REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
FACULTAD DE INGENIERÍA

TRABAJO DE DIPLOMA

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Mecánico

Título: Determinación de las cargas térmicas en la empresa COPEXTEL Cienfuegos

Autor: Isaac Gabriel Rodríguez Acosta

Tutores: Ing. Reinier Jiménez Borges

Dr.C José P Monteagudo Yanes

Curso 2016-2017

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS

Sistema de Documentación y Proyecto. Hago constar que el presente trabajo constituye la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Cienfuegos, autorizando a que el mismo sea utilizado por el Centro de Estudio Superior para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de dicha institución.

_____

Firma del autor.

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

_____

Información Científico Técnico

Nombre y Apellidos. Firma.

_____ _____

Firma del Vice Decano. Firma del Tutor.

Nombre y Apellidos.

_____

Sistema de Documentación y Proyecto.

Nombre y Apellido. Firma.

La oxidación por falta de uso gasta mucho más las herramientas que el propio trabajo.

Benjamín Franklin

AGRADECIMIENTOS

- *Muy especial a mis padres, que han sido y serán mis eternos guías, sin ellos no sería lo que hoy soy, ni lo que seré en la vida.*
- *A mis hermanas, Ellen y Evelyn quienes me han apoyado hasta el último momento, y a todo el resto de mi familia.*
- *A mis tutores, José Pedro Monteagudo Yanes y Reinier Jiménez Borges, quienes me apoyaron en todo momento con sus experiencias y sabidurías.*
- *A Lili por alentarme cada día y ayudarme a cumplir mis sueños.*
- *A mis compañeros de aula Geni, al Padi, al Metra, al Tejo, al Oski, al Deiby, al More, al Rafa, al Roco, a Rose, al Bocina, al Luisi, al Sheriff, al Larry, a Pedro y a Adrián, a todos, que de verdad los quiero muchísimo.*
- *A los profesores de esta institución, incluso a aquellos que no nos impartieron asignatura alguna, pues nos enseñaron que no solamente las aulas de clases son lugares para impartir una buena lección.*
- *A mis amigos del barrio quienes de alguna manera han marcado nuestras vidas, incluso a aquellos que no compartían nuestro punto de vista, lo cual nos hizo abrir nuestra mente a otras formas de pensar.*
- *Y aquellas personas a las cuales no olvidaré y que significaron mucho en mi vida como universitario. A todos.*

MUCHAS GRACIAS

DEDICATORIA

No hubiese sido posible haber culminado esta etapa de mi vida sin el apoyo incondicional de las personas que guiaron e hicieron posible que hoy me graduara. Por ello agradezco

A:

- *A mi madre, quien me dio la vida y me ha enseñado a conducirme en ella con todo el amor del mundo.*
- *A mi padre, la persona que también ha sabido guiarme y de quien heredé sin dudar, los mayores deseos de trabajar y de seguir adelante con mis proyectos de vida sin mirar atrás.*
- *A mis tutores Pepe Monteagudo y Reinier Jiménez, quienes me brindaron su apoyo para terminar esta tarea.*
- *A mis hermanas y al resto de toda la familia, que siempre llevaré en el corazón.*
- *A Lily quien me ha soportado por estos largos meses.*
- *A mis compañeros de aula por compartir estos 5 años inolvidables, quienes siempre me brindaron su apoyo.*
- *A todos mis amigos, en especial a muchos de los que ya no se encuentran cerca de mí.*
- *A todos los profesores que han contribuido a mi formación como profesional y me han brindado sus conocimientos y sabiduría. Por su exigencia tan alta y el rigor en cada tarea encomendada.*
- *A todas aquellas personas que han dado un pedacito de sí para contribuir al desarrollo de este trabajo y saben que le estaré agradecido por siempre.*

RESUMEN

El desarrollo de este trabajo de diploma se basa en el estudio de las cargas térmicas para la búsqueda de confort de las oficinas, e incremento de la eficiencia energética en la empresa COPEXTEL Cienfuegos. Inicialmente se confecciona una introducción a la problemática de la demanda energética. Luego se le hace una revisión a las normativas más importantes implementadas en el cálculo de las cargas térmicas en edificaciones, así como sus definiciones, principios, materiales y métodos de cálculo. Dando continuidad al estudio del caso, se realiza el análisis energético de la edificación y se calcula las ganancias de calor en el local de contabilidad tras habérsele hecho un cambio de 2 aires de ventana de capacidad 5,28 kW (1,5 TR), por un aire Split de capacidad 14,08 kW (4 TR), desplegando la oportunidad de verificar si fue seleccionado de manera correcta. El cálculo de las cargas térmicas se determinó utilizando diferentes métodos; el analítico y el software TRNSYS-16. Esto resultará necesario ya que sabiendo los mismos podremos aplicar estrategias para reducirlo, garantizando el criterio de confort para el personal.

Palabras claves: sistema de aire acondicionado, confort, climatización, energía.

SUMMARY

The development of this project is based on the study of the thermal loads in the search of the offices´ comfort, and the increase of the energy efficiency in the COPEXTEL Cienfuegos enterprise. First of all, the problematic of the energy request is introduced. Then it is made a revision of the most important normative applied in the calculation of the thermal loads in buildings, accounting after having been made a change of 2 window airs of capacity 5,28 kW (1,5 TR), by a Split air of capacity 14,08 kW (4 TR), displaying the opportunity to verify if it was selected of correct way as well as their definitions, principles, materials and methods used. In order to continue the research, the energy analysis of the building and heat gains in the accountancy premises are calculated by using different methods, the analytical one and the TRNSYS-16 software. This process is necessary so that knowing all these numbers we can apply strategies to reduce them, increasing the comfort criteria of the staff.

Keywords: Cooling water system, comfort, air conditioning, energy.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

Capítulo I: Estado del Arte..... 4

Introducción al capítulo. 4

I.1 Confort humano. 4

I.2 Revisión de las normativas internacionales en las edificaciones. 5

I.2.1 Calificación y certificación energética de edificios. 7

I.2.2 Medidas de ahorro en edificaciones. 8

I.3 Definición de carga térmica: 10

I.3.1 Aspectos importantes en el cálculo de las cargas térmicas. 10

I.3.2 Cálculo de carga térmica en edificios. 10

I.4 Métodos para la determinación de la carga de enfriamiento. 12

I.4.1 Método de «Función de transferencia» (TMF). 13

I.4.2 Método de «Cálculo de cargas por temperatura diferencial y factores de carga de enfriamiento» (CLTD/CLF). 14

I.4.3 Método de «Valores de temperatura diferencial total equivalente y tiempo promedio» (TETD/TA). 14

I.4.4 Cálculo de cargas térmicas por balance de calor». 14

I.4.5 Cálculo de la carga térmica con TRNSYS-16. 15

I.5 Descripción de los sistemas de climatización. 17

I.5.1 Sistemas de acondicionamiento de aire por expansión directa. 17

I.5.2 Sistemas de acondicionamiento de aire por expansión indirecta (todo agua). 19

I.6 Aires acondicionados separados o Split. 19

I.6.1 Datos técnicos del aire acondicionado Airwell AWAU-YMF024-H12. 20

I.6 Indicadores Energéticos fundamentales. 21

Conclusiones parciales del capítulo 24

Capítulo II: Metodologías para el cálculo de cargas térmicas. Materiales y métodos para su ejecución. 25

Introducción al capítulo 25

II.1 Métodos para la determinación de la carga de enfriamiento 25

II.2 Carga de enfriamiento. Especificaciones 26

II.2.1 Conducción a través de la estructura exterior (paredes, techo y vidrios) 26

II.2.2 Radiación solar a través de vidrios 27

II.2.3 Alumbrado 27

II.2.4 Equipo 28

II.2.5 Ganancia de calor por personas 28

II.2.6 Transferencia de calor a los alrededores. 28

II.3 Método HAP de Carrier 29

II.4 Metodología de cálculo de cargas térmicas a través del balance térmico. .. 31

II.4.1 Cálculo de la carga térmica sensible. 32

II.4.2 Cálculo de la carga térmica por radiación solar a través de cristal "Q_{sr}". 33

II.4.3 Cálculo de la carga por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores "Q_{str}". 33

II.4.4 Cálculo de la carga transmitida por infiltraciones de aire exterior "Q_{si}" . 34

II.4.5 Cálculo de la carga sensible por aportaciones internas "Q_{sai}". 35

II.4.6 Cálculo de la carga sensible por iluminación "Q_{sli}". 35

II.4.7 Cálculo de la carga sensible por ocupantes "Q_{sp}". 36

II.4.8 Carga sensible por aparatos eléctricos (Q_{se}) 37

II.4.9 Cálculo de la carga térmica latente: 38

II.5 TRNSYS. Metodología de cálculo..... 38

Conclusiones parciales del capítulo 2 43

Capítulo III: Análisis de los resultados. Caso de estudio: Copextel Cienfuegos..... 44

III.1: Descripción del caso de estudio..... 44

III.2 Herramientas necesarias para el desarrollo del cálculo de las cargas térmicas. 47

III.3 Determinación de la carga térmica de un local tipo..... 47

III.3.1 Referencias del local. 47

III.3.2. Determinación de las cargas térmicas por el método del balance térmico. 48

III.2.3 Carga por radiación solar a través de cristal "Q_{sr}". 50

III.2.3 Carga por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores "Q_{str}". 50

III.2.4 Carga por transmisión a través de paredes, techos, suelos, puertas y ventanas interiores "Q_{st}"..... 51

III.2.5 Carga transmitida por infiltraciones de aire exterior "Q_{si}". 54

III.2.6 Carga sensible por aportaciones internas "Q_{sai}"..... 54

III.2.7 Carga latente transmitida por infiltraciones y ventilación de aire exterior "Q_{li}"..... 56

III.2.8 Carga latente por ocupación "Q_{lp}". 56

III.3: Simulación térmica. Parámetros y características constructivas de la empresa..... 57

III.3.1 Localización geográfica..... 57

III.3.2 Cálculo de la carga térmica..... 58

III.4 Propuestas de mejora. 64

Conclusiones parciales del capítulo 67

Conclusiones generales 68

Recomendaciones..... 69

Bibliografía..... 70

Anexos 73

INTRODUCCIÓN

El aumento de la demanda energética resulta una problemática de carácter global, unido a ello la creciente afectación ambiental, traen consigo la necesidad de encontrar alternativas que ayuden a solucionar los altos niveles de consumo energético, disminuyendo a la vez los niveles de incidencia en el daño al medio ambiente.

Los últimos años del pasado siglo XX han sido testigos de un profundo cambio estructural de las condiciones y fundamentos que regían la generación de energía eléctrica tradicional en los países industrializados. Dos han sido las causas que permiten explicar estos cambios: por un lado, la creciente liberalización de los mercados eléctricos y por el otro, el cambio climático y la creciente preocupación medioambiental existente en las sociedades desarrolladas.(Barrio, 2010)

La disminución del gasto energético ya ha dejado de ser una alternativa, para convertirse en necesidad, para enfrentar al déficit ocasionado por el continuo incremento del consumo de energía. Se ha podido constatar que, en los edificios de uso residencial y comercial, el sistema de climatización es uno de los elementos de mayor incidencia en el consumo energético. Diferentes estudios indican que el consumo de energía en los edificios representa el 40% del consumo energético mundial, asociando más del 60% de este consumo a los sistemas de climatización.(Tello, 2003)

Es por ello que si se quiere lograr disminuir este impacto es indispensable que haya una adecuada conjunción entre los equipos instalados y el proyecto del edificio o lugar donde los mismos sean instalados, dado que ambos conforman un conjunto que no puede verse por separado. Las características arquitectónicas del lugar donde vaya a ser situado, las propiedades térmicas de la envolvente, la orientación de fachadas, distribución de los espacios interiores, así como la aplicación de un eficiente aislamiento térmico influyen directamente en su consumo.

En las edificaciones e instalaciones de nueva construcción son tenidos en cuenta en sus diseños los lugares donde serán instalados los mismos y que permitirán disminuir el consumo. No siendo así en instalaciones ya terminadas pues modificar sus elementos resulta difícil, y por ende el factor eficiencia energética es quien aporta mayores posibilidades de mejora.

Existen empresas que también se ven afectadas por esta problemática, pues las mismas son de construcciones anteriores y no poseen diseños adecuados para la climatización de los locales y ubicación de los mismos; trayendo como resultado que se conviertan en grandes consumidores de energía. Para ello en disimiles ocasiones deben recurrir a estudios de factibilidad para determinar los lugares de instalación de la climatización.

