatológicas

Las Normales Climatológicas, según Reyes Maira, Lamela Carlos y Jiménez Gilda [26], son una recopilación de datos climatológicos representativos para una localidad específica, que están estructurados en valores horarios de diferentes parámetros meteorológicos por un periodo de un año. Los valores

son obtenidos en base a una metodología de selección que utiliza los datos históricos registrados en esa localidad, durante varios años. Esta selección busca representar las características principales de los fenómenos climatológicos de la localidad en cuestión y, que a la vez sean consistentes con los promedios a “largo plazo” de cada parámetro climatológico estudiado.

Las Normales actúa como condición de contorno del análisis energético desarrollado, y por tanto condiciona sus valores.

Según Aramis Fonte Hernández es ineludible acudir a la búsqueda de los parámetros climatológicos necesarios y precisos, lo cual conllevó a una búsqueda exhaustiva en diferentes sitios de información digital hasta dar con el hallazgo. Dicha información fue obtenida del sitio web (www.Climate-Data.org), porque ya se había aclarado con anterioridad que obtener los datos brindados por las estaciones meteorológicas.

Aclarar también que cada localidad a zonificar coincide con dichas estaciones meteorológicas para que exista un buen nivel de confiabilidad. A continuación, se muestran los datos de las temperaturas medias para cada mes del año. Para el centro del país, para un **año típico**:

Tabla 2. Temperaturas medias de las localidades de Villa Clara mensuales para un año típico.

Estaciones Meteorológicas	Temp. Media	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agt	Sept	Oct	Nov	Dic
Sto. Domingo	Media	22	22,2	23,6	24,9	25,9	26,9	27,4	27,6	26,9	26,1	24	22,6
La Piedra	Media	21	21,2	22,6	24	25,2	25,8	26,5	26,5	25,9	25,1	23,1	21,6
Sagua la Grande	Media	22,1	22,2	23,9	25,2	26,3	27,2	27,7	27,9	27,4	26,3	24,4	22,6
El Yabú (Sta. Clara)	Media	21,3	21,5	23,1	24,3	25,8	26,3	27,1	27,1	26,5	25,3	23,2	21,6
Caibarién	Media	22,2	22,2	23,9	25,3	26,4	27,7	28	28	27,5	26,4	24,4	22,7

Estos datos de temperatura media reportados en las distintas estaciones meteorológicas para un año tipo, fueron necesarios para el cálculo de las temperaturas máximas y mínimas, utilizadas como variables de entrada junto a la temperatura base, para el cálculo de los Grados-Día en las diferentes entidades a estudiar en la provincia de Villa Clara.

Capítulo 2: Métodos de cálculo seleccionados

2.1. Introducción

En este capítulo se trabaja en base a la provincia de Villa Clara en Cuba para el año 2016. Para ello fueron seleccionados 6 hospitales y 5 hoteles ubicados en distintos municipios de la provincia, que, por decisiones convenientes y viables, corresponden a las estaciones meteorológicas existentes en la provincia, donde se emplean métodos y herramientas de apoyo que contribuyen al trabajo.

El desarrollo y los tipos de métodos para el cálculo y el diseño, en un inicio se les pude dividir en dos rasgos: a) elección de las zonas y b) recopilación y confección de los datos. Ya en un momento intermedio se cuenta con un modelo de cálculo y un método: a) cálculo de las temperaturas máximas y mínimas y b) método de los Grados Día, y por último c) la implementación del método para calcular la línea base energética para estas entidades.

2.2. El método de los grados-día aplicado a la gestión energética

Calcular los *grados-día* o los *grados-hora* consiste en estimar los grados totales de la temperatura exterior que habría que contrarrestar para mantener el confort térmico en un período de tiempo dado (un mes, una estación, un año), teniendo como referencia una *temperatura de confort* (o un rango de temperaturas de confort limitado por valores máximos y mínimos admisibles).

En otras palabras, el método consiste en integrar en el tiempo la función de diferencias de temperatura dada por la temperatura de confort (o los límites del rango de confort) y la temperatura fluctuante impuesta por el contexto climático.

El resultado ofrece una primera indicación de la *severidad* del clima desde la perspectiva del confort, dando así una idea general de la orientación que debe dársele al proyecto de diseño [19].

Los grados-día son esencialmente una sumatoria de diferencias de temperaturas a lo largo de un determinado período de tiempo. La diferencia de temperaturas se verifica entre la temperatura de aire exterior y una temperatura de referencia, conocida como temperatura base. Los grados-día en esencia, determinan la severidad y la duración de las temperaturas externas [7].

Los grados-día se definen también como la medida del tiempo, en que las temperaturas exteriores caen por debajo o por encima de una temperatura de referencia para un periodo de tiempo dado.

El método de los grados-día, aplicado a sistemas e instalaciones de enfriamiento, con relación a los de calentamiento, presenta algunas complicaciones adicionales [19], que se deben tomar en cuenta. De forma general se pueden resumir en:

- La influencia de las cargas latentes que están presentes en los sistemas de enfriamiento.
- La diversidad de sistemas de enfriamiento que se utilizan en las instalaciones.
- La dependencia con relación a la temperatura, que presenta el coeficiente de funcionamiento (COP) en los sistemas de enfriamiento.

2.2.1. Procedimiento para el estimado de la temperatura base t_b , para el cálculo de los grados-día de enfriamiento, con escala de tiempo variable

1. Elección de los datos necesarios para el cálculo de los Grados-Día

Para calcular dichas temperaturas se cuenta con un procedimiento de Cálculo (Tabla 4), creado en el Centro de Estudios Energéticos y Tecnológicos Ambientales (CEETA), en la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV), en Cuba, el cual plantea que dichas temperaturas dependen de los coeficientes a y b , las mismas son constantes calculadas para diferentes escalas de tiempo para el territorio nacional cubano, cuyos valores numéricos pertenecen a investigaciones antecedentes, por los autores Ovidio Rodríguez Santos, Oscar Cruz Fonticiella y Alfredo Leyva Céspedes. También se ubican las entidades a estudiar por estación meteorológica (Tabla 3).

Tabla 3. Ubicación de las entidades por estación meteorológica de la provincia de Villa Clara.

HOSPITALES

LUGARES	Estación Meteorológica
HOSPITAL PROV. CELESTINO HERNÁNDEZ	Yabú (Santa Clara)
MINSAP: HOSPITAL MATERNO	Santo Domingo
MINFAR: HOSPITAL MILITAR	Yabú (Santa Clara)
HOSPITAL GENERAL CAIBARIÉN	Caibarién
HOSPITAL GENERAL PLACETAS	Yabú (Santa Clara)
HOSPITAL PSIQUIÁTRICO	Sagua La Grande

HOTELES

LUGARES	Estación Meteorológica
HOTEL AMÉRICA	Yabú (Santa Clara)
HOTEL BARCELONA	Caibarién
HOTEL CUBANICAY	Yabú (Santa Clara)
HOTEL VILLA LAS BRUJAS	Caibarién
ISLA AZUL: HOTEL HANABANILLA	La Piedra (Manicaragua)

Con las temperaturas medias de la Tabla 2, se calcula la temperatura máxima media ($T_{\max}$) y mínima media ($T_{\min}$) del año típico para las regiones seleccionadas de Villa Clara.

Tabla 4. Procedimiento de cálculo de las Temperaturas Máximas ($t_{\max}$) y Mínima ($t_{\min}$).

REGIÓN GEOGRÁFICA	TERRITORIO NACIONAL CUBANO.		
ESCALA DE TIEMPO	Expresión	Coeficientes	
		a	b
DIARIA	$t_{\min} = a + b.t_m$	-7,15892	1,11129
	$t_{\max} = a + b.t_m$	6,24041	0,99514
MENSUAL	$t_{\min} = a + b.t_m$	-27,37617	1,80799
	$t_{\max} = a + b.t_m$	19,52156	0,53589
ANUAL	$t_{\min} = a + b.t_m$	-55,78747	2,69376
	$t_{\max} = a + b.t_m$	24,32781	0,39728

Los resultados de las temperaturas máximas y mínimas según la escala de tiempo seleccionada (Mensual), fueron calculados con un modelo realizado en una hoja de cálculo de Microsoft Excel, cuyos valores entrantes son los de las temperaturas medias de cada región de los datos seleccionados en cada

localidad y programando dichas ecuaciones con sus constantes a y b correspondientes. Para las entidades que la estación meteorológica es la de Yabú ubicada en el municipio de Santa Clara las Temperaturas Máximas y Mínimas son las mismas. (Tabla 5)

Tabla 5. Tmax y Tmin Para La Estación Meteorológica del Yabú (SC), Hospital Prov. Celestino Hernández, MINFAR: Hospital Militar, Hospital General Placetas, Hotel América y Hotel Cubanicay.

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T_M	21,3	21,5	23,1	24,3	25,8	26,3	27,1	27,1	26,5	25,3	23,2	21,6
T_{MÍN}	11,1	11,5	14,4	16,6	19,3	20,2	21,6	21,6	20,5	18,4	14,6	11,7
T_{MAX}	30,9	31	31,9	32,5	33,3	33,6	34	34	33,7	33,1	32	31,1

Para el Hospital Materno ubicado en Santo Domingo (Tabla 6)

Tabla 6. Tmax y Tmin Para La Estación Meteorológica de Santo Domingo.

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T_M	22	22,2	23,6	24,9	25,9	26,9	27,4	27,6	26,9	26,1	24	22,6
T_{MÍN}	12,4	12,8	15,3	17,6	19,5	21,3	22,2	22,5	21,3	19,8	16	13,5
T_{MAX}	31,3	31,4	32,2	32,9	33,4	33,9	34,2	34,3	33,9	33,5	32,4	31,6

Para los ubicados en Caibarién (Hospital General de Caibarién, el Hotel Barcelona y el Hotel Villa las Brujas), (Tabla 4), las T_{max} y T_{min} se encuentran en la Tabla 7.

Tabla 7. Tmax y Tmin para La Estación Meteorológica de Caibarién.

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T_M	22,2	22,2	23,9	25,3	26,4	27,7	28	28	27,5	26,4	24,4	22,7
T_{MÍN}	12,8	12,8	15,8	18,4	20,4	22,7	23,2	23,2	22,3	20,4	16,7	13,7
T_{MAX}	31,4	31,4	32,3	33,1	33,7	34,4	34,5	34,5	34,3	33,7	32,6	31,7

Para el Hospital Psiquiátrico ubicado cerca de la estación meteorológica de Sagua la Grande, las $T_{\max}$ y $T_{\min}$ se dan a conocer en la Tabla 8.

Tabla 8. $T_{\max}$ y $T_{\min}$ Para La Estación Meteorológica de Sagua la Grande.