La empresa Copextel Cienfuegos, no escapa de esta problemática, con una edificación de más de veinte años de construcción y con una necesidad vital de poseer climatización, por su objeto social, se convierte en una de las más afectadas por el sobre consumo energético en la provincia. De ahí la necesidad de lograr una correcta instalación de estos equipos. A partir de lo antes señalado, se presenta el siguiente problema científico;

Problema científico: Los equipos de climatización representan el mayor consumo de energía en la empresa Copextel Cienfuegos y se desconoce lo adecuado o no de su selección.

Hipótesis: El cálculo adecuado de las cargas térmicas de los locales climatizados permitirá tomar decisiones en cuanto a la eficiencia de estos equipos y disminuir el consumo energético en la empresa Copextel Cienfuegos.

Objetivo general: Realizar el cálculo de comprobación de las cargas térmicas de la edificación y su simulación a partir del Software TRNSYS en la empresa Copextel Cienfuegos.

Objetivos específicos:

1. Realizar una búsqueda bibliográfica acerca de las normativas de eficiencia energética y de su implementación en las empresas de servicios.

2. Establecer los métodos y herramientas necesarias para el desarrollo del cálculo de las cargas térmicas.

3. Analizar y comparar los resultados a partir de la simulación mediante el Software TRNSYS.

4. Proponer métodos que reduzcan el consumo energético e incrementen la eficiencia de la climatización, en la empresa Copextel Cienfuegos.

Capítulo I: Estado del Arte.

Introducción al capítulo.

En este capítulo se pretende mostrar algunos temas que son fundamentales para conocer lo establecido en las normativas generales e internacionales para el cálculo de las cargas térmicas en edificaciones, para lograr un adecuado consumo energético y una mayor eficiencia. Es por ello que se realiza referencia a los principales métodos de cálculo durante el análisis bibliográfico, los cuales contribuyen a la incorporación de los elementos teóricos necesarios para la fundamentación de este estudio.

I.1 Confort humano.

El confort humano es afectado por muchos factores que determinan la comodidad, y este depende de la tasa de pérdida de calor corporal.

El cuerpo humano genera calor al metabolizar (oxidar) los alimentos. Este calor es liberado continuamente a los alrededores. El sentir calor o frío viene determinado por la velocidad de pérdida de calor corporal. Cuando esta velocidad queda dentro de ciertos límites, se tiene una sensación confortable. Si la velocidad de pérdida de calor es demasiado alta, se siente frío. Si es demasiado baja, se siente calor. (Jara, 2016)

Los procesos mediante los cuales el cuerpo desprende su calor hacia el medio ambiente son: convección, radiación y evaporación.

El proceso de convección ocurre cuando el aire que rodea al cuerpo va retirando el calor de este; el aire caliente se aleja continuamente. El mecanismo de radiación consiste en la transferencia directa de calor entre los objetos y el cuerpo humano. Las fuentes de calor, que están más calientes que el cuerpo, irradian calor hacia éste lo cual crea una sensación de calor. El cuerpo también se enfría por evaporación, este proceso consiste en que la transpiración al absorber calor corporal se evapora en el aire y de esta forma se lleva el calor del cuerpo.(Solís, 2008)

Según la organización de las instrucciones técnicas, en el punto de diseño y de dimensionado, se señala que la calidad térmica debe estar en torno a los 23ºC de temperatura y 50% de humedad relativa respectivamente en un área de confort.("ASHARE," 1997)

I.2 Revisión de las normativas internacionales en las edificaciones.

Existen internacionalmente normativas para la determinación de las cargas de enfriamiento, así como para la eficiencia energética de estos, además de las normas referentes al diseño de las edificaciones.

La Directiva de Eficiencia Energética (Energy Efficiency Directive), es la principal norma europea para la consecución de los objetivos de reducción del consumo energético asumidos por la Unión Europea (UE). Esta norma afecta a todos los sectores de la actividad económica, incluidas las edificaciones, que están sometidas simultáneamente a otra norma: La Directiva de Eficiencia Energética en Edificios ó Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), la cual cumple los objetivos de la UE, en lo referente a contención de emisiones de gases de efecto invernadero, consumo energético y eficiencia energética, y generación de energía a partir de fuentes renovables.("Directive 2010/31/EU ")

Otra norma de gran relevación en la construcción de edificaciones energéticas es la RITE. Este Reglamento presenta un manual desarrollado a lo largo de un Articulado (Disposiciones Generales) y unas Instrucciones Técnicas (IT); que son un conjunto de directrices tendentes a conseguir el correcto diseño, dimensionamiento, montaje, mantenimiento y uso de las instalaciones térmicas en el marco de la edificación. Esta norma tiene como objetivo fijar el marco normativo básico en el que se regulan las exigencias de eficiencia energética y de seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios para atender la demanda de bienestar e higiene de las personas.("RITE," 1998)

El Código Técnico de la Edificación (CTE) se aprobó mediante el Real Decreto 314/2006; que es el conjunto principal de normativas que regulan la construcción de edificios en España desde ese año. Es el código de edificación en vigor en el

país, donde se establecen los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad de las construcciones, definidos por la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE). Sus exigencias intervienen en las fases de proyecto, construcción, mantenimiento y conservación. Es una normativa basada en prestaciones.("Código técnico de la edificación," 2006)

La Norma Cubana NC 220-1:2002 presenta requisitos de diseño para la eficiencia energética en edificaciones, y también representa los criterios mínimos de diseño que aplicarán los componentes de los sistemas de ventilación y aire acondicionado de nuevas edificaciones, en remodelaciones y ampliaciones ya existentes.

Desde el punto de vista del diseño los requisitos fundamentales quedan divididos en Cubiertas opacas, Cierres de vanos verticales y horizontales, Paredes opacas. Para el primer caso el factor de ganancia de calor solar debe ser menor de 1,0 $W/m^2\ ^0C$. Se exceptúan las cubiertas que son completamente protegidos de la radiación solar. El valor del coeficiente global de transferencia de calor (U) para paredes opacas, orientadas al sur y al oeste y/o limitando espacios con aire acondicionado no deberá exceder 1,50 $W/m^2\ ^0C$ y para espacios que funcionen con ventilación natural no deberá exceder 2,50 $W/m^2\ ^0C$. Se exceptúan:

1. Paredes con una capacidad térmica mayor de 55 $W/m^2\ ^0C$.
2. Partes de la pared completamente protegidas de los rayos directos del sol por partes del propio edificio, por pantallas solares, edificios adyacentes, o por las características del paisaje tales como colinas o farallones. Si la pared es sombreada todo el día a través del año.
3. Paredes sombreadas con un factor de proyección horizontal (FPH) mayor o igual a 0,2 en paredes orientadas al norte y mayor de 0,3 en todas las demás orientaciones

Los requisitos básicos para ventilación natural de confort se presentan por:

- ✓ El área libre total mínima para ventilación natural en cada espacio estará entre 15-20 % del área de piso.

- ✓ Como mínimo deben disponerse 2 aberturas operables al exterior en paredes adyacentes u opuestas.
- ✓ En una sola pared no debe colocarse más del 70% del área libre total para la ventilación.
- ✓ Para espacios con una sola pared al exterior se recomienda disponer dos ventanas a cada lado de una pantalla vertical perpendicular a la ventana, pero no debe situarse más del 70% del área libre total a un solo lado de la pantalla.
- ✓ Es recomendable que las puertas interiores tengan persianas (u otro tipo de abertura) o un dispositivo que permita mantenerlas abiertas. Este requerimiento no se aplicará en las puertas de entrada de las habitaciones de huéspedes de hoteles y moteles.
- ✓ Los espacios provistos de instalación para ventiladores de techo tendrán una salida, como mínimo, por cada 36 m^2 de área de piso. Cuando se requiera más de una salida en un espacio, las salidas deben ser distribuidas uniformemente a través del local. Deberá instalarse el control del ventilador en un lugar asequible.

("Edificaciones. Requisitos de diseño para la eficiencia energética. Parte 1:Envolvente del edificio.," 2002)

I.2.1 Calificación y certificación energética de edificios.

La calificación energética de un edificio es la eficiencia energética de éste, que se determina de acuerdo a una metodología de cálculo y se expresa con indicadores energéticos mediante la etiqueta de eficiencia energética.

La certificación de eficiencia energética del edificio es el proceso por el que se verifica la conformidad de la calificación de eficiencia energética obtenida por el proyecto con la del edificio terminado, y que conduce a la expedición del certificado de eficiencia energética terminado. "El certificado de eficiencia energética de un edificio deberá incluir valores de referencia tales como la normativa vigente y valoraciones comparativas, con el fin de que los consumidores pueden comparar y evaluar la eficiencia energética del edificio".(Martínez, 2008)

Un método de certificación de edificaciones es el dado por CALENER (Calificación Energética), siendo la herramienta oficial para determinar el nivel de eficiencia energética correspondiente a un edificio.(Vila, 2007)

Este método certifica mediante una etiqueta de eficiencia energética ya que asigna a cada edificio una clase energética (A muy eficientes, G poco eficientes) según se representa en la Figura I.1

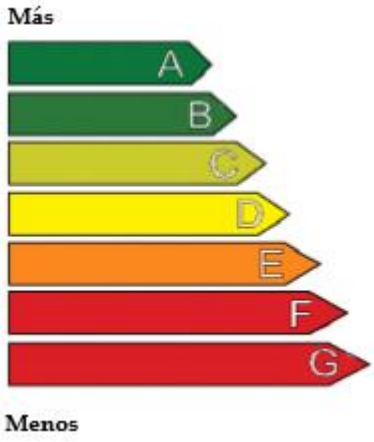


Figura: I.1 Etiqueta que representa la eficiencia energética de edificios desde Clase A (muy eficientes) hasta G (poco eficientes). Fuente:(Martínez, 2008)

I.2.2 Medidas de ahorro en edificaciones.

Han sido varios los intentos del hombre por dar solución a la explotación irracional de los combustibles fósiles. Se han dado hechos concretos: las industrias fabrican sus productos consumiendo menos energía, los aviones y automóviles consumen menos combustibles por kilómetros recorridos y se economiza en la calefacción de las viviendas, medidas encaminadas a promover el ahorro de energía a raíz de la crisis energética mundial. Cálculos revelan que desde la década del setenta y hasta el año 2010 se ha reducido en un 20% el consumo de energía en países desarrollados.(Jiménez, 2011)

Sin embargo, en los países en desarrollo, aunque el consumo de energía por persona es mucho menor que en los países desarrollados, la eficiencia en el uso de energía no mejora, principalmente por la sobreexplotación de los recursos

naturales, el alto índice de crecimiento poblacional, la falta de financiamiento, y el éxodo rural, que provoca el desarrollo desmedido y anárquico de las ciudades.

La primera opción que debe aplicarse para mejorar la eficiencia energética, es organizar y entrenar adecuada y continuamente al recurso humano, para que sea este el que sostenga en el tiempo la óptima utilización de la energía. Con recursos humanos capacitados, la inversión en tecnología se aprovechará de manera eficiente, eliminando desperdicio de tiempo, recursos y esfuerzos. Actualmente el ahorro de energía se enfrenta en numerosos casos, al no contar con un sistema de gestión energética competitivo, a la adopción de medidas aisladas que no garantizan el mejoramiento continuo de la eficiencia energética. Muchas de las actividades que se realizan orientadas al ahorro de energía son acciones reactivas a las señales de precios y no se conciben con la filosofía de mejoramiento continuo de la eficiencia energética.(Plaza, 2013)

Un desarrollo sostenible debe buscar soluciones a estos problemas. Con objeto de potenciar y fomentar el uso más racional de la energía en instalaciones térmicas de los edificios, normalmente destinadas a proporcionar de forma segura y eficiente los servicios de climatización necesarios, para atender los requisitos de bienestar térmico y de calidad del aire interior, hay que incorporar nuevos avances técnicos compatibles con las exigencias energéticas y medioambientales actuales, mejorando el rendimiento de los equipos y sistemas.(Parra, 2011)

Existen diferentes vías para conseguir un ahorro de energía en los edificios, como son:

1) Disminuir la demanda de energía en los edificios.
2) Sustituir las fuentes de energía convencionales por energías renovables (solar térmica, fotovoltaica, biomasa o geotérmica).
3) Utilizar sistemas y equipos térmicos más eficientes.
4) La recuperación de energía residual y el enfriamiento gratuito.

Por otra parte, (Cabrera, 2015) demuestra que, a partir de la incorporación de algún elemento de protección solar empleado a la fachada elegida, ya sea a partir de las dimensiones de las ventanas existentes y su forma de apertura, este

elemento a instalar de protección solar que está dado en función del material de la fachada, permitió la reducción de la carga térmica en la hora más crítica (11.00 a.m.) de 17,6 kW (5 TR) a 3,4 kW, (0.97 TR).