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T_M	22,1	22,2	23,9	25,2	26,3	27,2	27,7	27,9	27,4	26,3	24,4	22,6
$T_{\min}$	12,6	12,8	15,8	18,2	20,2	21,8	22,7	23,1	22,2	20,2	16,7	13,5
$T_{\max}$	31,4	31,4	32,3	33	33,6	34,1	34,4	34,5	34,2	33,6	32,6	31,6

Para el Hotel Hanabanilla ubicado en Manicaragua le corresponde la estación meteorológica de La Piedra. Las $T_{\max}$ y $T_{\min}$ correspondientes a cada mes se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. $T_{\max}$ y $T_{\min}$ Para La Estación Meteorológica de La Piedra (Manicaragua).

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T_M	20	20,2	22,6	24	25,2	25,8	26,5	26,5	25,9	25,1	23,1	21,6
$T_{\min}$	8,8	9,1	13,5	16	18,2	19,3	20,5	20,5	19,5	18	14,4	11,7
$T_{\max}$	30,2	30,3	31,6	32,4	33	33,3	33,7	33,7	33,4	33	31,9	31,1

Una vez obtenido dichas temperaturas (Máx. y Mín.), se puede proceder a calcular los Grados-Día para cada localidad de la región, pero antes se presenta el modelo seleccionado más conveniente para el territorio cubano.

2.2.2. Cálculo de la Temperatura Base

Para el cálculo de la Temperatura Base se emplea la metodología realizada por Rodríguez Santos en su artículo: Procedimiento para establecer las líneas de base energética e índices de desempeño en instalaciones hoteleras. El cual se presenta más adelante por la ecuación 13.

Los datos de h_r y h_e se obtienen de la carta psicométrica, estos se encuentran en el Anexo 1.

Los resultados de la temperatura base para cada entidad a estudiar se encuentran en las tablas 10 y 11 presentadas a continuación.

Tabla 10. Temperatura base (Tb) para los hospitales de la provincia.

<i>meses</i>	<i>Hospital Prov. Celestino Hernández</i>	<i>MINSAP: Hospital Materno</i>	<i>MINFAR: Hospital Militar</i>	<i>Hospital General Caibarién</i>	<i>Hospital General Placetas</i>	<i>Hospital Psiquiátrico</i>
<i>Ene</i>	17,7	16,5	18,3	19,8	17,2	16,8
<i>Feb</i>	19,6	21,2	20,0	21,6	20,5	19,0
<i>Mar</i>	22,1	18,6	22,1	23,7	24,4	22,6
<i>Abr</i>	18,3	18,9	18,0	22,9	21,5	22,7
<i>May</i>	17,5	20,2	18,4	23,0	22,8	25,3
<i>Jun</i>	15,6	16,3	16,6	23,2	19,9	26,2
<i>Jul</i>	14,4	17,4	16,1	22,7	18,6	22,5
<i>Ago</i>	17,9	17,4	21,8	24,2	19,1	24,9
<i>Sep</i>	17,0	24,8	20,1	23,6	16,4	24,7
<i>Oct</i>	16,9	19,4	17,8	22,9	17,5	21,6
<i>Nov</i>	17,3	22,2	17,3	22,0	17,7	17,5
<i>Dic</i>	18,9	18,4	19,4	21,7	19,6	16,7

Tabla 11. Temperatura base (Tb) para los hoteles de la provincia.

<i>meses</i>	<i>Hotel América</i>	<i>Hotel Barcelona</i>	<i>Hotel Cubanicay</i>	<i>Villa Las Brujas</i>	<i>Isla Azul: Hotel Hanabanilla</i>
<i>Ene</i>	17,8	16,2	15,6	19,3	15,5
<i>Feb</i>	19,8	19,2	18,1	18,1	19,2
<i>Mar</i>	22,1	22,3	21,8	21,2	21,3
<i>Abr</i>	16,5	18,0	21,6	25,2	21,2
<i>May</i>	16,7	16,6	24,8	22,5	20,2
<i>Jun</i>	14,2	17,7	25,3	23,4	23,4
<i>Jul</i>	15,1	21,5	21,5	21,3	20,1
<i>Ago</i>	20,7	20,2	23,9	19,5	18,6
<i>Sep</i>	18,7	16,3	23,6	20,0	17,4
<i>Oct</i>	16,0	25,4	20,2	17,4	20,1
<i>Nov</i>	16,0	17,1	15,7	18,6	17,7
<i>Dic</i>	19,0	19,4	15,2	18,9	19,3

2.3. Modelo base para el cálculo de los Grados-Día de enfriamiento (GDE) con temperatura base variable.

2.3.1. Breve introducción.

Para desarrollar el cálculo, se ha utilizado como método de apoyo y referencia, la publicación de Ovidio Rodríguez Santos [19]. El cual plantea, que el modelo base para el cálculo de los Grados-Día de enfriamiento con temperatura base y escala de tiempo variables, se sintetiza en el uso de siete expresiones.

Debido a la condición de región tropical que presenta la región de estudio, se hará referencia solamente a las ecuaciones para al cálculo directo de los grados-día de enfriamiento; los grados-día de calentamiento, se pueden calcular de manera indirecta mediante la ecuación número seis. Los valores de los coeficientes para el cálculo de los grados-día que se presentan en las

diferentes tablas, son específicos para la región de estudio y tributan al cálculo directo de los grados-día de enfriamiento.

2.3.2. Método de Cálculo.

Se establecen como variables de entrada tres parámetros: la temperatura media t_m , la temperatura extrema máxima $t_{\max}$ y la temperatura extrema mínima $t_{\min}$, según el periodo de tiempo a considerar.

Se asumen dos posibles intervalos de variación de la temperatura base t_b , un primer intervalo, para ($t_b < t_{\min}$) y un segundo intervalo, para ($t_{\min} \leq t_b \leq t_{\max}$).

Para cualquiera de los dos intervalos, los grados-día de enfriamiento se calculan por la expresión (1)

$$GD_{me} = N(\theta_{mee} - t_b) \quad (1)$$

Dónde:

N - es el número de unidades de tiempo para el periodo que se tome (número de días) para las escalas; mensual y anual.

θ_{mee} - se conoce como temperatura media equivalente de enfriamiento.

La temperatura media equivalente de enfriamiento θ_{mee} , debe ser determinada para cada intervalo. Para el primer intervalo ($t_b < t_{\min}$) su valor se toma constante e igual a la temperatura media t_m para el periodo.

Para el segundo intervalo ($t_{\min} \leq t_b \leq t_{\max}$) el término θ_{mee} , se debe calcular mediante la siguiente expresión:

$$\theta_{mee} = (t_{mee} - t_{\max})e^{Z_e(t_{mee} - t_m)} + t_{\max} \quad (2)$$

El parámetro t_{mee} , es un parámetro que resulta similar a θ_{mee} , aunque, presenta un carácter lineal y se determina según la expresión (3) para los diferentes valores que pueda asumir la temperatura base t_b :

$$t_{mee} = (t_b - t_{\min})\left(\frac{t_{\max} - t_m}{t_{\max} - t_{\min}}\right) + t_m \quad (3)$$

Para el cálculo de la constante Z_e a sustituir en (2), se deben determinar los parámetros t_{mee} y θ_{mee} , para un valor de temperatura base t_b igual a la temperatura media t_m .

Mediante la expresión (3) se obtiene el valor de t_{mee} y por la expresión (5) se calcula el valor de θ_{mee} , ambos valores a sustituir en (4).

$$Ze = \frac{\ln \frac{\theta_{mee} - t_{\max}}{t_{mee} - t_{\max}}}{t_{mee} - t_m} \quad (4)$$

$$\theta_{mee} = k + a_1 \cdot t_{\max} + a_2 \cdot t_m + a_3 \cdot t_{\min} \quad (5)$$

Las constantes k , a_1 , a_2 y a_3 , en (5), se deben obtener para cada una de las escalas de tiempo a considerar y son válidas para una región geográfica específica. Estas se determinan en la Tabla 12.

Los grados-día de calentamiento se pueden calcular indirectamente, mediante la siguiente relación.

$$GD_{mc} = GD_{me} - N(t_m - t_b) \quad (6)$$

Tabla 12. Constantes k , a_1 , a_2 y a_3 para el cálculo de θ_{mee} para los Grados-Día.

Para región central del territorio nacional cubano.			
Expresión	$\theta_{mee} = k + a_1 \cdot t_{\max} + a_2 \cdot t_m + a_3 \cdot t_{\min}$		
Escala de tiempo	Diaria	Mensual	Anual
k	-0,26247	-0,82829	2,63035
a_1	0,14253	0,12504	0,08434
a_2	1,07048	0,93665	0,85458
a_3	-0,20479	-0,01385	-0,03750

2.4. Cálculo de los Grados-Día de enfriamiento (GDE) en Microsoft Excel.

Microsoft Excel nos permite programar ciertos y determinados cálculos y problemas. En nuestro caso se ha acudido a ecuaciones de autosuma, promedios, lógicas y otras elaboradas en base al modelo anterior.

A continuación, en la Tabla 13 se puede ver el modelo programado en una hoja de Microsoft Excel.

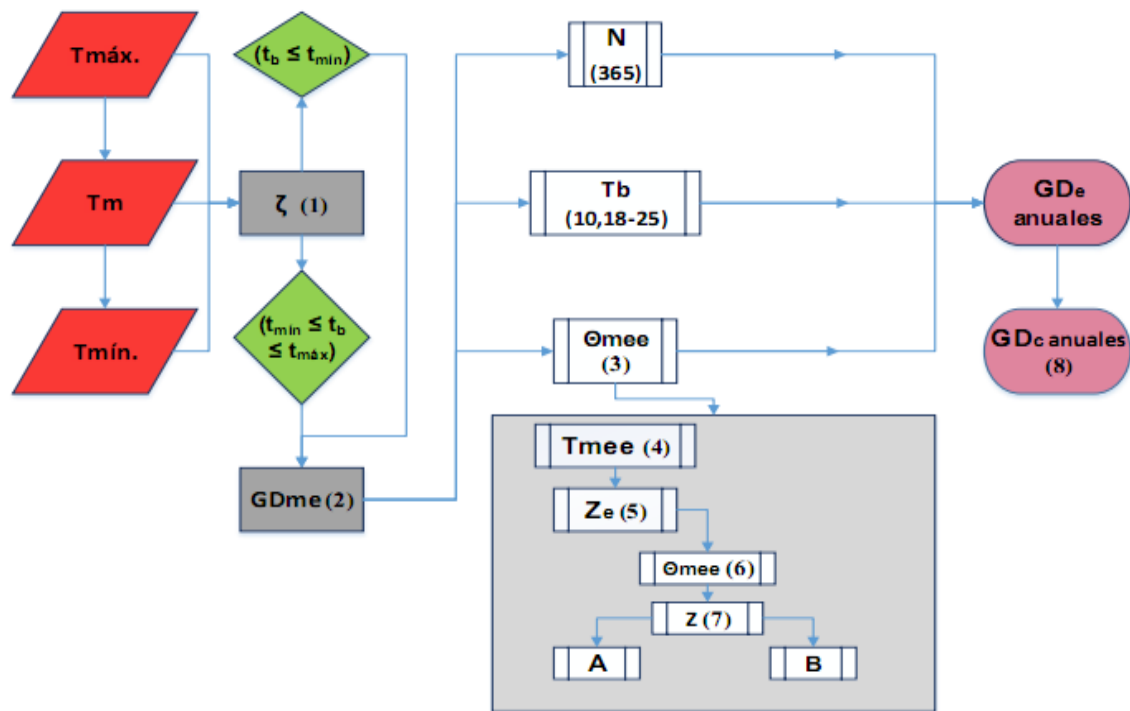
Tabla 13. Modelo programado para el cálculo de los Grados-Día de enfriamiento y calentamiento.