I.3 Definición de carga térmica:

La carga térmica o carga de enfriamiento, es la cantidad de energía que se requiere vencer en un área para mantener determinadas condiciones de temperatura y humedad para una aplicación específica (ej. Confort humano). Es la cantidad de calor que se retira de un espacio definido, se expresa en BTU, la unidad utilizada comercialmente relaciona unidad de tiempo, BTU/h.(Prado, 2006) En nuestro país se utiliza el Sistema Internacional de Unidades (SI), expresándose en kW.

I.3.1 Aspectos importantes en el cálculo de las cargas térmicas.

En la determinación de la carga térmica se debe tener en cuenta un número de elementos importantes que intervienen significativamente en el grado de exactitud del resultado, siendo estos relacionados de manera general por:

- Los procesos térmicos de transmisión que aparecen en un edificio. Se combinan los tres mecanismos de transmisión de calor (conducción, convección y radiación).
- La gran variedad de materiales implicados en los fenómenos térmicos, cada uno de ellos con sus propiedades termo-físicas.
- Las relaciones geométricas, a menudo complejas, entre los espacios de los edificios.
- Los elementos que generan calor en un edificio son variables en el tiempo y además no varían simultáneamente.
- El almacenamiento de calor en los componentes de la edificación hace que la transmisión de calor sea más veces transitorias que estacionaria.

I.3.2 Cálculo de carga térmica en edificios.

Es el cálculo de la ganancia de calor en un edificio que se da a través de paredes, techos, ventanas, suelos, etc. Así como también las ganancias por radiación en

ventanas, infiltración en puertas y ventanas, ganancias de calor internas por personas, equipos, luces, etc.

I.3.2.1 Condiciones de diseño.

Los cálculos de carga térmica de enfriamiento se basan en general sobre las condiciones de diseño, interiores y exteriores de temperatura y humedad. Las condiciones interiores deben ser tales que brinden confort suficiente a las personas y/o cumplan alguna exigencia de los equipos. Las condiciones exteriores de diseño se basan en máximos razonables, a partir de registros de clima.

I.3.2.2 Ganancias de calor en recintos.

Los componentes que contribuyen a la ganancia de calor en el recinto se listan y describen a continuación:

- Conducción a través de paredes, techo y ventanas al exterior.
- Conducción a través de divisiones internas, cielos rasos y pisos.
- Radiación solar a través de vidrios.
- Alumbrado.
- Personas.
- Equipos.
- Infiltración del aire a través de aberturas.

I.3.2.3 Ganancias de calor internas y externas.

De los componentes anteriormente mencionados sobre las cargas térmicas, algunos proceden de fuentes externas y otros de fuentes internas.

Son ganancias de calor externas:

- Conducción a través de paredes, techo y vidrios al exterior.
- Conducción a través de divisiones internas, cielos rasos y pisos.
- Radiación solar a través de vidrios.

Son ganancias de calor internas:

- Alumbrado.

- Personas.
- Equipos.

I.3.2.4 Ganancias de calor sensible y latente.

Las ganancias de calor sensible ocasionan un aumento de temperatura del aire, mientras que las ganancias de calor latente se deben a la adición de vapor de aire y por lo tanto aumentan la humedad.

Son ganancias de calor sensible:

- Conducción a través de paredes, techo y vidrios al exterior.
- Conducción a través de divisiones internas, cielos rasos y pisos.
- Radiación solar a través de vidrios.
- Alumbrado.

El resto de las ganancias de calor son en parte sensibles y en parte latentes; la ganancia de calor por equipos puede entrar en cualquiera de las categorías o en ambas, dependiendo del tipo de equipos.

I.4 Métodos para la determinación de la carga de enfriamiento.

A través de años de trabajo, diversas compañías y organizaciones han evaluado múltiples factores requeridos para determinar las cargas de enfriamiento en diversas aplicaciones. Cuando se utilizan estos factores para el cálculo de cargas en espacios y edificios, lo importante es aplicar un buen criterio para desarrollar algún procedimiento definido.

Para realizar el estimado de la carga de enfriamiento requerida con la mayor exactitud posible en espacios y edificios, las siguientes condiciones son de las más importantes para evaluar:

- Datos atmosféricos del sitio.
- La característica de la edificación, dimensiones físicas.
- La orientación del edificio, la dirección de las paredes del espacio a acondicionar.

- El momento del día en que la carga llega a su pico.
- Espesor y características de los aislamientos.
- La cantidad de sombra en los vidrios.
- Concentración de personal en el local.
- Las fuentes de calor internas.
- La cantidad de ventilación requerida.

Los procesos térmicos de transferencia de calor que aparecen en un sistema, parten de la combinación de los tres mecanismos de transmisión de calor y la amplia variedad de materiales involucrados, cada uno de ellos con sus propiedades termo-físicas (capacitancias y resistencias). El cálculo de la carga térmica de una instalación de aire acondicionado consiste en determinar aportes de calor que deben extraerse a fin de obtener la temperatura y humedad de proyecto en el local a enfriar.

Importancia por la cual los sistemas deben ser evaluados rigurosamente, teniendo en cuenta las relaciones geométricas, ganancias de calor, el almacenamiento de energía y la relación entre los fenómenos térmicos. Causas que propician un complejo desarrollo de la técnica utilizada en el cálculo térmico de sistemas de climatización.

Para dimensionar las instalaciones deben realizarse dos cálculos diferenciados, por un lado, el máximo correspondiente a cada local, con lo que se definen los equipos terminales de cada uno de ellos, y por otro la potencia máxima conjunta, con la que se seleccionan los equipos de producción de frío.

Se reconoce internacionalmente la vigencia de los siguientes métodos de cálculo de cargas térmicas normalizados para seleccionar la capacidad de los equipos de aire acondicionado.("ASHRAE," 2004)

I.4.1 Método de «Función de transferencia» (TMF).

Es uno de los procedimientos más utilizado y tiene como fundamento estimar las cargas hora por hora lo que predice en alguna medida las condiciones del espacio interior. Esto debe ser apoyado con programas de control y de operación. El

mismo es aplicado para el cálculo de flujo unidimensional de transferencia de calor en paredes y techos soleados.

I.4.2 Método de «Cálculo de cargas por temperatura diferencial y factores de carga de enfriamiento» (CLTD/CLF).

Es el método que debe ser aplicado al considerarse como la primera alternativa de procedimiento el cálculo manual y computarizado. Resulta simplificado, por utilizar el coeficiente global de transferencia de calor para calcular la carga de enfriamiento para techos y paredes, presentando resultados satisfactorios por lo que es adecuado para cálculos ingenieriles. Así, la ecuación básica para carga de enfriamiento en superficies exteriores es:

$$q = K * A\ (CLTD)$$

Donde:

K: Coeficiente global de transferencia de calor.

A: Área de transferencia de calor.

CLTD: Diferencia de temperaturas.

En la actualidad los valores de K están tabulados en la literatura especializada.

I.4.3 Método de «Valores de temperatura diferencial total equivalente y tiempo promedio» (TETD/TA).

Este procedimiento es recomendado para usuarios experimentados. El procedimiento aplicado es similar al método TMF estimando la carga horaria y además el diferencial de temperaturas en el tiempo. Es muy importante tener en cuenta la diferencia total de temperaturas equivalentes, que se aplican a paredes y techos; efectos de la radiación solar, efecto de retardo o efecto de almacenamiento y diferencias en la temperatura del aire.

Esta diferencia de temperatura se produce realmente por la acción simultánea de la conducción, radiación y convección.

I.4.4 Cálculo de cargas térmicas por balance de calor».

Debido a la existencia de diferentes métodos de cálculo de cargas térmicas la ASHRAE ha desarrollado el método de balance de calor. Este es científicamente

riguroso y se basa en la aplicación del primer principio de la termodinámica. El cálculo de la carga térmica se realiza utilizando datos de diseño tabulados su exactitud se incrementa siempre que se realiza la mayor cantidad de mediciones experimentales tanto en interiores como en exteriores.

I.4.5 Cálculo de la carga térmica con TRNSYS-16.

Aunque actualmente existen varios programas para el cálculo de cargas térmicas como son el Saunier Duval, Energy^{+}, Hourly Analysis Program (HAP) de Carrier, sobresale entre ellos el TRNSYS, el cual es producido por el Laboratorio de Energía Solar de la Universidad de Wisconsin – Madison es un software muy completo y extensible en ambientes de simulaciones con sistemas transitorios, incluye la construcción y organización de varias zonas térmicas (multi-zone). Es usado por ingenieros e investigadores científicos para validar nuevos conceptos en el campo de la energía, desde un sistema doméstico simple de agua caliente hasta diseños y simulaciones de edificaciones con sus equipamientos. Incluye estrategias de control, comportamiento de ocupantes, sistemas alternativos de energía (Eólica, Solar, Fotovoltaica, Sistemas de Hidrogeno), etc.

Dicho software es utilizado para el análisis de energía y simulación de carga térmica en edificios. El programa trabaja en base a una descripción del edificio entrada por el usuario consistente en datos tales como: orientación física, construcción física, accesorios, etc. A partir de esta información es capaz de calcular, entre otras cosas la carga térmica de calentamiento y enfriamiento necesarios para mantener unas condiciones ambientales predeterminadas al interior del edificio, consumo de energía, y otros detalles que son necesarios para verificar que la simulación se desarrolla como debería para el edificio considerado.*(TRNSYS 16 Manual, 2016)*

I.4.5.1 Características del Software TRNSYS-16.

- Técnica de solución basada en un balance de energía: la carga térmica es el resultado de un cálculo simultáneo de los efectos convectivos y radiantes tanto en la superficie interior como en la exterior durante "cada paso de tiempo."

- Calcula la transferencia de calor por conducción a través de los elementos del edificio tales como paredes, techos, pisos, etc. Para esto, usa funciones de transferencia por conducción.
- Modelos de confort térmicos basados en la actividad, temperatura de bulbo seco interior, humedad, etc.
- Cálculos avanzados de ventanajes que incluyen, ventanas de paso de luz controlable, donde se mide el balance de energía capa por capa, que permite asignar correctamente la energía solar absorbida por dicha ventana. TRNSYS-16 tiene una librería para varios tipos de ventanas disponibles comercialmente.

Pese a lo anterior, TRNSYS-16 no es una interface para usuarios ya que las salidas se hacen en archivos de texto, a menos que se tenga una interface especialmente creada que permita el fácil ingreso, y la salida de resultados en un formato y organización agradable, práctica y útil al usuario, por estas razones, el software va dirigido a ingenieros de diseño o arquitectos que desean dimensionar apropiadamente un sistema de aire acondicionado para optimizar el desempeño energético.

La Figura I.2 muestra el grado de precisión de estos métodos de cálculos mencionados, en función del nivel de complejidad, donde están presentes tanto los métodos de cálculos analíticos como los computacionales.

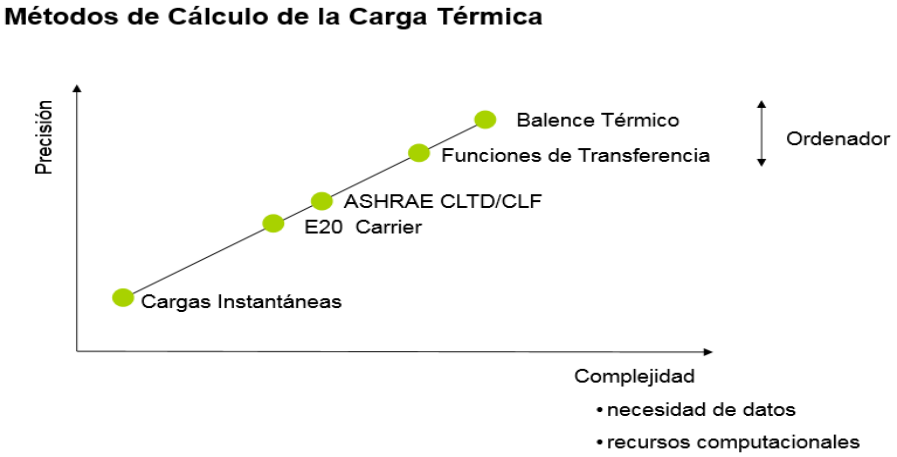


Figura I.2 Nivel de precisión de los métodos de cálculos en función del grado de complejidad. Fuente:(Renedo, 2014)

I.5 Descripción de los sistemas de climatización.

El acondicionamiento de aire "*es un proceso de tratamiento del aire ambiente que permite regular en un local cerrado la temperatura del mismo (calefacción o refrigeración), la humedad, la limpieza y el movimiento del aire"("Información y consejo a los consumidores," 2014).* Los equipamientos de climatización se pueden clasificar en dos grandes grupos:(Tamayo, 2015)

- Expansión Directa.
- Expansión Indirecta (todo agua).

I.5.1 Sistemas de acondicionamiento de aire por expansión directa.

En los sistemas de expansión directa el proceso de refrigeración se lleva a cabo mediante un compresor que succiona vapor refrigerante a baja presión y temperatura de la zona fría (evaporador) en el cual se realiza el intercambio directo de calor (aire-refrigerante) y lo comprime y envía a alta presión y temperatura hacia la zona caliente (condensador), ubicado en el ambiente exterior para rechazar en ese medio el calor del evaporador (Q) más el trabajo del compresor (W). Finalmente, el refrigerante líquido (condensado) a alta presión y temperatura se expande a través del dispositivo de expansión hasta la baja presión y temperatura del evaporador, repitiéndose a continuación el ciclo de refrigeración nuevamente Figura I.3. (Tamayo, 2015)

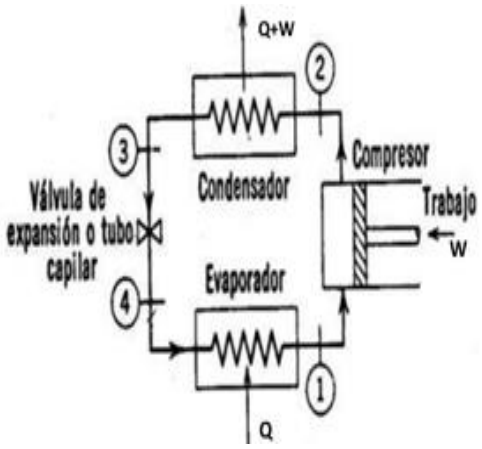


Figura I.3: Componentes del ciclo o proceso de refrigeración.

La representación del ciclo estándar de refrigeración se muestra en el diagrama Presión-Entalpía de la Figura I.4 Cada uno de los procesos dados se describen por:

1-2 Compresión adiabática y reversible, desde la condición de vapor saturado hasta la presión del condensador.

2-3 Cesión reversible de calor a presión constante en la zona de recalentamiento y posterior condensación.

3-4 Expansión reversible a entalpía constante desde líquido saturado hasta la presión del evaporador.

4-1 Adición reversible de calor a presión constante durante la evaporación del vapor saturado.

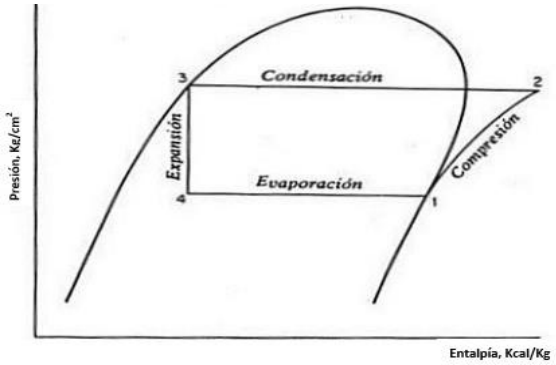


Fig. I.4 Diagrama presión-entalpía (p-h).

El ciclo real de compresión de vapor no es exactamente igual al ciclo estándar, en la práctica ocurren los siguientes cambios fundamentales:

a) Sobrecalentamiento del vapor en la succión del compresor.

b) Subenfriamiento del líquido a la salida del condensador.

c) Caída de presión del refrigerante al circular por las líneas.

Entre los equipos de climatización de expansión directa que se pueden encontrar en el sector residencial y de oficinas es posible citar los sistemas compactos integrados, las unidades portátiles o los Split.(Gomis, 2015)

I.5.2 Sistemas de acondicionamiento de aire por expansión indirecta (todo agua).

Los sistemas operativos separados, de expansión indirecta, utilizan como fluido termodinámico “el agua” dotados con una unidad enfriadora de agua que transporta el fluido frío a terminales denominadas fan-coil. Por ellos circulan agua fría y/o caliente, desde el mismo sistema mediante la inversión del ciclo o a través de un serpentín secundario separado alimentado por calderas.

Cada unidad terminal fan-coil está constituida por un gabinete que contiene la toma de aire, filtro, serpentín y ventiladores centrífugos, que son de doble entrada montados sobre un eje común a un motor eléctrico que distribuye el aire a través de una reja horizontal o vertical sin utilizar conductos, por eso se denomina sistema todo agua.(Barrio, 2010)

Estos equipos permiten introducir cierta cantidad de aire exterior a través de una pequeña abertura en la pared hacia un pleno de mezcla en la parte inferior, este aire se mezcla con el aire de retorno, pasa por un filtro y se enfría o calienta para ser inyectada al ambiente.

I.6 Aires acondicionados separados o Split.

Los sistemas separados o *Split system*[1] son la evolución del aire tipo ventana. Estos se diferencian en que los split *“están repartidos o divididos en dos muebles, uno exterior y otro interior, con la idea de separar en el circuito de refrigeración la zona de evaporación en el interior de la zona de condensación en el exterior. Ambas unidades van unidas por tuberías de cobre para la conducción del gas refrigerante"*.(Zambrano, 2009)

Figura I.5 Aire acondicionado separado tipo Split.

[1]Split system: En español sistemas separados, comúnmente conocido Split

Los aires acondicionados tipo Split tienen a su favor que son más económicos, la variedad en sus capacidades, que producen poco ruido, son estéticamente aceptables y la unidad exterior se puede instalar hasta 25 metros de distancia de la unidad interior. Tienen en contra que la instalación es algo complicada encareciendo el coste total. Aun así, son los sistemas más utilizados actualmente en aplicaciones de confort tales como:

- Edificios residenciales incluyendo viviendas unifamiliares, y pequeños edificios de apartamentos.
- Los edificios que se construyen para el comercio, incluidas las oficinas, centros comerciales, restaurantes, etc.
- Edificios institucionales incluyendo hospitales, gubernamentales, académicos, etc.
- Espacios industriales donde se desea el confort térmico de los trabajadores.

En el epígrafe I.6.1 se presentan los datos técnicos de los aires acondicionados que se está instalando en las oficinas de la empresa Copextel Cienfuegos.

I.6.1 Datos técnicos del aire acondicionado Airwell AWAU-YMF024-H12.

El aire acondicionado Airwell AWAU-YMF024-H12 posee una amplia aceptación entre sus usuarios debido a sus prestaciones. Tiene un consumo relativamente bajo en su uso normal, posee mando a distancia y ofrece una garantía muy amplia de 3 años ante cualquier problema. Su precio fluctúa desde los 320.00 € hasta los 440.00 €

Figura I.6 Aire acondicionado Airwell AWAU-YMF024-H12. Fuente: (Elaboración propia.)

La descripción de este equipo y los datos técnicos se muestran en la Tabla I.1:

Tabla I.1: Características técnicas del Aire acondicionado Airwell AWAU-YMF024-H12. Fuente: (Elaboración propia.)

Denominación	**Parámetros**
Sistema	Split
Tipo	Pared
Modelo	YMF024
Compresor	Rotatorio
Capacidad	24000 BTU/h
Refrigerante	R-410a

I.6 Indicadores Energéticos fundamentales.

Los sistemas de compresión de vapor en su totalidad se diseñan bajo condiciones preestablecidas, para las cuales su funcionamiento debe ser eficiente o al menos óptimo. Para esto cada sistema es valorado rigurosamente con el objetivo de alcanzar valores de consumos bajos y parámetros que sean lo más eficiente posible. Cada sistema en función de sus características propias es evaluado a partir de los diferentes parámetros que cuantifican la calidad de su operación. Por ejemplo: En dependencia del refrigerante que utiliza se evalúa y se determina su efecto para establecer la capacidad de refrigeración, se cuantifica el trabajo realizado por el compresor para determinar la potencia teórica y real demandada. En función de la capacidad volumétrica, se establece la relación de compresión. Se muestra cuantitativamente el calor rechazado y absorbido, para hallar el coeficiente de comportamiento COP, EER, SEER, etc.(Rodríguez, 2009)

En resumen, estos sistemas de compresión de vapor se califican a partir de su eficiencia energética, partiendo de la carga frigorífica que puede vencer el sistema

en función del consumo de potencia eléctrica. Esto se puede verificar además por el índice de consumo, que, reflejando la potencia consumida en kW por cada tonelada de refrigeración, (Alfageme, 2013). En la práctica los indicadores más frecuentemente empleados son:

Coeficiente de Comportamiento (COP): Es el cociente entre la potencia calorífica total disipada y la potencia eléctrica total consumida, expresada en unidades de energía consistentes. Tiene un valor mayor a la unidad puesto que el calor disipado al exterior es equivalente a la suma del calor extraído más el calor generado por el trabajo realizado en el sistema o consumo de energía. Teóricamente se define el Ciclo de Carnot como el proceso que puede alcanzar la mayor eficiencia.(Gil, 2013)

Relación Estacional de la Eficiencia Energética - Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER): Definido por el Air Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute en su estándar ARI 210/240 del 2008 para el coeficiente de comportamiento estacional de un aire acondicionado o una bomba de calor. El SEER es la cantidad de unidades de BTU de enfriamiento que se generan durante un período o estación del año, dividido por el consumo total de energía eléctrica expresado en Watt-horas que se ha empleado en igual período.(Zabalza, 2008).

SEER>1. Actualmente las normativas establecen valores SEER cercanos a 20.

Seasonal Coefficient of Performance (SCOP): Es el coeficiente global de rendimiento de la unidad, representativo del uso en calefacción (el valor de SCOP se refiere a una temporada de calefacción designada), calculado como la demanda anual de calefacción de referencia dividida por el consumo anual de electricidad para la calefacción.

El SEER y SCOP tendrán en cuenta las condiciones de diseño de referencia de las horas de operación por modo de operación correspondiente, y el SCOP se referirá a la temporada de calefacción “promedio". La Fig. l.7 representa el comportamiento de los indicadores SEER y SCOP en función del tipo de clase de acuerdo a su eficiencia energética.

Energy Efficiency Class	SEER	SCOP
A+++	SEER ≥ 8.50	SCOP ≥ 5.10
A++	6.10 ≤ SEER < 8.50	4.60 ≤ SCOP < 5.10
A+	5.60 ≤ SEER < 6.10	4.00 ≤ SCOP < 4.60
A	5.10 ≤ SEER < 5.60	3.40 ≤ SCOP < 4.00
B	4.60 ≤ SEER < 5.10	3.10 ≤ SCOP < 3.40
C	4.10 ≤ SEER < 4.60	2.80 ≤ SCOP < 3.10
D	3.60 ≤ SEER < 4.10	2.50 ≤ SCOP < 2.80
E	3.10 ≤ SEER < 3.60	2.20 ≤ SCOP < 2.50
F	2.60 ≤ SEER < 3.10	1.90 ≤ SCOP < 2.20
G	SEER < 2.60	SCOP < 1.90

Figura I.7: Comportamiento de los indicadores SEER y SCOP en función del tipo de clase.("Commission Delegated Regulation (EU)," 2011)

Energy Efficiency Ratio (EER): Es la relación entre las unidades de energía de enfriamiento en BTU/h y la potencia instalada en el sistema en Watt para un punto instantáneo de operación. Este coeficiente también es mayor que la unidad y mide la eficiencia energética del sistema. Existe una relación entre EER y SEER para los sistemas centrales residenciales que se muestra a continuación: EER=0,85 X SEER.(Díaz, 2001)

Según el valor, existen maneras de categorizar al equipo en función del consumo de energía para realizar el mismo trabajo. La Fig. I.8 representa la categorización de estos equipos.

	Split&Multisplit	Compactos	Portátiles
A	EER>3,20	EER>3,00	EER>2,60
B	3,20≥EER>3,00	3,00≥EER>2,80	2,60≥EER>2,40
C	3,00≥EER>2,80	2,80≥EER>2,60	2,40≥EER>2,20
D	2,80≥EER>2,60	2,60≥EER>2,40	2,20≥EER>2,00
E	2,60≥EER>2,40	2,40≥EER>2,20	2,00≥EER>1,80
F	2,40≥EER>2,20	2,20≥EER>2,00	1,80≥EER>1,60
G	2,20≥EER	2,00≥EER	1,60≥EER

Figura I.8: Categorización en función del consumo de energía.("Eficiencia energética de aires acondicionados," 2014)

Conclusiones parciales del capítulo

1. A partir del análisis bibliográfico se presentaron los distintos métodos para el cálculo de la carga de enfriamiento en las edificaciones donde los métodos de funciones de transferencia y balance de calor son los más precisos a pesar de necesitar de apoyo informático.
2. Se presentó además las características del software profesional TRNSYS como una herramienta informática capaz de determinar la carga de enfriamiento de manera transitoria.
3. Se describieron los sistemas de climatización existentes, específicamente los del tipo de expansión directa debido a la presencia en la edificación objeto de estudio.