Meses	tb	GDmc	GDme	N	Θ_{meeZe}	t _{mee} (tm=tb)	Ze	tm	t _{min}	t _{max}	Θ_{mee}	k	a1	a2	a3	
1	12,9	-76,1	8,6	12	21,6	25,3	0,11	20	8,8	30,2	21,6	-0,83	0,13	0,94	-0,01	VERDADERO
2	18,2	-20,8	3,6	12	21,8	25,5	0,11	20,2	9,1	30,3	21,8	-0,83	0,13	0,94	-0,01	VERDADERO
3	21,6	-9,5	2,5	12	24,1	27,1	0,11	22,6	13,5	31,6	24,1	-0,83	0,13	0,94	-0,01	VERDADERO
4	19,2	-51,6	6,3	12	25,5	28,1	0,12	24	16	32,4	25,5	-0,83	0,13	0,94	-0,01	VERDADERO
5	17,4	-81,3	12,3	12	26,6	28,9	0,12	25,2	18,2	33	26,6	-0,83	0,13	0,94	-0,01	FALSO
6	21,4	-47,0	5,8	12	27,2	29,3	0,12	25,8	19,3	33,3	27,2	-0,83	0,13	0,94	-0,01	VERDADERO
7	12,1	-159,3	13,6	12	27,9	29,8	0,12	26,5	20,5	33,7	27,9	-0,83	0,13	0,94	-0,01	FALSO
8	10,1	-183,7	13,6	12	27,9	29,8	0,12	26,5	20,5	33,7	27,9	-0,83	0,13	0,94	-0,01	FALSO
9	8,7	-193,2	13,0	12	27,3	29,4	0,12	25,9	19,5	33,4	27,3	-0,83	0,13	0,94	-0,01	FALSO
10	12,5	-138,9	12,2	12	26,6	28,8	0,12	25,1	18	33	26,6	-0,83	0,13	0,94	-0,01	FALSO
11	14,9	-88,9	9,7	12	24,6	27,5	0,11	23,1	14,4	31,9	24,6	-0,83	0,13	0,94	-0,01	VERDADERO
12	17,4	-44,4	5,7	12	23,1	26,4	0,11	21,6	11,7	31,1	23,1	-0,83	0,13	0,94	-0,01	VERDADERO

Según se puede observar en la tabla anterior, la primera columna (meses), fue elegida para colocar los 12 meses del año 2016, para las diferentes entidades que se estudian. Luego en tb corresponde colocar las temperaturas base para las cuales se hicieron los cálculos, donde se puede percibir que son; 10,18 y hasta 25°C, donde esto sucede para todas las entidades. Le sigue la columna correspondiente a los Grados-Día de calentamiento (GDmc), esto se calcula mediante la ecuación (6). Se tiene la columna GDme, que es, los Grados-Día de enfriamiento para el caso verdadero y se calculan con la fórmula (1). Próximamente tenemos N, que es el número de unidades de tiempo para el periodo que se tome (número de días) para las escalas; mensual y anual. La columna Θ_{meeZe} , se programa con la ecuación (2) para el segundo intervalo. En la siguiente variable t_{mee}, se programa para el primer intervalo con su fórmula que es la (3), correspondiente al modelo. Ze pertenece a la ecuación (4). Las siguientes variables correspondientes a la temperatura media (tm), la temperatura mínima (t_{min}) y por último la temperatura máxima (t_{max}), estas se toman de las Tablas 5,6,7,8 y 9, para cada entidad a estudiar. Por último las variables Θ_{mee} , k, a1, a2 y a3, son resultado de la Tabla 10.

Para describir lo antes explicado, pero de forma más resumida, se creó un diagrama de bloque Con la herramienta de Microsoft Visio, (Figura 3)

Figura 3. Diagrama de bloque.



2.5. Procedimiento para establecer la línea de base energética

Se propone un procedimiento que incluye un modelo analítico para obtener modelos de regresión con la finalidad de determinar un índice de desempeño desvinculado del clima y la línea de base energética en entidades donde la variable climática resulte estadísticamente significativa.

2.5.1. Metodología a seguir.

Pasos a seguir:

1. Selección de datos

Mediante la aplicación de técnicas de filtrado, de los consumos de energía eléctrica mensual reportados por la entidad para un periodo no menor de un año, se eliminan los valores que no resulten estadísticamente representativos.

2. **Se calcula la Energía no Asociada (Ena)** a cada uno de los consumos de energía eléctrica ordenados de forma creciente, se le hace coincidir un número de orden correspondiente a un mes. Mediante la realización de un análisis de regresión, se determinan la energía consumida no asociada a las variables independientes (E_{na}).

3. Se calculan los valores de R_o , por la ecuación (7) y se define la relación entre R_o y el consumo mensual de energía mediante la expresión (8)

$$R_o = \frac{E_c - E_{na}}{E_{min} - E_{na}} \quad (7)$$

Dónde:

R_o – es un parámetro adimensional definido por los autores, incluye todas las variables independientes que influyen en el consumo.

E_c – es la energía consumida en la entidad, para un determinado período de tiempo (normalmente mensual), en kW.h

E_{na} – es la energía no asociada a las variables independientes, en kW.h

E_{min} – es la energía mínima consumida, en kW.h (E_{min} debe ser mayor que E_{na})

El denominador en la ecuación (7), representa la pendiente m de la expresión (8), la cual, establece la relación entre las variables independientes y el consumo de energía.

$$E_c = mR_o + E_{na} \quad (8)$$

La **pendiente m** queda definida como:

$$m = E_{min} - E_{na} \quad (9)$$

4. R_o , calculado en el paso tres por la expresión (7), se debe estimar en función de las variables independientes; grados-día de enfriamiento (GDe) normalizados a grados-día/día [27] y una variable clave de trabajo ($v.c.t$), (para el caso específico de los hoteles, se toma el término HDO).

Como herramienta, se utiliza el análisis de regresión lineal multivariable; el nuevo valor de R_o , definido como $R_o_{(est)}$ se estima por la siguiente expresión:

$$R_{o(est)} = \beta_1(GDe) + \beta_2(HDO) + \beta_o \quad (10)$$

Dónde:

β_o , β_1 y β_2 – son los coeficientes de regresión de la ecuación (10), que relaciona las variables grados-día de enfriamiento (GDe) y habitaciones/día ocupadas (HDO).

Para el cálculo de los grados-día de enfriamiento, de no conocerse la temperatura base específica de la edificación, se puede tomar un valor igual a cero grados Celsius, por lo que el valor de los GDe , quedaría en este caso igual a la temperatura media para cada mes.

Los valores de $R_{o(est)}$ se deben desagregar en los términos $R_{o(GDe)}$ y $R_{o(HDO)}$ que representan los valores de $R_{o(est)}$ referidos a los valores de grados-día (normalizados a grados-día/día) y las HDO , respectivamente; para su el cálculo de estos parámetros, se utilizan las ecuaciones (11) y (12), obtenidas a partir de transformaciones realizadas a la ecuación (9)

$$R_{o(GDe)} = \frac{\beta_1(GDe)}{R_{o(est)} - \beta_o} R_{o(est)} \quad (11)$$

$$R_{o(HDO)} = \frac{\beta_2(HDO)}{R_{o(est)} - \beta_o} R_{o(est)} \quad (12)$$

5. Con los valores de las temperaturas medias mensuales y los valores de $R_{o(GDe)}$ calculados para cada mes, se estiman los valores mensuales de la temperatura base para la edificación por la ecuación:

$$t_b = t_m - \frac{h_E - h_R}{c_p R_{o(est)}} \quad (13)$$

Dónde:

h_E – es la entalpía del aire exterior tomada a la temperatura y humedad relativa media mensual.

h_R - es la entalpía del aire del local tomada a la temperatura y humedad relativa de confort.

c_p – es la capacidad térmica específica del aire tomada para un valor igual a 1,02 kJ/(kg.°C)

Este proceder, constituye un nuevo método para determinar la temperatura base mensual de una entidad específica.

6. Mediante la relación de los parámetros $R_{o(GDe)}$ y $R_{o(HDO)}$ con $R_{o(est)}$, se establecen los factores $f_{(GDe)}$ y $f_{(HDO)}$ por las ecuaciones (14) y (15) respectivamente; factores que se utilizan para el cálculo de los índices de desempeño y que representan la fracción que constituye cada término, $R_{o(GDe)}$ y $R_{o(HDO)}$ del término $R_{o(est)}$.

$$f_{(GDe)} = \frac{R_{o(GDe)}}{R_{o(est)}} \quad (14)$$

$$f_{(HDO)} = \frac{R_{o(HDO)}}{R_{o(est)}} \quad (15)$$

Los valores de $R_{o(est)}$ posibilitan establecer la ecuación que representa la línea de base energética de la entidad como:

$$E_{c(est)} = mR_{o(est)} + E_{na} \quad (16)$$

Dónde:

$E_{c(est)}$ – representa los valores estimados de la energía eléctrica consumida mensualmente por la entidad, en kWh

La expresión (16) permite establecer los factores $f_{(vc)}$ y $f_{(na)}$ como:

$$f_{(vc)} = \frac{mR_{o(est)}}{E_{c(est)}} \quad (17)$$

$$f_{(na)} = \frac{E_{na}}{E_{c(est)}} \quad (18)$$

$f_{(vc)}$ y $f_{(na)}$ en las ecuaciones (17) y (18), constituyen las fracciones que representan el término $(mR_{o\ (est)})$ y la energía no asociada ($E_{c\ (est)}$) de la energía eléctrica estimada para cada mes.