Capítulo II: Metodologías para el cálculo de cargas térmicas. Materiales y métodos para su ejecución.

Introducción al capítulo

En este capítulo se exponen los métodos de cálculo de cargas térmicas, el primero de ellos es el Programa de Análisis Horario (HAP) de Carrier por sus siglas en inglés, el segundo, el método analítico a partir del balance térmico, y finalmente la metodología presentada por TRNSYS, este último utilizado además como patrón de comparación en el desarrollo del cálculo para los locales objetos de estudio.

II.1 Métodos para la determinación de la carga de enfriamiento

Los cálculos de cargas son críticos tanto para nuevos proyectos como para rehabilitaciones, pues asegurarán tanto el confort como una operación eficiente, además de prevenir problemas debido a capacidades insuficientes o el costoso sobredimensionamiento de equipos. Si tenemos en cuenta que la eficiencia de los equipos sobredimensionados puede caer hasta un 50% debido a operación en carga parcial y a ciclos excesivamente cortos vemos la razón del por qué estudios como este cobran vital importancia si se desea disminuir el consumo energético.

Los cálculos de carga son necesarios también para evaluar la adecuación de equipos existentes y/o especificar el reemplazamiento de equipos. La sustitución de equipos basándose solamente en la experiencia es común en nuestro país, pero ello puede resultar en una selección incorrecta y un uso ineficiente de la energía. Hacer un cálculo adecuado de las cargas térmicas permitirá mantener las condiciones ambientales requeridas en el interior de un recinto independientemente de cuales sean las condiciones en el exterior. Este es, en esencia, el objetivo de cualquier sistema de climatización o refrigeración.(Alfageme, 2013)

Existen distintos métodos para determinar la carga térmica necesaria en una instalación. Por solo citar algunos, está el Método de Cargas Instantáneas, el Método de Cálculo de Cargas por Temperatura Diferencial y Factores de Carga de Enfriamiento o el Método del Balance Térmico. Existe softwares que implementan

algunos de estos métodos tales como el TRNSYS, el HAP Carrier, el LIDER y CE3. Para el caso de estudio se utilizará en la determinación de las cargas térmicas en los locales, la metodología a partir del balance térmico en función de las cargas por temperatura diferencial en correspondencia con el nivel de exactitud que este presenta, además de la comprobación por el software TRNSYS, debido al carácter dinámico que contempla en los resultados de las simulaciones.

II.2 Carga de enfriamiento. Especificaciones

II.2.1 Conducción a través de la estructura exterior (paredes, techo y vidrios)

Las ganancias de calor por conducción a través de paredes, techo y vidrios que dan al exterior se calculan mediante la Ec.II.1 de transferencia de calor:

$$Q = U * A * \Delta T \qquad \text{(Ec. II.1)}$$

Donde:

Q = Ganancia neta por conducción a través de paredes, techos, pisos o ventanas (W)

U = Coeficiente general de transferencia calor. ($W/m^2\ ^0C$)

A = Área del techo, pared, ventanas, puertas. (m^2)

ΔT = Diferencia de temperatura. (^0C)

Aquí cabe mencionar que el cálculo no es tan sencillo, ya que esta ecuación, así como está, da la ganancia instantánea de calor por conducción e incluye el componente que se almacena en la estructura, pero no que se está transfiriendo al aire en ese momento. Se han desarrollado formas de cálculo que permiten considerar el efecto del almacenamiento térmico, lo que se hace corregir la ΔT de la ecuación por una diferencia de temperatura tal que ya tenga considerado el efecto del almacenamiento en los materiales de construcción. Para este fin varios autores han desarrollado tablas que permiten hacer esa corrección, ellas están dadas en el epígrafe II.2.2.

II.2.2 Radiación solar a través de vidrios

La energía radiante del sol pasa a través de materiales transparentes como el vidrio y se transforma en ganancia de calor en el recinto. El valor de este componente de la ganancia de calor varía con la hora, orientación, las sombras y el efecto de almacenamiento. Se han desarrollado tablas y ecuaciones sencillas para considerar este efecto en la práctica.

En la tabla II.1 se presentan los factores de transparencia para diferentes tipos de vidrios especiales.

Tabla: II.1 Tipos de vidrios especiales y sus factores de transferencia. Fuente:("Edificaciones. Requisitos de diseño para la eficiencia energética. Parte 1:Envolvente del edificio.," 2002)

Tipo de vidrio (6 mm)	**Coeficiente de sombra**
Incoloro	0.97
De color	0.89
De color filtrante (verde-bronce-gris)	0.65-0.67-0.69
De control solar cara exterior reflectante	0.39-0.57
De control solar cara interior reflectante	0.46-0.62
De control solar y baja emisividad	0.18-0.48
Doble acristalamiento aislante (6-6 mm)	0.82-0.54

II.2.3 Alumbrado

Las luces generan calor, por lo que debe considerarse su contribución a la carga de enfriamiento del edificio. En la práctica es un cálculo simple que se basa principalmente en la potencia de la fuente de la luz y la eficiencia de la misma o una estimación de ésta. Sin embargo, según la aplicación, algunos autores toman también en cuenta el efecto de almacenamiento que se da por las luces.

Figura II.1 Lámpara fluorescente con reflectores.

II.2.4 Equipo

La ganancia de calor debido a equipo es otra carga térmica que debe ser considerada, en la práctica se suelen utilizar los datos de placa del equipo, particularmente la potencia de trabajo y la eficiencia real o asumida.

II.2.5 Ganancia de calor por personas

Esta ganancia de calor se compone de dos partes: el calor sensible y el calor latente que resulta de la transpiración. Algo del calor sensible se puede absorber por efecto de almacenamiento de calor, pero no el calor latente. El cuerpo pierde calor sensible por radiación, convección y conducción, y libera humedad en el proceso de respiración y sudoración. (Prado, 2006)

La velocidad de ganancia de calor debida a las personas depende de su actividad física. Existen tablas que dan un estimado promedio de calor que liberan las personas según su actividad (Anexo 1).

II.2.6 Transferencia de calor a los alrededores.

Algo de la ganancia de calor sensible del recinto se transfiere a través de la estructura hacia los alrededores, y nunca aparece como parte de la carga del recinto. Esto constituye un efecto aislado de su almacenamiento (de la estructura)

se debe calcular esa pérdida de calor y corregir las ganancias de calor sensible al recinto por conducción, radiación solar, alumbrado, persona y equipo.

II.3 Método HAP de Carrier

Partiendo de la necesidad de estimarse la carga de enfriamiento de un local para poder dimensionar correctamente la instalación: potencia de los equipos, conductos de aire, tuberías de agua, sistema de control, etc, el HAP Carrier implementa una metodología para la determinación de la carga de enfriamiento en los locales partiendo de un modelo general. En la Figura II.2 se presenta un modelo de datos generales para el cálculo de la carga de enfriamiento.

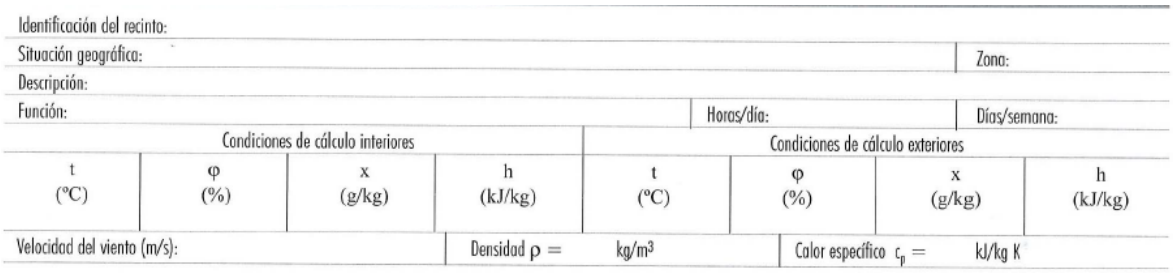


Figura II.2 Modelo de datos generales para la determinación de la carga de enfriamiento.

Fuente:(*CARRIER*, 2009)

Para ello deben seleccionarse las condiciones interiores y exteriores de cálculo Figura II.3, que vienen determinadas por el reglamento o normativa de refrigeración o climatización del país, además se deben de tener en cuenta todas las cargas tanto interiores como exteriores.

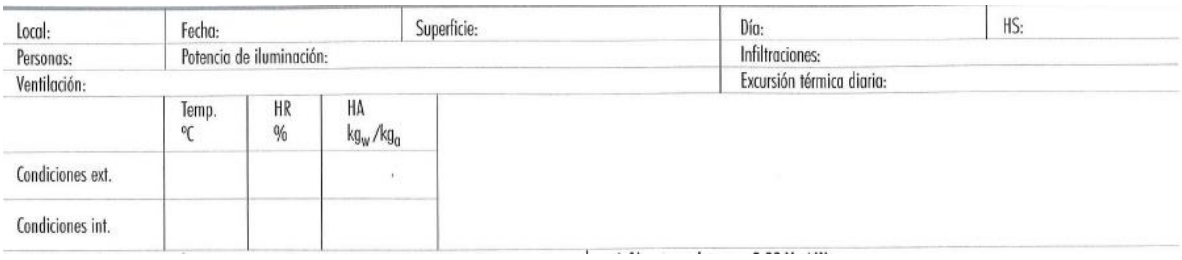


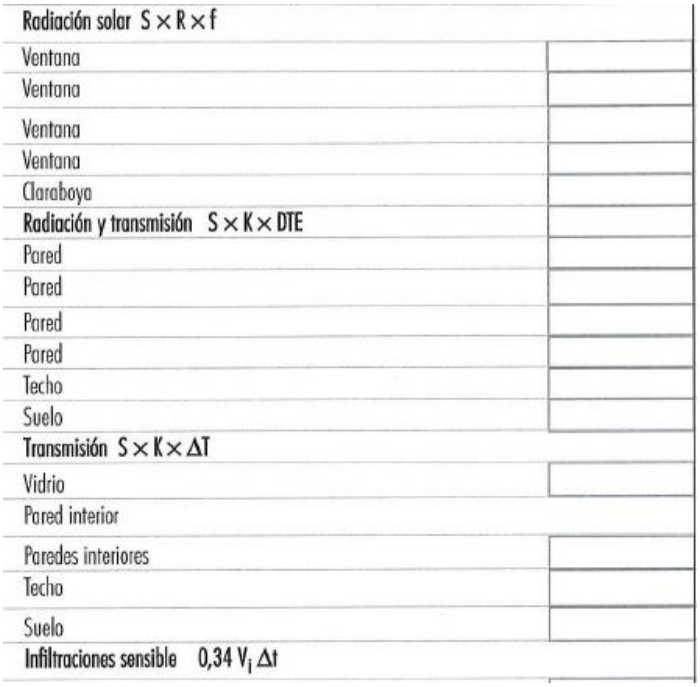
Figura II.3 Especificaciones de las condiciones interiores y exteriores.

Fuente:(*CARRIER*, 2009)

Para HAP Carrier las cargas exteriores consisten en:

1. Radiación solar que entra a través de cerramientos transparentes.
2. Radiación solar sobre cerramientos opacos.
3. Temperatura del aire exterior.
4. Presión del vapor de agua.
5. Viento que sopla contra una pared del edificio.
6. Aire exterior necesario para la ventilación

La Figura II.4 presenta la hoja de cálculo para la determinación de las cargas exteriores



Radiación solar $S \times R \times f$	
Ventana	
Ventana	
Ventana	
Ventana	
Claraboya	
Radiación y transmisión $S \times K \times DTE$	
Pared	
Pared	
Pared	
Pared	
Techo	
Suelo	
Transmisión $S \times K \times \Delta T$	
Vidrio	
Pared interior	
Paredes interiores	
Techo	
Suelo	
Infiltraciones sensible $0{,}34\ V_i\ \Delta t$	

Figura II.4 Modelo para la determinación de las cargas exteriores HAP Carrier.
Fuente:(*CARRIER*, 2009)

Dentro de las fuentes de calor interna se encuentran:

1. Personas
2. Iluminación.
3. Utensilios y herramientas.
4. Aparatos electrónicos y equipos informáticos.
5. Motores eléctricos.
6. Tuberías de conducción de fluidos.

7. Diversas fuentes de calor.

La Figura II.5 muestra la hoja de cálculo para las fuentes de calor internas

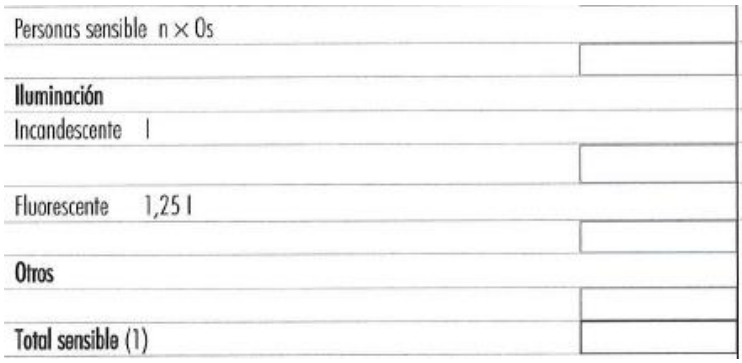


Figura II.5 Modelo para el cálculo de las fuentes de calor internas.

Fuente:(*CARRIER*, 2009)

Resultando determinada la ganancia de calor total del local a partir del modelo presentado en la Figura II.6:

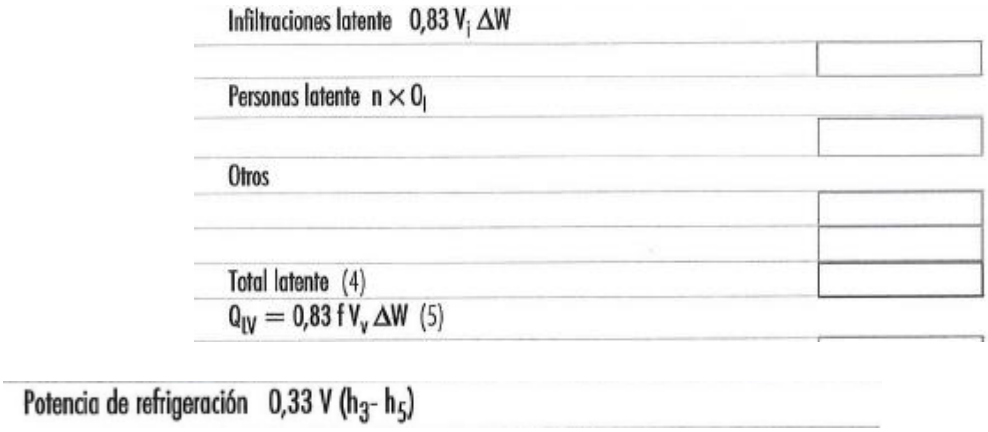


Figura II.6 Modelo para el cálculo de la Potencia de refrigeración.

Fuente:(*CARRIER*, 2009)

II.4 Metodología de cálculo de cargas térmicas a través del balance térmico.

Cuando se habla de carga térmica sobre un edificio se refiere a un fenómeno que tiende a modificar la temperatura interior del aire y su contenido en humedad. En este sentido se puede establecer una primera clasificación de las cargas térmicas según su incidencia:

- Cargas térmicas sensibles: Aquellas que van a originar una variación en la temperatura del aire.
- Cargas térmicas latentes: Las que van a originar una variación en la humedad absoluta del ambiente.

La carga térmica total de refrigeración (Q_{Total}) de un local se obtiene a partir de la Ec.II.2:

$$Q_{Total} = Q_s + Q_l \text{ [W]} \quad \text{(Ec. II.2)}$$

Dónde

Q_s = Carga térmica sensible [W]

Q_l = Carga térmica latente [W]

En el epígrafe II.4.1 están dada las ecuaciones para el cálculo de las cargas térmicas sensible y latente para de esta forma determinar la carga térmica total.

II.4.1 Cálculo de la carga térmica sensible.

Para el cálculo de la carga térmica sensible (Q_s) se utiliza la ecuación II.3:

$$Q_s = Q_{sr} + Q_{str} + Q_{st} + Q_{si} + Q_{sai} \text{ [W]} \quad \text{(Ec. II.3)}$$

Dónde:

Q_{sr} = Carga sensible por la radiación solar a través de las superficies acristaladas. [W]

Q_{str}=Carga sensible por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores. [W]

Q_{st} =Carga sensible por transmisión a través de paredes, techos, suelos, puertas y ventanas interiores [W].

Q_{si} =Carga sensible transmitida por infiltraciones de aire exterior [W].

Q_{sai} = Carga sensible debida a aportaciones internas [W]

II.4.2 Cálculo de la carga térmica por radiación solar a través de cristal "Q_{sr}".

La radiación solar atraviesa las superficies traslúcidas y transparentes e incide sobre las superficies interiores del local, lo que incrementa la temperatura interior. La carga térmica por radiación a través de cristales y superficies traslúcidas (Q_{sr}) se calcula a partir de la ecuación II.4.

$$Q_{sr} = S \cdot R \cdot F \qquad [W] \qquad \text{(Ec. II.4)}$$

Dónde

S = Superficie traslúcida o acristalada expuesta a la radiación [m^2]

R = Radiación solar que atraviesa la superficie correspondiente a la orientación, mes y latitud del lugar considerado [W/m^2].

F = Factor de corrección para radiación solar.

II.4.3 Cálculo de la carga por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores "Q_{str}".

La carga por transmisión y radiación que se transmite a través de las paredes y techos que limitan con el exterior (Q_{str}) se calcula por la ecuación II.5:

$$Q_{str} = k \cdot S \cdot (T_{ec} - T_i) \qquad [W] \qquad \text{(Ec. II.5)}$$

Dónde:

k = Coeficiente de transmisión térmica del cerramiento. [$W/m^2\,^{\circ}C$]

S = Superficie del muro expuesta a la diferencia de temperaturas. [m^2]

T_i = Temperatura interior de diseño del local. [°C]

T_{ec} = Temperatura exterior de cálculo al otro lado del local. [°C]

Algunos valores de k (Coeficiente de conductividad térmica) para algunos materiales de construcción pueden ser consultados en el Anexo 2. Esta tabla fue tomada de la Norma Cubana NC 220-1/2000.

Para obtener el valor de la temperatura exterior de cálculo (T_{ec}) se parte de la llamada temperatura exterior de diseño (T_e). Esta se calcula teniendo en cuenta la

temperatura media del mes más cálido (T_{me}) y la temperatura máxima del mes más cálido ($T_{máx}$) del lugar, a partir de expresión II.6:

$$T_e = 0{,}4 \cdot T_{me} + 0{,}6 \cdot T_{máx}\ [^{\circ}C] \qquad \text{(Ec. II.6)}$$

La temperatura exterior de cálculo (T_{ec}) se calcula finalmente a partir de la temperatura exterior de diseño (T_e) y de la orientación que tenga la instalación que se está considerando, a partir de la tabla II.6:

Tabla II.6 Temperatura exterior de cálculo (T_{ec}). Fuente:(Menjívar, 2006)

Orientación	**Temperatura exterior de cálculo $(\mathbf{Tec})$ en °C**
Norte	$0.6 * \mathrm{Te}$
Sur	Te
Este	$0.8 * \mathrm{Te}$
Oeste	$0.9 * \mathrm{Te}$
Cubierta	$\mathrm{Te} + 12$
Suelo	$(\mathrm{Te} + 15)/2$
Paredes interiores	$\mathrm{Te} * 0.75$

II.4.4 Cálculo de la carga transmitida por infiltraciones de aire exterior "Q_{si}"

La carga transmitida por infiltraciones y ventilación de aire exterior (Q_{si}) se determina según la ecuación II.7:

$$Q_{si} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T \ \ [W] \qquad \text{(Ec. II.7)}$$

Dónde:

V = Caudal de aire infiltrado y de ventilación. [m^3/s]

ρ = Densidad del aire, de valor 1,18 kg/m^3

C_p = Calor específico del aire, de valor 1 012 J/kg°C.

ΔT= Diferencia de temperaturas entre el exterior e interior.

En este punto se debe calcular el caudal de aire infiltrado y de ventilación. La metodología y los cálculos necesarios para la obtención de este parámetro pueden ser consultados en el Anexo 3.

II.4.5 Cálculo de la carga sensible por aportaciones internas "Q_{sai}".

La ganancia de carga sensible debida a las aportaciones internas del local (Q_{sai}) se determina a su vez como suma de los siguientes tipos de cargas que se generan dentro del mismo a partir de la ecuación ll.8:

$$Q_{sai} = Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{se} \quad [W] \qquad \text{(Ec. ll.8)}$$

Dónde:

Q_{sil} = Ganancia interna de carga sensible por la iluminación interior del local. [W].

Q_{sp} = Ganancia interna de carga sensible por los ocupantes del local. [W].

Q_{se} = Ganancia interna de carga sensible por los equipos existentes en el local. [W].

II.4.6 Cálculo de la carga sensible por iluminación "Q_{sil}".

Para el cálculo de la carga térmica sensible aportada por la iluminación interior se considera que la potencia íntegra de las lámparas de iluminación se transformará en calor sensible.

Lámparas incandescentes:

$$Q_{sil,\ incandescente} = n \cdot Pot._{Lámp.\ Incandescente} \qquad \text{(Ec. ll.9)}$$

Lámparas de descarga o fluorescentes:

$$Q_{sil,descarga} = 1{,}25 \cdot n \cdot Pot._{Lámp.descarga} \qquad \text{(Ec. ll.10)}$$

Dónde:

n = Número de lámparas fluorescentes o incandescentes colocadas.

En el caso las lámparas de tipo fluorescente o de descarga, se multiplica la potencia total de todas las lámparas por 1,25 para considerar el consumo complementario de las reactancias. La ganancia de carga sensible por iluminación se obtendrá como:

$$Q_{sil} = Q_{sil,\ incandescente} + Q_{sil,\ descarga} \qquad \text{(Ec. ll.11)}$$

II.4.7 Cálculo de la carga sensible por ocupantes "Q_{sp}".

Para calcular la carga sensible que aporta cada persona (Q_{sp}), es necesario conocer previamente las distintas cargas térmicas que origina:

- Radiación: Debido a que la temperatura media del cuerpo es superior a la de los objetos que le rodean.
- Convección: Ya que la superficie de la piel se encuentra a mayor temperatura del aire que la rodea, creándose pequeñas corrientes de convección que aportan calor al aire.
- Conducción: Originada a partir del contacto del cuerpo con otros elementos que le rodeen.
- Respiración: Origina un aporte de calor por el aire exhalado que se encuentra a mayor temperatura. Aquí se produce también vapor de agua que aumentará la humedad relativa del aire.
- Evaporación cutánea: Este aporte de calor puede ser importante en verano.

La carga por ocupación tiene, por tanto, una componente sensible y otra latente, debido a ésta última, tanto a la respiración como a la transpiración. En la tabla II.7 se indican los valores de calor sensible y latente desprendido por una persona según las diferentes actividades y la temperatura existente en el local.("ASHARE," 1997)

La carga latente por ocupación del local (Q_{lp}) se determina multiplicando la valoración del calor latente emitido por la persona-tipo y por el número de ocupantes previstos para el local.

La expresión para obtener el calor latente de aporte por la ocupación del local sería:

$$Q_{lp} = n \cdot C_{latente,\ persona} \quad [W] \qquad \text{(Ec. II.12)}$$

Donde:

n = Número de personas que ocupan el local.

$C_{latente,\ persona}$ = Calor latente por persona y actividad que realiza

Tabla (ll.7) Calor latente y sensible desprendido por persona en kcal/h. Fuente:(Barroso, 2013)

Actividad realizada	28 ºC		27 ºC		26 ºC		24 ºC	
	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente
Sentado en reposo (Escuela)	45	45	50	40	55	35	60	30
Sentado trabajo ligero (Institutos)	45	55	50	50	55	45	60	40
Oficinas o actividad ligera	45	70	50	65	55	60	60	50
Persona de pie (Tiendas)	45	70	50	75	55	70	65	60
Persona que pasea (Bancos)	45	80	50	75	55	70	65	60
Trabajo sedentario	50	90	55	85	60	80	70	70
Trabajo ligero de taller	50	140	55	135	60	130	75	115
Persona que camina	55	160	60	155	70	145	85	130
Persona que baila	70	185	75	175	85	170	95	155
Persona en trabajo duro.	115	250	120	250	125	245	130	230

II.4.8 Carga sensible por aparatos eléctricos "Q_{se}".

Para el cálculo de la carga térmica aportada por la maquinaria, equipos y demás electrodomésticos presentes en el espacio climatizado, se considera que la

potencia íntegra de funcionamiento de los equipos se transformará en calor sensible. Además, se considera que no todos los equipos funcionarán a la vez, por lo que se afectará el valor de potencia por un coeficiente de utilización. Para el caso del estudio que se está realizando se tomará un coeficiente de 0,9. Como es posible apreciar el valor escogido es alto, esto se debe a que en estas instalaciones los equipos son utilizados con una alta simultaneidad durante toda la jornada laboral.