7. Se definen y determinan los indicadores de desempeño:

$$ID = \frac{E_{c(est)}}{HDO} \quad (19)$$

Dónde, ID es el indicador de desempeño general, expresado en kWh/HDO, relaciona el consumo estimado de energía por mes, con el parámetro habitaciones/día ocupadas; es un indicador específico para cada entidad; al incluir la temperatura exterior como variable independiente, no resulta adecuado para realizar comparaciones entre los consumos por meses para una entidad; para lo cual, se desagregan en los siguientes indicadores $ID_{(vc)}$ e $ID_{(na)}$.

$$ID = ID_{(vc)} + ID_{(na)} \quad (20)$$

$ID_{(vc)}$ e $ID_{(na)}$, se definen por las ecuaciones:

$$ID_{(vc)} = ID \cdot f_{(vc)} \quad (21)$$

$$ID_{na} = ID \cdot f_{(na)} \quad (22)$$

Para desvincular el indicador general ID de las variables independientes, el término $ID_{(vc)}$ en la ecuación (20) se multiplica por los factores $f_{(GDe)}$ y $f_{(HDO)}$ indistintamente, con lo que se obtienen los $ID_{(GDe)}$ e $ID_{(HDO)}$, que consideran la influencia de las variables GDe y HDO, respectivamente.

$$ID_{(GDe)} = ID_{(vc)} \cdot f_{(GDe)} + ID_{(na)} \quad (23)$$

$$ID_{(HDO)} = ID_{(vc)} \cdot f_{(HDO)} + ID_{(na)} \quad (24)$$

El indicador ($ID_{(GDe)}$) toma en cuenta solamente la influencia que como variable independiente ejerce la temperatura exterior en el indicador general de desempeño.

El indicador ($ID_{(HDO)}$) toma en cuenta solamente la influencia que como variable independiente ejerce el parámetro habitaciones/día ocupadas en el indicador general de desempeño, desvinculando el índice de desempeño general del clima.

Capítulo 3: Resultados y discusión.

Para este capítulo se aplica el Modelo base para el cálculo de los Grados-Día de enfriamiento (GDE) con temperatura base variable y el procedimiento para establecer las líneas de base energéticas para la provincia de Villa Clara, específicamente para 6 hospitales y 5 hoteles. Estos se encuentran distribuidos por todo el territorio con el fin de analizar toda la provincia, abarcando todas las estaciones meteorológica.

Resultados y discusión.

3.1. Cálculo de los Grados Día de Enfriamiento.

En el capítulo II con la ubicación de las entidades por estación meteorológica (Tabla 3), el cálculo de las temperaturas máximas y mínimas ($T_{\max}$ y $T_{\min}$) correspondientes (Tablas 5-9) y el resultado de la temperatura base (Tablas 10 y 11), se puede proceder a calcular el modelo base para el cálculo de los Grados-Días de enfriamiento (GDE) con temperatura base variable.

Para este cálculo se conformó un modelo en Microsoft Excel, que se encuentra bien explicado en el capítulo anterior, con el fin de hacer más fácil el cálculo a las personas que utilicen el método. Los valores de los Grados-Días de enfriamiento se muestran a continuación en las tablas 14 y 15.

Se establecen como variables de entrada tres parámetros: la temperatura media t_m , la temperatura extrema máxima $t_{\max}$ y la temperatura extrema mínima $t_{\min}$, según el periodo de tiempo a considerar.

Tabla 14. Resultado de los Grados-Días para los hospitales seleccionados de la provincia.

MESES	Hospital Celestino Hernández	MINSAP: Hospital Materno	MINFAR: Hospital Militar	Hospital General Caibarién	Hospital General Placetas	Hospital Psiquiátrico
ENE	5,2	7,0	4,5	3,9	5,6	6,8
FEB	3,4	2,5	3,0	2,1	2,5	4,7
MAR	2,5	6,5	2,5	1,7	0,2	2,8
ABR	7,5	7,5	7,8	3,9	4,3	3,9
MAY	8,1	7,1	7,5	4,8	4,4	2,4
JUN	8,6	9,4	8,0	5,9	9,1	2,4
JUL	9,4	10,9	8,8	8,2	9,9	8,9
AGO	9,4	9,1	6,7	5,2	9,9	4,4
SEP	8,8	3,5	8,2	5,3	9,3	4,1
OCT	7,6	9,6	7,0	4,9	8,1	6,1
NOV	7,4	3,3	7,4	3,9	7,0	8,4
DIC	4,2	5,7	3,7	2,5	3,5	7,4

Tabla 15. Resultado de los Grados-Día para los hoteles seleccionados de la provincia.

MESES	Hotel América	Hotel Barcelona	Hotel Cubanicay	Villa Las Brujas	Isla Azul: Hotel Hanabanilla
ENE	5,0	7,5	7,2	4,4	6,1
FEB	3,2	4,5	4,9	5,6	2,6
MAR	2,5	3,1	2,8	4,2	2,8
ABR	6,5	9,1	4,2	1,6	4,3
MAY	8,0	8,2	2,4	5,3	6,4
JUN	8,5	8,5	2,4	5,7	3,8
JUL	9,3	9,8	9,5	8,7	7,0
AGO	9,3	9,8	4,6	8,7	7,0
SEP	8,7	10,3	4,3	8,2	8,4
OCT	7,5	2,4	6,6	7,1	6,5
NOV	8,7	8,8	9,0	7,3	6,9
DIC	4,1	4,8	7,9	5,3	3,8

3.2. Procedimiento para establecer la Línea de Base Energética

Para proceder a establecer La Línea de Base Energética en las entidades de la provincia hay que seguir los pasos orientados en el Capítulo II:

1. Selección de los datos

A continuación se presentan los consumos mensuales (Tabla 16-17), reportados para el año 2016 de cada entidad correspondiente a la provincia.

Tabla 16. Consumos mensuales de los hospitales seleccionados.

MESES	HOSPITALES					
	Hospital Prov. Celestino Hernández kWh (total)	Hospital Materno kWh (total)	Hospital Militar kWh (total)	Hospital General Caibarién kWh (total)	Hospital General Placetas kWh (total)	Hospital Psiquiátrico kWh (total)
1	74827	2342	70114	73847	31549	7100
2	67758	2084	65660	57758	27535	5638
3	64192	2315	64017	54192	24479	4348
4	84293	2369	80514	74293	29925	5200
5	93348	2355	83888	83348	30205	4140
6	103176	2635	91032	93176	34574	4140
7	111095	2597	94939	101095	37337	7000
8	97008	2611	77277	87008	36724	5500
9	98276	2147	80624	88276	39461	5300
10	93971	2412	84314	83971	36349	6700
11	83795	2128	79201	73795	33452	8200
12	71025	2268	67814	61225	28892	7500

Tabla 17. Consumos mensuales de los hoteles seleccionados.

<i>Meses</i>	<i>Hotel América kwh (total)</i>	<i>Hotel Barcelona kWh (total)</i>	<i>Hotel Cubanicay kWh (total)</i>	<i>Hotel Villa las Brujas kWh (total)</i>	<i>Hotel Hanabanilla kWh (total)</i>
1	50114	15572	7122	31549	44512
2	45660	14004	5660	27535	35202
3	44017	13243	4359	24479	36079
4	60514	16260	5226	29925	39918
5	63888	17563	4143	30205	46020
6	71032	18674	4147	34574	39067
7	70939	15796	7022	37337	49572
8	57277	16508	5535	36724	53737
9	60624	18305	5345	39461	55268
10	64314	12934	6744	36349	45846
11	59201	16261	8225	33452	46886
12	47814	14144	7574	28892	38599

2. Cálculo de la Energía No Asociada a la Producción (Ena) y la pendiente (m)

A partir de los consumos reportados, se calcula la energía no asociada (Tabla 18) a las variables que intervienen. Para lo cual se organizan los valores de consumo mensuales de menor a mayor, previo al análisis de regresión que se utiliza para determinar la energía no asociada. Estos gráficos aparecen en el Anexo 2.

Tabla 18. Resultados de Ena y valores de pendiente para los Hospitales y Hoteles correspondientes.

HOSPITALES	ENA	PENDIENTE (M)
HOSPITAL PROV. CELESTINO HERNÁNDEZ	60171	4111,7
MINSAP: HOSPITAL MATERNO	2026,8	50,535
MINFAR: HOSPITAL MILITAR	60914	2672,1
HOSPITAL GENERAL CAIBARIÈN	51994	3949,5
HOSPITAL GENERAL PLACETAS	26230	1173,8
HOSPITAL PSIQUIÁTRICO	3453,9	375,8
HOTELES	-	-
HOTEL AMÉRICA	41577	2518,9
HOTEL BARCELONA	12409	517,35
HOTEL CUBANICAY	3512,7	367,23
HOTEL VILLA LAS BRUJAS	26230	1173,8
HOTEL HANABANILLA	32517	1801,4

3. Cálculo de Ro.

Mediante la relación de la energía consumida con la energía no asociada, se determina el término adimensional R_o , el término definido por el autor y que representa una variable que engloba todos los factores que ejercen influencia en el consumo, reconociéndose como los más significativos, el clima y los niveles de producción u ocupación.

Luego se calcula R_o , para los hospitales (Tabla 19) y para los hoteles (Tabla 20), siendo este un parámetro adimensional, que varía en correspondencia con la variación de la energía consumida para la unidad de tiempo del periodo (un día o un mes), según corresponda. Esto se calcula para cada entidad.

Tabla 19. Valores de R_o para los hospitales.

MESES	Hospital Prov. Celestino Hernández	MINSAP: Hospital Materno	MINFAR: Hospital Militar	Hospital General Caibarién	Hospital General Placetas	Hospital Psiquiátrico
1	3,64	5,51	2,96	2,37	4,08	5,31
2	1,89	1,00	1,53	2,5	1,00	3,18
3	1,00	5,04	1,00	1,9	-1,34	1,30
4	6,00	5,98	6,32	2,42	2,83	2,54
5	8,25	5,74	7,40	3,40	3,05	1,00
6	10,70	10,63	9,71	4,46	6,39	1,00
7	12,66	9,97	10,97	5,32	8,51	5,17
8	9,16	10,21	5,27	3,79	8,04	2,98
9	9,48	2,10	6,35	3,93	10,14	2,69
10	8,41	6,73	7,54	3,46	7,75	4,73
11	5,88	1,77	5,89	2,36	5,53	6,92
12	2,70	4,22	2,22	1,00	2,04	5,90

Tabla 20. Valores de R_o para los hoteles.

meses	Hotel América	Hotel Barcelona	Hotel Cubanicay	Hotel Villa Las Brujas	Isla Azul: Hotel Hanabanilla
1	3,50	6,02	5,73	4,08	4,47
2	1,67	3,04	3,41	1,00	1,00
3	1,00	1,59	1,34	-1,34	1,33
4	7,76	7,34	2,72	2,83	2,76
5	9,14	9,82	1,00	3,05	5,03
6	12,07	11,93	1,01	6,39	2,44
7	12,03	6,45	5,57	8,51	6,35
8	6,43	7,81	3,21	8,04	7,90
9	7,81	11,23	2,91	10,14	8,47
10	9,32	1,00	5,13	7,75	4,96
11	7,22	7,34	7,48	5,53	5,35
12	2,56	3,30	6,44	2,04	2,27

4. La correlación de los consumos mensuales de energía.

Luego se establece una correlación entre los consumos mensuales de energía (E_c) (Tablas 16-17) con los valores de R_o (Tablas 19-20), esto posibilita mediante un análisis de regresión determinar la pendiente m y *ajustar el valor de la energía* consumida no asociada a las variables independientes (E_{na}), parámetros éstos que conforman la ecuación que establece la relación entre las variables independientes y el consumo de energía.