II.4.9 Cálculo de la carga térmica latente:

El cálculo de la carga latente (Q_l) se obtiene a partir de la ecuación II.13:

$$Q_l = Q_{li} + Q_{lp} \quad [W] \qquad \text{(Ec. ll.13)}$$

Dónde:

Q_{li} = Carga latente por infiltraciones y ventilación de aire exterior. [W]

Q_{lp} = Carga latente debida a la ocupación del local. [W]

II.5 TRNSYS. Metodología de cálculo

En los proyectos de cálculo de cargas térmicas, la exactitud de los resultados de las simulaciones depende en su mayoría de los parámetros de entrada al programa empleado. En el software TRNSYS son utilizados como entradas, la geometría de la edificación, las ganancias internas de calor, datos climatológicos, estrategias de operación, mostrados en la Figura II.7.

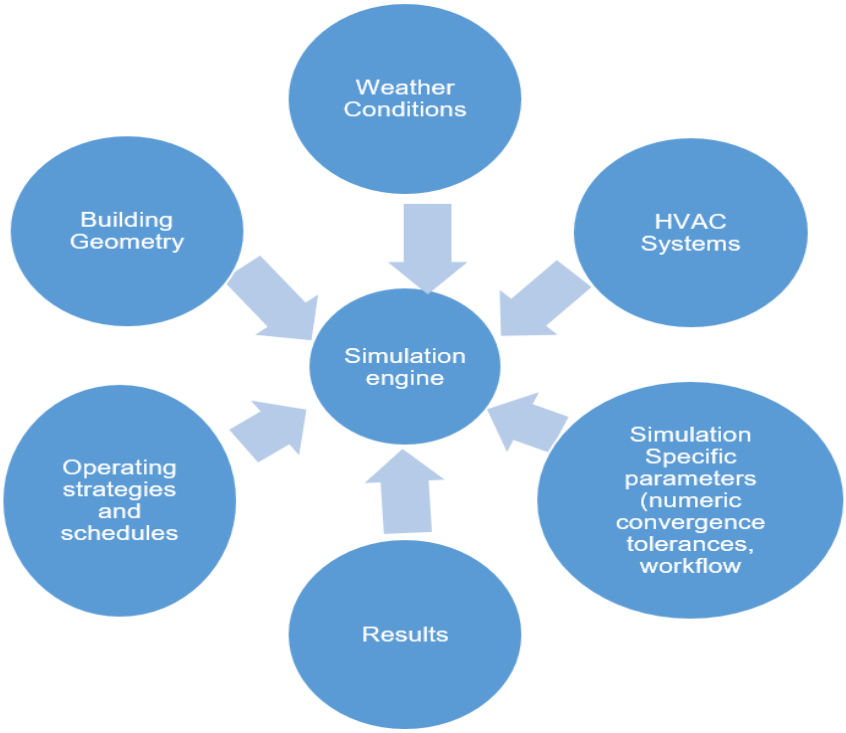


Figura II.7. Datos generales de entrada para la simulación térmica. Fuente: (Bahar, 2013)

Este programa utiliza como base para todos los cálculos el método de balance de calor, pero para la determinación de las ganancias de calor por convección de paredes utiliza el método de las funciones de transferencia debido a la simplificación que este posee.("TRNSYS 16," 2005)

La metodología expuesta por (Bhaskoro, 2013) quedan demostradas en las ecuaciones ll.14 y ll.15.

$$q_{s,i} = \sum_{k=0}^{nbs} b_s^k T_{s,o}^k - \sum_{k=0}^{ncs} c_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=0}^{ncs} d_s^k q_{s,i}^k \qquad \text{(Ec. ll.14)}$$

$$q_{s,o} = \sum_{k=0}^{nbs} a_s^k T_{s,o}^k - \sum_{k=0}^{ncs} b_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=0}^{ncs} d_s^k q_{s,o}^k \qquad \text{(Ec. ll.15)}$$

Donde:

$q_{s,i}$, $q_{s,o}$ Flujo de calor por conducción desde la pared a la superficie interior/exterior respectivamente. [kJ/h]

$T_{\frac{s,i}{s,o}}$ Temperatura superficial interior/exterior. [K]

Estas ecuaciones de series de tiempo en términos de las temperaturas superficiales y los flujos de calor son evaluadas en igual intervalos de tiempo. El subíndice *k* se refiere al término en la serie de tiempo. El tiempo base mediante los cuales los cálculos están basados es definido por el usuario dentro de la descripción del TRNBUILD. Los coeficientes en la serie de tiempo (a's,b's, c's, d's) son determinados dentro del programa TRNBUILD usando las rutinas de funciones de transferencia-z.

En la ecuación ll.16 se determina la ganancia de calor por radiación y convección dentro de la zona empleando una red estrella:

$$q_{comb,s,i} = q_{c,s,i} + q_{r,s,i} = \frac{1}{R_{equiv,i} * A_{s,i}} (T_{s,i} - T_{star})$$

(Ec. ll.16)

Donde

$R_{equiv,i}$ Resistencia equivalente entre la pared y un nodo. [m^2K/W]

T_{star} Temperatura artificial del nodo. [K]

$q_{c,s,i}$ Flujo de calor por convección en la superficie interna de la pared. [kJ/h]

$q_{c,s,i}$ Flujo de calor por radiación en la superficie interna de la pared. [kJ/h]

La ganancia de calor externa por radiación y convección puede ser determinada según se muestran en las ecuaciones ll.17 y ll.18.

$$q_{comb,s,i} = q_{c,s,o} + q_{r,s,o}$$

(Ec. ll.17)

$$q_{c,s,o} = q_{conv,s,o}(T_{a,s} - T_{s,o})$$

(Ec. ll.18)

$$q_{r,s,o} = \sigma \varepsilon_{s,o}(T_{s,o}^4 - T_{fsky}^4)$$

(Ec. ll.19)

Donde:

$q_{comb,s,i/o}$ Calor por convección y radiación de la superficie interior/exterior. [kJ/h]

$h_{conv,s,o}$ Coeficiente de transferencia de calor por convección en la superficie de la pared. [kJ/hm^{2}K]

$T_{a,s}$ Temperatura ambiente. [K]

σ Constante de Stefan-Boltzman. [kJ/hr.m^{2}K^4]

ε_s Emisividad de la superficie

Las ecuaciones ll.20 y ll.21 están dadas para la determinación de las ganancias de calor total en las superficies interior y exterior de la pared:

$$q_{s,i} = q_{comb,si} + S_{s,i} + Wall - gaing \quad \text{(Ec. ll.20)}$$

$$q_{s,o} = q_{comb,so} + s_{s,i}o \quad \text{(Ec. ll.21)}$$

Donde

$q_{\frac{s,i}{s,o}}$ Flujo de calor por conducción en las superficies interior y exterior de la pared. [kJ/h]

$S_{\frac{s,i}{s,o}}$ Flujo de calor por radiación en las superficies interior y exterior absorbido en la superficie de la pared. [kJ/h]

Wall-gain: Ganancia de calor definida por el usuario para el interior de la pared. [kJ/h]

El coeficiente de absortividad para la pared está tabulado por TRNSYS. Los coeficientes de transferencia de calor por convección en el interior y exterior de la pared toman valores de 11 kJ/hm^{2}K y 64 kJ/hm^{2}K respectivamente, valores estos recomendados por el software. La ganancia de calor latente y sensible por ventilación e infiltración de aire es calculada según las ecuaciones ll.22 y ll.23.

$$q_{sensible} = m_a + C_p(T_o - T_i) \quad \text{(Ec. ll.22)}$$

$$q_{latent} = V_a\rho_a + (\omega_o - \omega_r)h_{fg,32} \quad \text{(Ec. ll.23)}$$

Donde:

m_a Masa del aire [kg]

C_p Calor específico del aire [kJ/kg. K]

V_a Flujo de aire [kg/s]

ρ Densidad del aire exterior [kg/m^3]

ω Humedad [kg/h]

$h_{fg,32}$: Calor latente de vaporización a 32˚F (273,15 K) [kJ/kg]

El flujo de ventilación mínimo requerido para cada habitación es determinado a partir de un método presentado por la ASHRAE y se muestra en la ecuación ll.24.

$$V_{min} = R_p * N_p + R_a * A \quad \text{(Ec. ll.24)}$$

R_p Componente de ventilación por ocupante.

N_p: Número de ocupantes.

R_a: Componente de ventilación de la edificación.

A: Área de la habitación. [m^2]

Para la correcta simulación deben de tenerse en cuenta una serie de suposiciones, las más destacadas se listan a continuación:

1. La ganancia de calor a partir de aparatos eléctricos, iluminación, contribuyen a la carga de enfriamiento sensible.
2. La ganancia de calor por ocupantes, ventilación e infiltración contribuye a la carga latente y sensible.
3. La cantidad de ganancia de calor por ocupante es basada en la tabla ISO 7730.
4. La fracción de la ganancia de calor convectiva y radiactiva para aparatos eléctricos es 0,7 y 0,32 mientras que para luces artificiales toman valores de 0,6 y 0,4 respectivamente.

5. La temperatura de diseño y la humedad relativa está basado a partir de la norma ASHRAE en 25^{o}C y 50% de humedad relativa.
6. Para un mejor análisis, la simulación fue separada en dos períodos: período de verano y período de invierno.

Conclusiones parciales del capítulo 2

1. A partir del desarrollo de las metodologías de cálculo de las cargas térmicas, para el estudio se utilizará como método analítico, el método de balance térmico debido a su nivel de exactitud en comparación con otros métodos de cálculos como el HAP de Carrier.
2. De los programas informáticos existentes como el Saunier Duval, Energy^{+}, Hourly Analisys Program de Carrier, el TRNSYS se presenta como una herramienta muy utilizada en la determinación de la carga de enfriamiento, de aquí la selección de éste como patrón de comparación con relación al método analítico propuesto.

Capítulo III: Análisis de los resultados. Caso de estudio: Copextel Cienfuegos

III.1: Descripción del caso de estudio.

La empresa Copextel Cienfuegos se encuentra ubicada en los 22 ^{0}09´43.58¨ N 80^{0} 26´43.49¨ W, Reparto Pueblo Grifo, es una organización flexible y competitiva, con un capital humano motivado y comprometido con sus clientes, la organización y la sociedad. La entidad cuenta con una infraestructura compuesta de un edificio administrativo de 3 pisos (los cuáles se muestran representados en vista en planta en los Anexos; 4, 5 y 6), el taller de servicios técnicos y el shoowroom (sala de exposición y venta). La figura III.1 muestra la ubicación geográfica de la empresa.

Fig. lll.1 Vista superior de la empresa COPEXTEL. Fuente: GoogleEarth.

La organización está compuesta por 54 locales, de los cuáles 37 están climatizados. El consumo promedio de los portadores energéticos en TEP (Toneladas Equivalentes de Petróleo) del 2015 en la empresa Copextel Cienfuegos se presenta en la Fig. III.2, donde el principal uso lo tienen la electricidad y el diésel, representando más del 85% del resto de los portadores energéticos, por otra parte tanto el gas licuado como los lubricantes presentan insignificantes usos, dado que el primero es para la cocción de alimentos, y el último es utilizado en el parque de vehículos de la entidad. Es necesario tener en cuenta entonces que la reducción del consumo de los equipos, así como la

implementación de planes de medidas pueden traer ahorros significativos de electricidad para la empresa, estos incorporados en el pago de la tarifa eléctrica.