Tabla 21. Valores ajustados de la Energía no Asociada y la pendiente.

HOSPITALES	ENA	PENDIENTE (M)
HOSPITAL PROV. CELESTINO HERNÁNDEZ	60171	4021
MINSAP: HOSPITAL MATERNO	2026,8	52.7
MINFAR: HOSPITAL MILITAR	60914	3103
HOSPITAL GENERAL CAIBARIÈN	51994	9231
HOSPITAL GENERAL PLACETAS	26230	1305
HOSPITAL PSIQUIÁTRICO	3453,9	686.1
HOTELES	-	-
HOTEL AMÉRICA	61799	2440
HOTEL BARCELONA	12623	525
HOTEL CUBANICAY	4344	630.3
HOTEL VILLA LAS BRUJAS	20518	1305
HOTEL HANABANILLA	30028	2685

Para los valores de R_o contra los valores de consumo de cada entidad se obtiene una ecuación de regresión determinística simple. Los gráficos se muestran en el Anexo 3 así como las relaciones. La línea de base energética se expresa de acuerdo a la ecuación (10) como:

Tabla 22. Ecuación que representa la línea base energética para los hospitales y hoteles seleccionados.

HOSPITALES	LINEA DE BASE ENERGETICA
HOSPITAL PROV. CELESTINO HERNÁNDEZ	$E_c(est)=4021R_o(est) + 60171$
HOSPITAL MATERNO	$E_c(est)=57,2 R_o(est) + 2026,8$
HOSPITAL MILITAR	$E_c(est)= 3103 R_o(est) + 60914$
HOSPITAL GENERAL CAIBARIEN	$E_c(est)=9231 R_o(est) + 56441$
HOSPITAL GENERAL PLACETAS	$E_c(est)= 1305 R_o(est) + 20697$
HOSPITAL PSIQUIÁTRICO	$E_c(est)= 686.1 R_o(est) + 3453,9$
HOTELES	LINEA DE BASE ENERGETICA
HOTEL AMÉRICA	$E_c(est)=2440 R_o(est) + 61799$
HOTEL BARCELONA	$E_c(est)=525 R_o(est) + 112623$

HOTEL CUBANICAY	$Ec(est)=630,3 R_o(est) + 4344$
HOTEL VILLA LAS BRUJAS	$Ec(est)= 1305 R_o(est) + 20518$
HOTEL HANABANILLA	$Ec(est)=2685 R_o(est) + 30028$

5- Valores de $R_o(est)$

Para estimar los valores de $R_o(est)$ a partir de los GDe , se utiliza como herramienta el análisis de regresión lineal multivariable, se define el valor de $R_o(est)$ por las siguientes expresiones:

$$R_{o(est)} = \beta_1 * GDe + \beta_2 * HDO \pm \alpha$$

$$R_{o(est)} = R_{o(GDe)} + R_{o(HDO)}$$

Los términos $R_o(GDe)$ y $R_o(HDO)$ representan los valores de $R_o(est)$ referido a los grados-día y las HDO respectivamente, se calculan como:

$$R_{o(GDe)} = \frac{\beta_1 * GDe}{R_{o(est)} \pm \alpha} * R_{o(est)}$$

$$R_{o(HDO)} = \frac{\beta_2 * HDO}{R_{o(est)} \pm \alpha} * R_{o(est)}$$

Al no tener los datos de HDO, pues son de difícil acceso, los valores de $R_o(est)$ tablas 24 y 25 se calcula en base a los Grados- Día. Al final del capítulo se realiza un análisis con estos datos para un hotel, para el cual se calculan los índices de desempeño.

Tabla 23. Ecuación que representa $R(est)$.

HOSPITALES	ECUACIÒN
HOSPITAL PROV. CELESTINO HERNÀNDEZ	$R(est)= 1,4732 GDe -3,4318$
MINSAP: HOSPITAL MATERNO	$R(est) = 1,0669 GDe - 1,8244$
MINFAR: HOSPITAL MILITAR	$R(est)= 1,3257 GDe - 2,7002$
HOSPITAL GENERAL CAIBARIEN	$R(est)= 0,8573 GDe - 0,9554$
HOSPITAL GENERAL PLACETAS	$R(est) = 1,0436 GDe - 1,5829$
HOSPITAL PSQUIÀTRICO	$R(est)= 0,6805 GDe - 0,0862$
HOTELES	ECUACIÒN
HOTEL AMERICA	$R(est)= 1,3345 GDe - 2,3318$
HOTEL BARCELONA	$R(est) = 0,92 GDe - 1,0156$
HOTEL CUBANICAY	$R(est) = 0,6964 GDe - 0,1055$
HOTEL VILLA LAS BRUJAS	$R(est) = 1,2272 GDe - 2,5384$
IZLA AZUL: HOTEL HANABANILLA	$R(est) = 0,7688 GDe - 0,4826$

Tabla 24. Resultados de Ro (est) para los hospitales.

HOSPITAL PROV. CELESTINO HERNÁNDEZ	MINSAP: HOSPITAL MATERNO	MINFAR: HOSPITAL MILITAR	HOSPITAL GENERAL CAIBARIEN	HOSPITAL GENERAL PLACETAS	HOSPITAL PSIQUIAT RICO
Ro (est)	Ro (est)	Ro (est)	Ro (est)	Ro (est)	Ro (est)
4,2	5,6	3,2	2,3	4,2	4,5
1,5	0,8	1,2	0,8	1,0	3,1
0,2	5,1	0,6	0,5		1,8
7,6	6,1	7,6	2,3	2,9	2,5
8,5	5,7	7,2	3,1	3,0	1,5
9,2	9,2	7,9	4,1	7,9	1,5
10,4	9,8	8,9	6,0	8,7	7,3
10,4	10,0	6,1	3,5	8,7	2,9
9,5	1,9	8,1	3,5	8,1	2,7
7,7	8,4	6,5	3,2	6,8	4,0
7,4	1,7	7,1	2,3	5,7	5,6
2,7	4,2	2,2	1,1	2,0	4,9

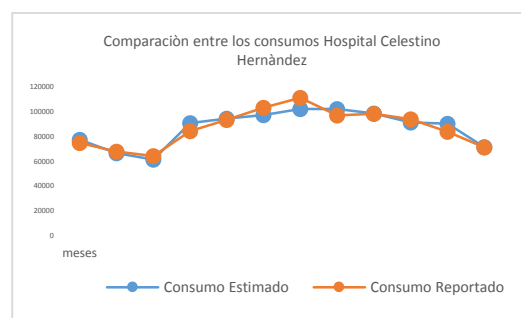
Tabla 25. Resultados de Ro (est) para los hoteles.

HOTEL AMERICA	HOTEL BARCELONA	HOTEL CUBANICAY	HOTEL VILLA LAS BRUJAS	HOTEL HANABANILLA
Ro (est)	Ro (est)	Ro (est)	Ro (est)	Ro (est)
4.3	5.9	4.9	2.9	4.2
1.9	3.1	3.3	4.3	1.5
1.0	1.8	1.8	2.6	1.7
6.3	7.4	2.8	-0.6	2.8
8.3	8.4	1.6	4.0	4.4
9.0	9.6	1.6	4.5	2.4
10.1	9.8	7.9	8.1	8.0
10.1	9.8	3.1	8.1	8.0
9.3	9.4	2.9	7.5	7.5
7.7	1.2	4.5	6.2	4.5
9.3	7.1	6.2	6.4	4.8
3.1	3.4	5.4	4.0	2.4

Haciendo un cálculo estimado de consumos de energía eléctrica para las entidades por las ecuaciones de la tabla 23 se puede observar a continuación los resultados obtenidos.

Tabla 26. Habitaciones/día ocupadas y consumo mensual de electricidad de un hotel de la región central de Cuba.

HOSPITAL CELESTINO HERNÁNDEZ		
R _o (est)	CONSUMO ESTIMADO, EN kW-h	CONSUMO REPORTADO, EN kW-h
4,23	77175	74827
1,58	66512	67758
0,25	61181	64192
7,62	90800	84293
8,50	94354	93348
9,24	97316	103176
10,42	102055	111095
10,42	102055	97008
9,53	98501	98276
7,76	91392	93971
7,47	90207	83795
2,76	71251	71025



Se puede observar la similitud que presentan los resultados obtenidos al comparar los consumos que se reportaron con los consumos que se calcularon mediante el método propuesto. Los cálculos de las demás entidades se presentan en el Anexo 3.

3.3 Línea Base Energética para un hotel de la provincia central de Villa Clara.

Para el siguiente hotel se realiza toda la metodología pero esta vez con las HDO y con el cálculo de los indicadores de desempeño.

Tabla 27. Habitaciones/día ocupadas y consumo mensual de electricidad.

MESES	HABITACIONES/DÍA OCUPADAS (HDO)	E _c - CONSUMO MENSUAL DE ELECTRICIDAD, EN kWh
ENE	21 159	621 440
FEB	20 233	524 817
MAR	21 615	661 910
ABR	15 218	607 999
MAY	16 549	717 810
JUN	12 283	653 695
JUL	16 701	779 714
AGO	18 493	824 375
SEP	9 901	592 116
OCT	12 009	578 306
NOV	16 758	542 170
DIC	15 389	586 702

Siguiendo los pasos uno y dos del procedimiento, se determinó la energía no asociada a las variables independientes E_{na} , para lo cual, a cada uno de los consumos de energía eléctrica, ordenados de forma creciente, se le hace

coincidir un número de orden correspondiente a un mes. La **figura 4**, refleja el valor de la energía no asociada como 482199, expresada en kWh.

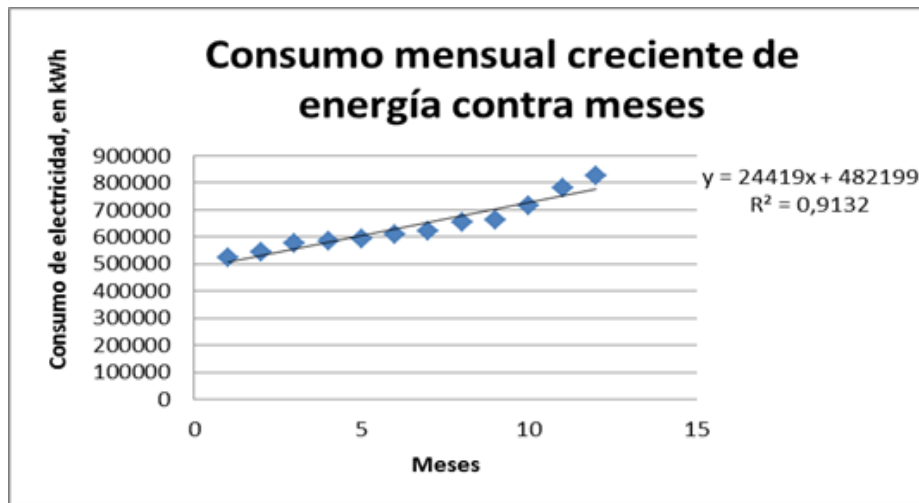


Figura 4. Relación entre el consumo de electricidad y el periodo de tiempo correspondiente.