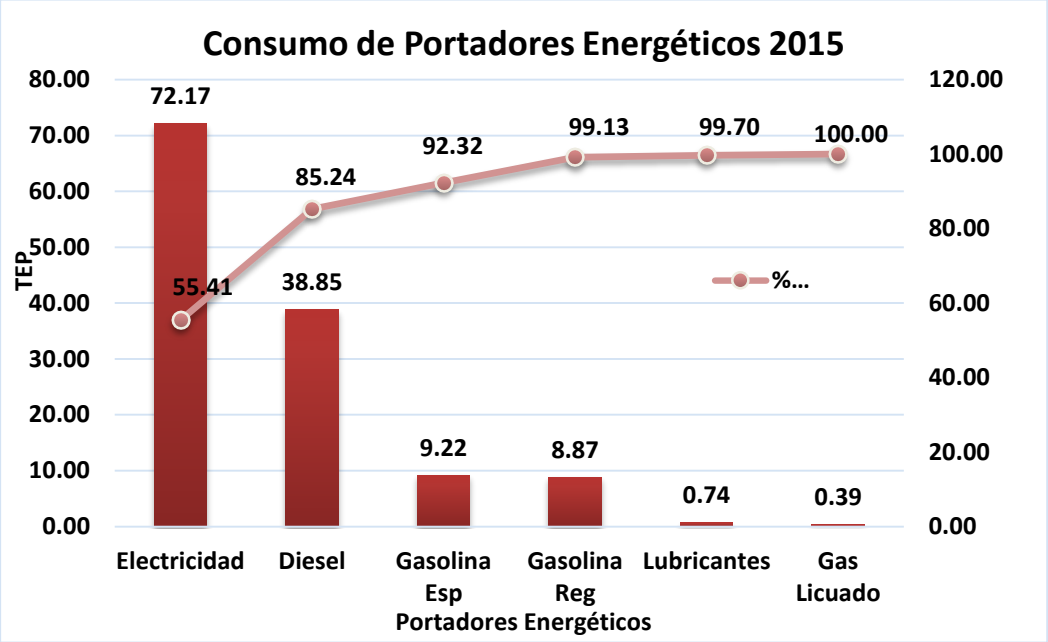


Fig. lll.2 Consumo de portadores energéticos 2015.Fuente (Elaboración Propia)

El Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente de Cienfuegos (CEEMA) se encuentra actualmente prestando servicios de consultoría externa con vistas a desarrollar la etapa de planificación energética a partir de la norma cubana NC ISO 50 001:2011. Dentro de la empresa la climatización desempeña un papel primordial con un 66,44 % representando aproximadamente las 2/3 partes del consumo total de esta. La figura lll.3 representa la distribución de este consumo.

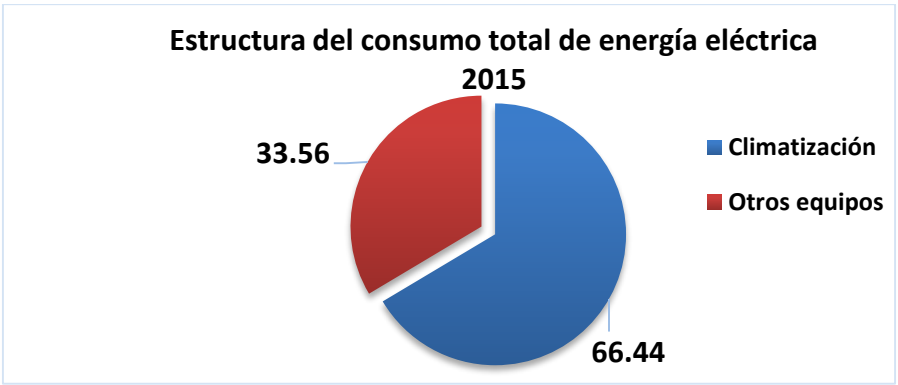


Figura lll.3: Distribución del consumo total de energía en el año 2015 en la empresa Copextel Cienfuegos. (Elaboración propia).

A partir de ello, es de vital importancia el correcto dimensionamiento y utilización de los equipos de climatización para así garantizar un alto grado de eficiencia en ellos. La empresa debido a su ubicación geográfica presenta una alta incidencia de la radiación solar durante la mayor parte del día, razón por la cual se incrementa el uso significativo de estos equipos. La figura lll.4 muestra un análisis termográfico en la fachada realizado con la cámara Testo i-870 (Anexo 7), la mayor parte con gran presencia de zonas acristaladas, estos espacios a su vez climatizados donde la incidencia de los rayos solares es de manera directa.

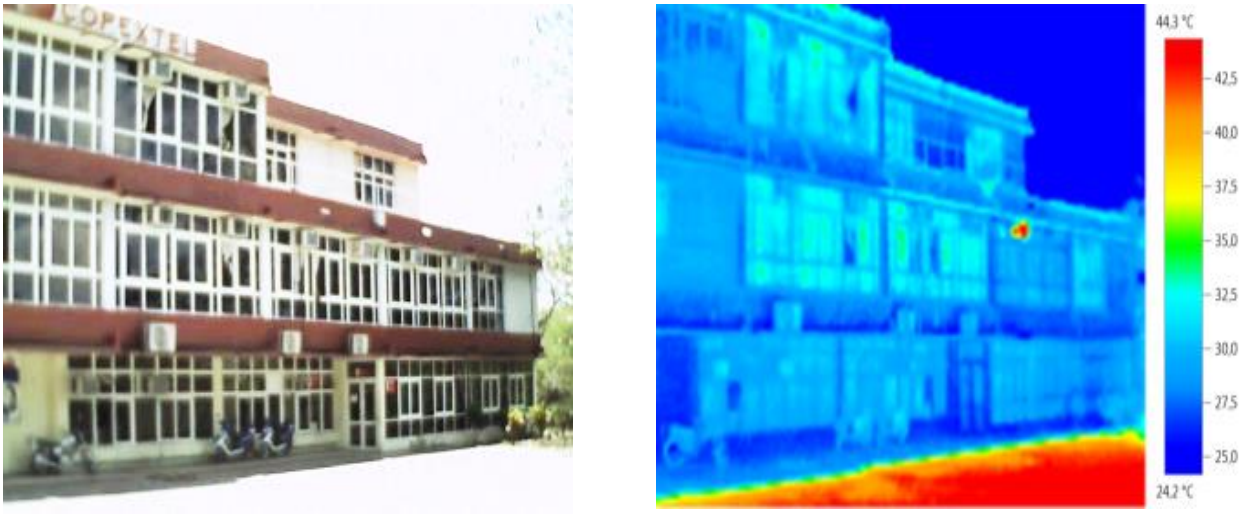


Fig. lll.4 Análisis termográfico a la fachada de la empresa. Fuente. Elaboración propia

El consumo eléctrico dividido por el sistema de clima en un mes según los diferentes pisos, el showroom y el taller de servicios técnicos está representado en la Tabla III.1, destacar que el mayor consumo se encuentra en el segundo piso del edificio administrativo, debido a que en este se sitúa el local del servidor, donde los equipos informáticos permanecen las 24 h del día encendidos. El consumo total mostró un valor de 31 651,62 kWh/mes.

Tabla III.1. Consumo por pisos de electricidad por concepto de climatización. Fuente: (Elaboración propia.)

Áreas	Consumo calculado(kW*h)	% Total	% Acumulado	Consumo electricidad real(kW*h)
2doPiso	13 395,14	42,32	42,32	20 456
1er Piso	9 157,28	28,93	71,25	20 456
Showroom	3 872	12,23	83,49	20 456
3er Piso	3 291,2	10,40	93,88	20 456
TSE	1 936	6,12	100,00	20 456
Total	31 651,62	100,00		

III.2 Herramientas necesarias para el desarrollo del cálculo de las cargas térmicas.

Para la determinación de la carga de enfriamiento, es necesario del conocimiento entre otros factores, de las temperaturas interiores y exteriores, factores que garantizarán el nivel de exactitud de los resultados propuestos, en este caso para las mediciones fue utilizado el Medidor dual de temperatura-velocidad modelo PCE-AM 82 (Anexo 8).

III.3 Determinación de la carga térmica de un local tipo.

III.3.1 Referencias del local.

El departamento de contabilidad tiene como objetivo procesar, identificar, así como medir y comunicar la información económica para formular juicios basados en información y la toma de decisiones por aquellos que se sirven de la información ya sean entes, internos o externos. (*Resolución 235/2005 Pone en vigor las Normas Cubanas de Información financiera.*, s. f.)

El departamento de contabilidad es el que realiza el registro oportuno en todas las operaciones relacionadas con la entidad en valores monetarios consiguiendo tratar:

- Movimiento de activos fijos, ya sean por entradas, salidas, bajas, traslados, así como su depreciación y reposición.
- Movimiento de inventarios (útiles y herramientas), (piezas y repuestos), mercancía, producciones según proceda.

- Registros de gastos, ingresos y resultados.
- Registrar, controlar y dar seguimiento a las operaciones de cobros y pagos.

El departamento fue seleccionado a ser el local a desarrollar por el método de cargas térmicas y comprobado además por el software TRNSYS-16, ya que recientemente, en él se realizó el cambio de 2 aires de ventana de capacidad 5,28 kW (1,5 TR), por un aire Split de capacidad 14,08 kW (4 TR), presentándose la oportunidad de verificar si fue seleccionado de manera correcta, otra cuestión importante es la simplicidad desde el punto de vista analítico ya que es un local pequeño. Los resultados de los restantes locales del edificio que están climatizados fueron obtenidos a partir de herramientas informáticas.

III.3.2. Determinación de las cargas térmicas por el método del balance térmico.

El local se encuentra situado en el segundo piso del edificio y colinda al norte con el local del servidor, al sur con el local de Control Interno y el Salón de reuniones, ambos locales climatizados. Por otra parte, por el lado Oeste se encuentra el pasillo de servicio y por el lado Este la terraza. (Anexo 5)

En las figuras III.5 y III.6 se muestra una vista en planta y una vista axonométrica de dicho local, estructuradas por el software ArchiCAD 14.

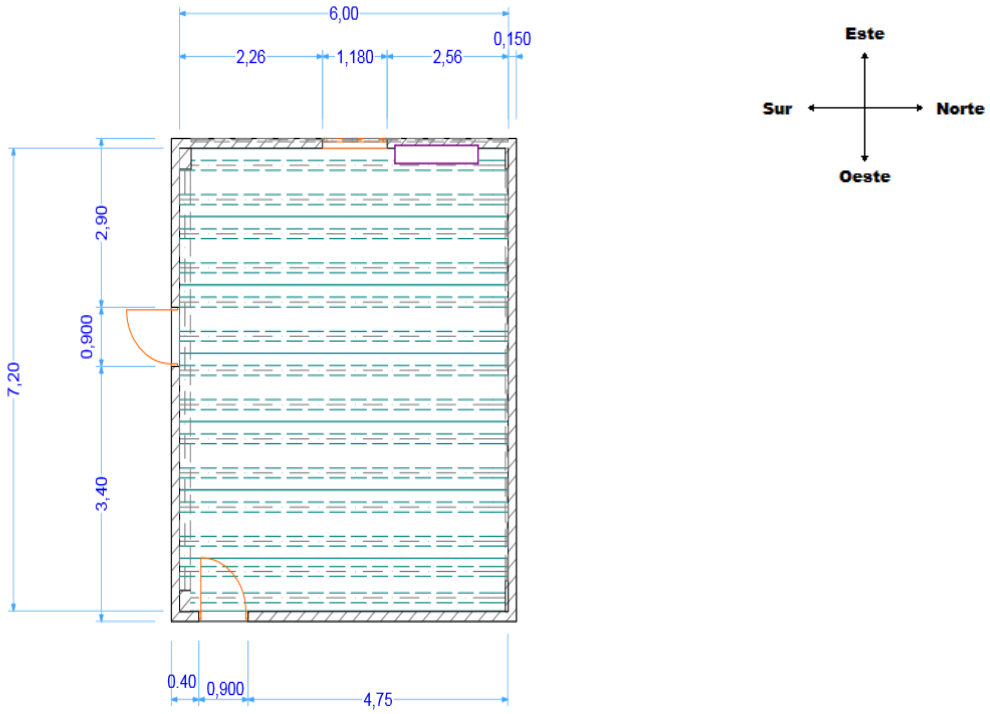


Figura: III.5 Vista en planta del local de Contabilidad con sus dimensiones en metros (m).

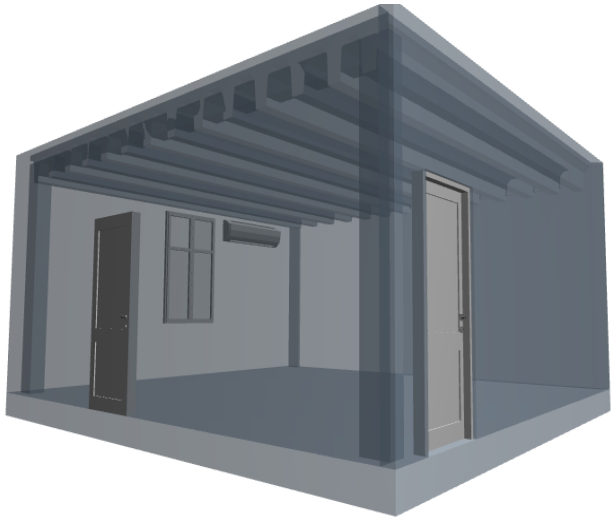


Figura: III.5 Vista axonométrica del local de Contabilidad.

Como punto de partida para la utilización de la metodología deben de ser conocidas las temperaturas, tanto la temperatura media (T_{me}) como la temperatura máxima ($T_{máx}$) en la hora más crítica, la temperatura media para este caso fue de 31,2 