Se calculan los valores de R_o para los diferentes meses y el valor de la pendiente m .

Los valores de R_o así obtenidos, se relacionan con las energías consumidas mediante un análisis de regresión, con el cual, se ajustan los valores de la pendiente m y de la energía no asociada.

La ecuación que relaciona el consumo mensual de energía eléctrica con el parámetro R_o , queda establecida como:

$$E_c = 42664R_o + 482022$$

Dónde:

La pendiente de la recta (m) se ajusta a un valor de 42664 kWh y la energía no asociada a las variables independientes (E_{na}) a un valor de 482022 kWh.

Para establecer la línea de base energética, los valores de R_o , se definen de acuerdo a las variables claves HDO y GDe (calculados para una temperatura de referencia igual a cero grado Celsius). La aplicación de un modelo de regresión lineal multivariable (paso cuatro), que relaciona las variables claves

con R_o , posibilita estimar los valores de R_o como $R_{o(est)}$. Mediante la expresión (4) se obtienen los coeficientes β_o , β_1 y β_2 correspondientes:

$$R_{o(est)} = 1,061(GDe) + 0,000467(HDO) - 30,896$$

Dónde:

$$\beta_o = -30,896; \beta_1 = 1,061 \text{ y } \beta_2 = 0,000467$$

La línea de base energética se expresa de acuerdo a la ecuación (10) como:

$$E_{c(est)} = 42664R_{o(est)} + 482022$$

Se estiman los valores mensuales de la temperatura base y se calculan los valores de los factores $f_{(GDe)}$, $f_{(HDO)}$, $f_{(vc)}$ y $f_{(na)}$, valores relacionados en la tabla 28 y los indicadores de desempeño, presentados en las tablas de resultados, 29 y 30.

Tabla 28. Valores de diferentes factores adimensionales para el cálculo de los índices de desempeño

$f_{(na)}$	$f_{(vc)}$	$f_{(GDe)}$	$f_{(HDO)}$
0,81	0,19	0,70	0,30
0,88	0,12	0,71	0,29
0,68	0,32	0,72	0,28
0,81	0,19	0,79	0,21
0,69	0,31	0,78	0,22
0,72	0,28	0,84	0,16
0,61	0,39	0,79	0,21
0,60	0,40	0,77	0,23
0,80	0,20	0,86	0,14
0,83	0,17	0,83	0,17
0,89	0,11	0,76	0,24
0,84	0,16	0,78	0,22

Los indicadores presentados en las tablas 28 y 29, posibilitan un análisis más detallado de los usos finales de la energía, en energías asociadas o no a las variables claves.

En la tabla 29 que se presenta a continuación, el indicador $ID_{(GDe)}$, permite comparar los consumos de energía eléctrica entre los diferentes meses del año, tomando en consideración solamente la temperatura exterior, al

desvincular el consumo, de la variable nivel de ocupación; la diferencia entre los valores obtenido por mes, está dada fundamentalmente por la influencia del clima. El indicador ID (HDO) posibilita comparar los consumos de energía eléctrica entre los diferentes meses del año, tomando en consideración solamente, la influencia de las habitaciones/día ocupadas, al desvincular el consumo del clima.

La suma de los indicadores ID (vc) e ID (na) representa el valor del indicador general ID.

Tabla 29. Valores estimados de los índices de desempeño, en kWh/HDO

Meses	$ID_{(vc)}$	$ID_{(na)}$	ID	$ID_{(GDe)}$	$ID_{(HDO)}$
Ene	5,19	22,78	27,97	26,44	24,31
Feb	3,13	23,82	26,95	26,03	24,73
Mar	10,46	22,30	32,76	29,84	25,22
Abr	7,31	31,67	38,99	37,43	33,22
May	12,95	29,13	42,08	39,29	31,92
Jun	15,13	39,24	54,37	51,91	41,7
Jul	18,24	28,86	47,10	43,36	32,6
Ago	17,21	26,07	43,27	39,4	29,94
Sep	12,38	48,68	61,06	59,36	50,37
Oct	8,28	40,14	48,41	47,02	41,54
Nov	3,40	28,76	32,16	31,33	29,58
Dic	6,13	31,32	37,45	36,12	32,65

Tabla 30. Índices de desempeño, reflejan la influencia específica de las variables claves.

Meses	$ID_{(vc)} \cdot f_{(GDe)}$	$ID_{(vc)} \cdot f_{(HDO)}$	$ID_{(vc)}$	ID	$ID \cdot f_{(GDe)}$	$ID \cdot f_{(HDO)}$
Ene	3,66	1,53	5,19	27,97	19,58	8,39
Feb	2,21	0,91	3,13	26,95	19,13	7,82
Mar	7,54	2,92	10,46	32,76	23,59	9,17
Abr	5,76	1,55	7,31	38,99	30,80	8,19
May	10,16	2,79	12,95	42,08	32,82	9,26
Jun	12,67	2,46	15,13	54,37	45,67	8,70
Jul	14,50	3,74	18,24	47,10	37,21	9,89
Ago	13,33	3,87	17,21	43,27	33,32	9,95
Sep	10,68	1,69	12,38	61,06	52,51	8,55
Oct	6,88	1,40	8,28	48,41	40,18	8,23
Nov	2,57	0,82	3,40	32,16	24,44	7,72
Dic	4,80	1,33	6,13	37,45	29,21	8,24

En la tabla 30, los términos $ID_{(vc)} \cdot f_{(GDe)}$ e $ID_{(vc)} \cdot f_{(HDO)}$ reflejan la influencia específica de las variables claves: temperatura exterior y HDO en los consumos de energía, sin considerar la energía consumida no asociada a dichas variables, la suma de ambos términos representa el valor de $ID_{(vc)}$.

Los términos $ID \cdot f_{(GDe)}$ e $ID \cdot f_{(HDO)}$ reflejan la influencia específica de las variables claves: temperatura exterior y HDO en los consumos generales de energía. La suma de ambos términos representa el valor de ID.

En la tabla 31 se recogen los valores de la temperatura base obtenidos para cada mes, lo que posibilita estimar las potencialidades de ahorro y realizar evaluaciones de medidas de conservación de energía.

Tabla 31. Valores de la temperatura base estimados para cada mes, en ° C

MESES	T_M	T_B
ENE	22,24	16,02
FEB	21,62	12,91
MAR	24,61	20,70
ABR	24,89	17,99
MAY	26,58	22,17
JUN	27,83	22,63
JUL	28,51	25,01
AGO	28,02	24,71
SEP	27,48	20,38
OCT	26,04	18,22
NOV	23,01	13,15
DIC	24,44	16,83

Conclusiones

1. Se seleccionó el procedimiento para establecer la línea de base energética e índices de desempeño propuesto por Rodríguez Santos, con el cual se logra valores altos de correlación y mantener los indicadores de desempeño actuales en los hoteles y hospitales analizados.
2. A partir de la relación entre los consumos mensuales y GDE como variables independientes, se obtuvo coeficientes de correlación superiores a 0.75 en todos los casos. Así como la línea de base energética para los hoteles y hospitales de Villa Clara.
3. En el caso específico donde se tomó además como variable independiente las HDO, El indicador ID (HDO) posibilita comparar los consumos de energía eléctrica entre los diferentes meses del año, tomando en consideración solamente, la influencia de las habitaciones/día ocupadas, al desvincular el consumo del clima.

Recomendaciones

1. Proponer esta investigación para que sirva de guía para estudios energéticos en las instalaciones hoteleras y otras edificaciones de sector de los servicios.
2. Exhortar a los investigadores referidos al tema a que trabajen sobre la base de este para profundizar y mejorar los resultados obtenidos.
3. Obtener mediante el método propuesto la línea base energética en otros sectores que tengan gran influencia en el consumo eléctrico nacional.

Trabajos Citados

1. Víctor, A.F., *GRADOS-DÍA EN ARQUITECTURA* 2004.
2. María, I.C., *Complejidad en la definición de Línea Base para la medida y verificación del ahorro de energía*. 2014: p. 14.
3. Castrillón Mendoza Rosaura P., M.Y.J.P., Borroto Nordelo Aníbal, Ciro Quispe Oqueña Enrique,, *Línea de Base Energética en la implementación de la norma ISO 50001. Estudios de casos*. Junio de 2015: p. 7.
4. Silva, A.C., *ISO 50001 "Sistemas de Gestión de la Energía" como base para una política energética en la Educación Superior*, in *Facultad de Ciencias de la Ingeniería*. 2015, Uiversiad Austral de Chile.
5. Carretero Peña Antonio, M.G.S.J., *Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora*. 2012: p. 28.
6. Aníbal, B.N., *RECOMENDACIONES METODOLÓGICAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA SEGÚN LA NORMA ISO 50001*. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, 2013.
7. Fonte Hernández Aramís, R.J.Z., *Método de los Grados-Día. Determinación de la temperatura base para la provincia de Camagüey*. Departamento Científico del Centro Meteorológico de Camagüey,, 2009: p. 5.
8. P. Castrillón Mendoza Rosaura, P.M.Y.J., Borroto Nordelo Aníbal, Ciro Quispe Oqueña, Enrique, *Línea de Base Energética en la implementación de la norma ISO 50001. Estudios de casos*. Universidad Autónoma de Occidente, 2015.
9. A. Álvarez Guerra Plasencia Mario, J.C.E.J., Sousa Santos Vladimir, P. Monteagudo Yanes José, J. Lapido Rodríguez Margarita, Valdivia Nodal Yarelis, Vega Lara Boris, A. Madrigal José *Innovación tecnológica en el sector turístico. Proyecto de implementación de Sistemas de Gestión Energética basados en la NC ISO 50001* Centro de Estudios de Energía y Medioambiente (CEEMA) Universidad de Cienfuegos, Cuba. , 2016. **Vol. 5:** p. 18.
10. GARCÍA SILVA JULIO ISRAEL, V.C.I.A., *"IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA EN BASE A LA NORMA ISO 50001 PARA LA EMPRESA "LA IBÉRICA" "* in *FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA* 2015, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
11. González Pérez Carmen, *Protocolo de obtención de líneas base* in *Dep. Ingeniería Energética* 2016, Universidad de Sevilla Escuela Técnica Superior de Ingeniería p. 103.
12. Nuncio, S.S., *Mnual de getor en Eficiencia Energetica Sector Hospitalario*. 2016.
13. HERNÁNDEZ GRANDE, E.A., LUNA RODRIGUEZ, RENÉ EDGARDO *"DESARROLLO DE MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA ENERGETICA (EECM)"* in *DECANATO DE POSTGRADO UCA Y CENTRO DE ESTUDIO DE POSTGRADO UDB ABRIL 2017 UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA "JOSÉ SIMEÓN CAÑAS" ANTIGUO CUSCATLÁN, EL SALVADOR, C.A.* p. 91.
14. DE LA CASA A.C, N.O.B., *EFFECTOS DEL CALENTAMIENTO GLOBAL SOBRE EL CONSUMO DE ENERGÍA EN LA CIUDAD DE CÓRDOBA, ARGENTINA* Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad Nacional de Córdoba, 07/2014. **Vol 25:** p. 18-23.
15. Jesús, L.V., *INTEGRACIÓN DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN SOLAR EN REDES DE DISTRITO DE FRÍO Y DE CALOR*

Departamento de Ingeniería Mecánica 2010.

16. Correa Erica, D.R.C., Lesino Graciela, *ISLA DE CALOR URBANA. EFECTO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS GRADOS DÍA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL GRAN MENDOZA. INFORME DE AVANCE 2005. 9.*
17. Víctor, A.F., *LOS GRADOS-DÍA COMO HERRAMIENTA DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN LAS EDIFICACIONES* Universidad Autónoma Metropolitana, 2005: p. 6.
18. Esteves Alfredo, G.D., *METODO PARA EL CALCULO DE GRADOS DIA DE CUALQUIER TEMPERATURA BASE Y CUALQUIER LOCALIDAD* Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas Universidad de Mendoza 2008. **Vol 12.**
19. Rodríguez Santos Ovidio, C.F.O., Leyva Céspedes Alfredo, *MODELO DE CÁLCULO DE GRADOS-DÍA MENSUALES DE ENFRIAMIENTO Y CALENTAMIENTO CON TEMPERATURA BASE VARIABLE, PARA APLICACIONES ENERGÉTICAS* Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales, CEETA,, Julio 18, 2017. **Vol 45:** p. 7.
20. Mariann, R., *Desarrollo de una Linea Base y Metodología de Medicion del Consumo Energetico en Edificios.* 2007: p. 113.
21. Lázaro, F.D., *Segundo curso de Sistemas de Gestión de la Energía para Instalaciones Industriales del Sector Público.* Centro de Capacitación de la Secretaría de Energía, 2016: p. 30.
22. Marcelo uerrero Lopez Hector, *Estudio para la determinacion de indicadores de eficiencia energetica en el sector residencial del Distrito Metropolitano de Quito "D.M.Q".* 2015, Escuela Politecnica Nacional
23. Borges Davel, C.M.J., M. Barreiro Juan, Fernández Alberto, Buzzis Nelson *Hacia un indicador de consumo de energía eléctrica más efectivo en hoteles del grupo Cubanacán de la provincia de Camagüey* 2010. **XXXII:** p. 35-24.
24. Cabrera Gorrin Osmel, B.N.A., Monteagudo Yanes Jose, Perez Tello Carlos, Cambell Ramirez Hector, *Evaluacion de indicador kWh/HDO de eficiencia electrica en instalaciones hoteleras cubanas.* 2004. **Vol 3.**
25. Saura González Guillermo, O.R.R., *Estudio de los Días-Grado con fines térmicos en Santa Clara.* 2014: p. 6.
26. Ferrer Reyes Maira, G.G., Lamela Carlos, Jiménez Gilda, *USO DE LOS GRADOS DÍAS ACUMULADOS EN LA ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR (Saccharum spp. híbrido) PARA CICLOS DE CRECIMIENTO MONOMODAL.* 2014. **vol. 35:** p. 5.
27. Rodríguez Santos, O., O.M. Cruz Fonticiella, and A. Leyva Céspedes, *Modelo de cálculo de grados-día mensuales de enfriamiento y calentamiento con temperatura base variable, para aplicaciones energéticas.* Centro Azucar, 2018. **45:** p. 113-117

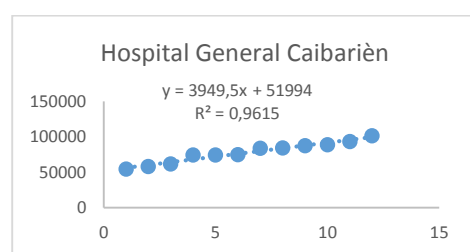
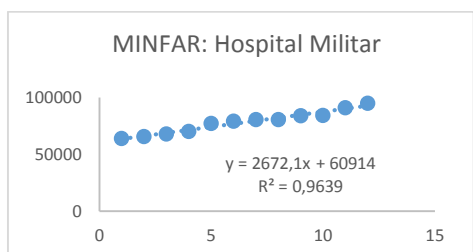
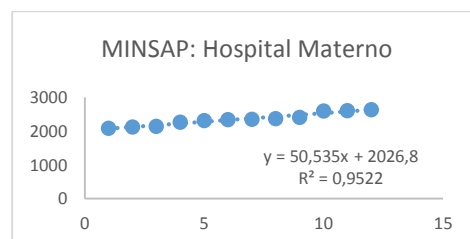
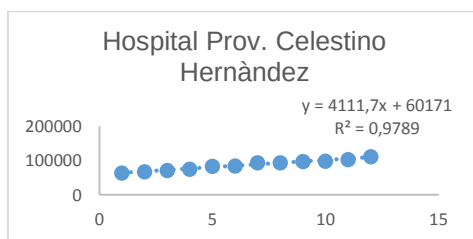
Anexos.

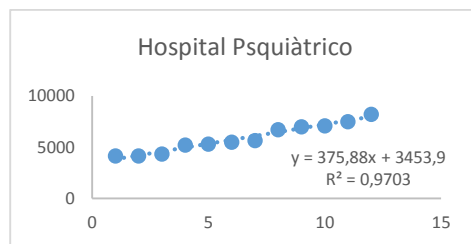
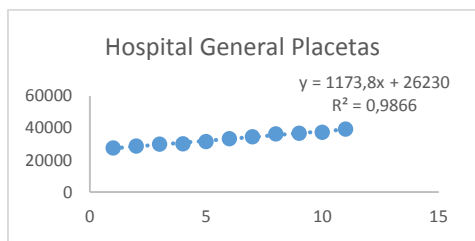
Anexo 1: Valores de la entalpía del aire exterior (h_E) tomada a la temperatura y humedad relativa media mensual y la entalpía del aire del local (h_R) tomada a la temperatura y humedad relativa de confort.

MESES	SANTA CLARA	SANTO DOMINGO	LA PIEDRA	SAGUA LA GRANDE	CAIBARIÈN
	h_E (kJ/kg)	h_E (kJ/kg)	h_E (kJ/kg)	h_E (kJ/kg)	h_E (kJ/kg)
1	51,77	52,13	53,72	54,78	52,74
2	52,81	53,18	51,6	52,45	50,78
3	56,38	55,99	52,15	53,12	51,45
4	57,09	56,46	50,74	51,89	53,12
5	61,76	62,62	63,81	64,56	62,89
6	73,59	73,61	76,42	77,23	75,82
7	70,58	74,1	76,85	77,74	71,56
8	75,57	68,82	68,52	69,85	67,23
9	66,87	65,93	60,65	61,96	61,78
10	69,29	68,78	67,25	68,41	66,32
11	59,29	59,54	58,45	59,52	57,65
12	54,62	58,3	57,56	58,63	54,15
hr	50,34				

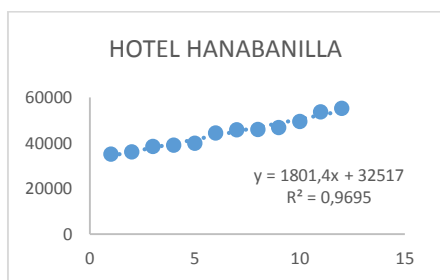
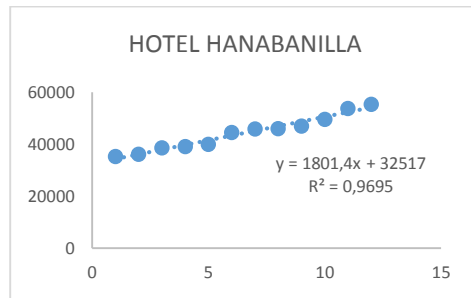
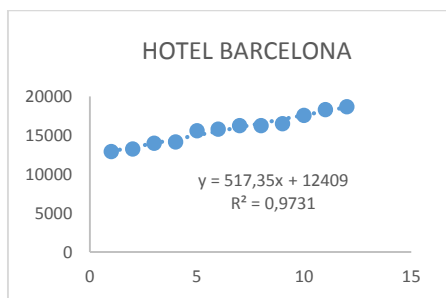
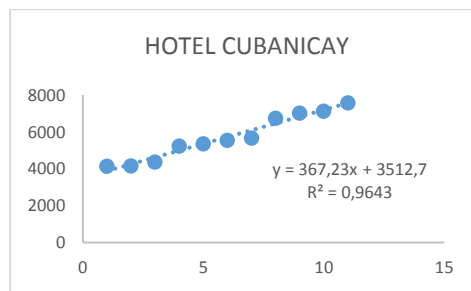
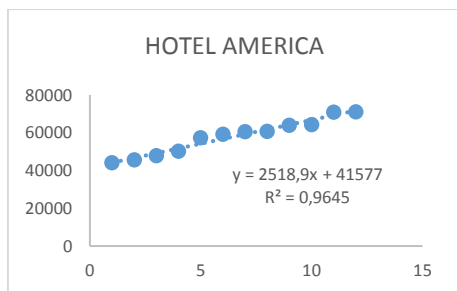
Anexo 2: Gráficos de regresión lineal para la estimación de la energía no asociada (En_a) para los hospitales y hoteles.

Para los hospitales seleccionados:



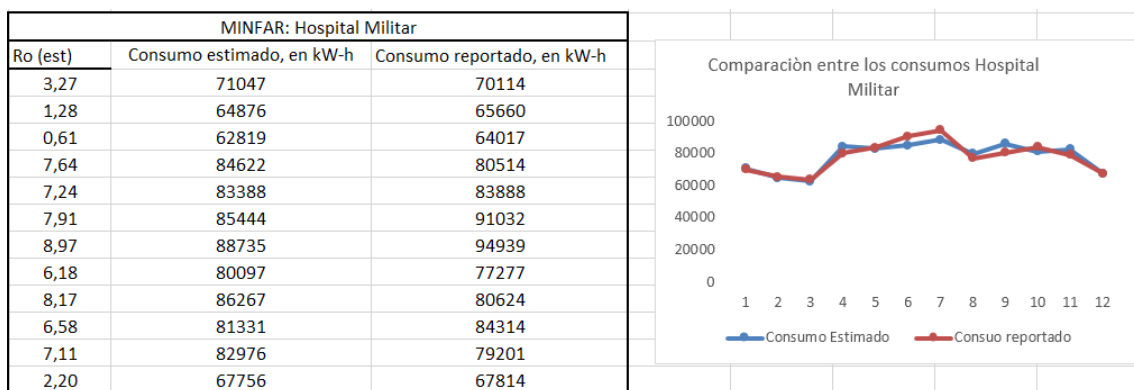
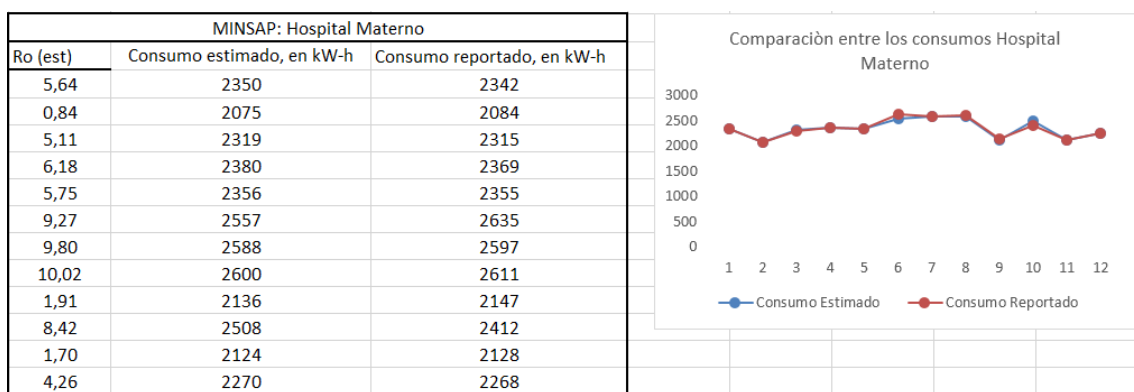
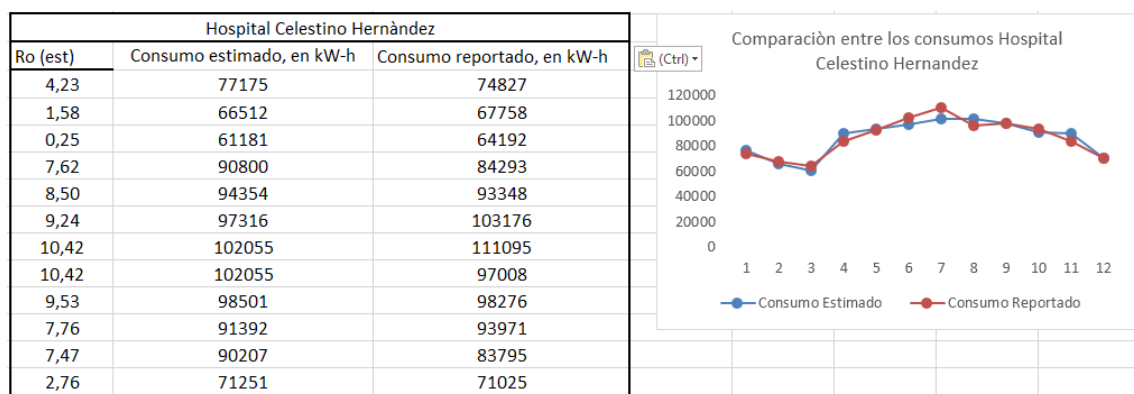


Para los hoteles:

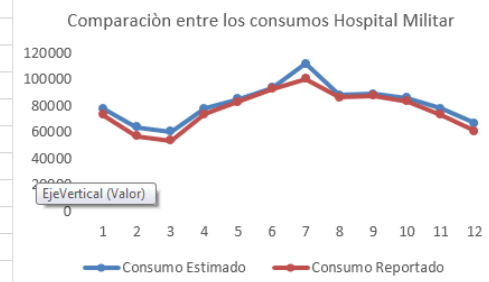


Anexo 3: Comparación entre los consumos estimados por la línea base energética y los consumos reportados.

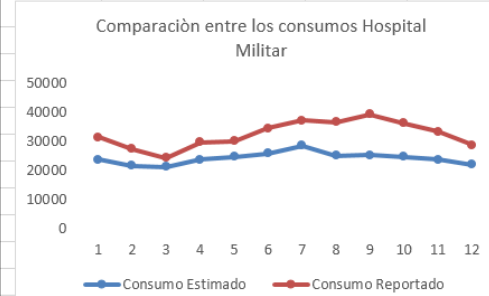
Para los Hospitales:



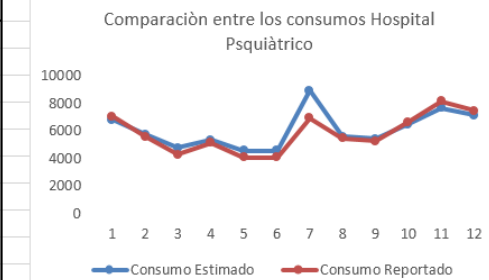
HOSPITAL General Caibarien		
Ro (est)	Consumo estimado, en kW-h $Ec (est) = 9231 \cdot Ro(est) + 56441$	Consumo reportado, en kW-h
2,39	78485	73847
0,84	64241	57758
0,50	61075	54192
2,39	78485	74293
3,16	85608	83348
4,10	94313	93176
6,07	112514	101095
3,50	88773	87008
3,59	89565	88276
3,25	86399	83971
2,39	78485	73795
1,19	67406	61225



HOSPITAL General Placetas		
Ro (est)	Consumo estimado, en kW-h $Ec (est) = 1305 \cdot Ro(est) + 20697$	Consumo reportado, en kW-h
2,39	23813	31549
0,84	21800	27535
0,50	21352	24479
2,39	23813	29925
3,16	24820	30205
4,10	26051	34574
6,07	28624	37337
3,50	25268	36724
3,59	25380	39461
3,25	24932	36349
2,39	23813	33452
1,19	22247	28892

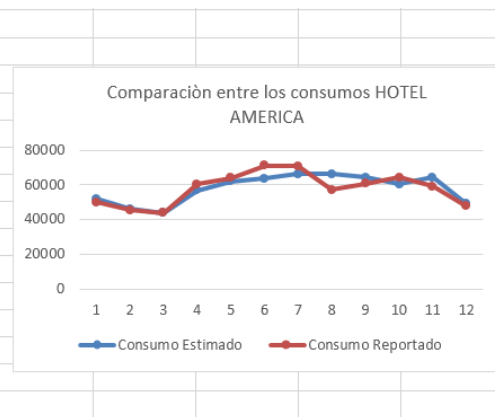


Hospital Psquiàtrico		
Ro (est)	Consumo estimado, en kW-h $Ec (est) = 755 \cdot Ro(est) + 3453,9$	Consumo reportado, en kW-h
4,54	6883	7100
3,11	5804	5638
1,82	4827	4348
2,57	5393	5200
1,55	4622	4140
1,55	4622	4140
7,33	8989	7000
2,91	5649	5500
2,70	5495	5300
4,06	6523	6700
5,63	7705	8200
4,95	7191	7500

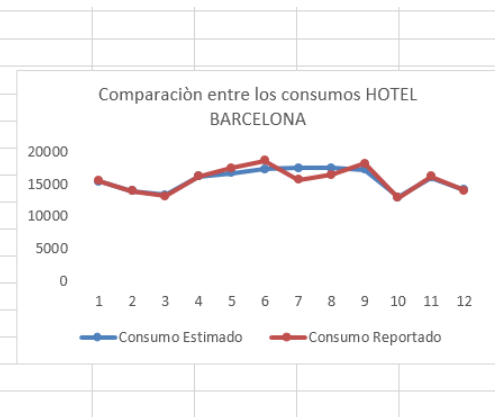


Para los Hoteles:

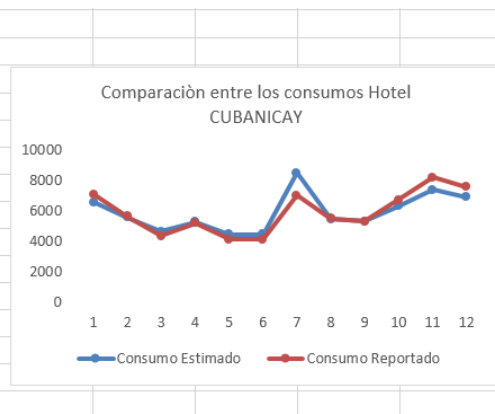
HOTEL AMERICA		
Ro (est)	Consumo estimado, en kW-h $Ec (est) = 2440 * Ro(est) + 41577$	Consumo reportado, en kW-h
4,34	52168	50114
1,94	46307	45660
1,00	44028	44017
6,34	57053	60514
8,34	61937	63888
9,01	63565	71032
10,08	66170	70939
10,08	66170	57277
9,28	64216	60624
7,68	60309	64314
9,28	64216	59201
3,14	49238	47814



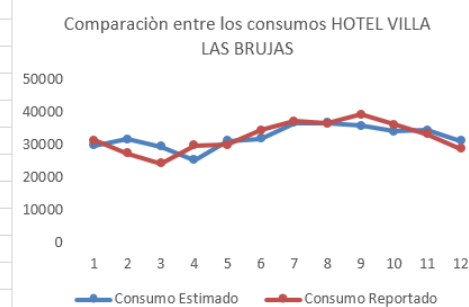
HOTEL BARCELONA		
Ro (est)	Consumo estimado, en kW-h $Ec (est) = 525 * Ro(est) + 12409$	Consumo reportado, en kW-h
5,88	15498	15572
3,12	14049	14004
1,84	13373	13243
7,36	16271	16260
8,37	16802	17563
9,56	17430	18674
9,84	17575	15796
9,84	17575	16508
9,38	17334	18305
1,19	13035	12934
7,08	16126	16261
3,40	14194	14144



Hotel CUBANICAY		
Ro (est)	Consumo estimado, en kW-h $Ec (est) = 630,3 * Ro(est) + 3512,7$	Consumo reportado, en kW-h
4,91	6607	7122
3,31	5597	5660
1,84	4675	4359
2,82	5290	5226
1,57	4500	4143
1,57	4500	4147
7,90	8494	7022
3,10	5465	5535
2,89	5334	5345
4,49	6343	6744
6,16	7397	8225
5,40	6914	7574



HOTEL VILLA LAS BRUJAS		
Ro (est)	Consumo estimado, en kW-h Ec (est) =1305*Ro(est)+ 26230	Consumo reportado, en kW-h
2,86	29964	31549
4,33	31886	27535
2,62	29644	24479
-0,57	25480	29925
3,97	31405	30205
4,46	32046	34574
8,14	36850	37337
8,14	36850	36724
7,52	36050	39461
6,17	34288	36349
6,42	34608	33452
3,97	31405	28892



ISLA AZUL: HOTEL HANABANILLA		
Ro (est)	Consumo estimado, en kW-h Ec (est) =2685*Ro(est)+ 2685	Consumo reportado, en kW-h
4,21	13981	24512
1,52	6756	15202
1,67	7169	16079
2,82	10265	19918
4,44	14600	26020
2,44	9233	19067
7,97	24096	29572
7,97	24096	33737
7,51	22857	35268
4,51	14807	25846
4,82	15632	26886
2,44	9233	18599

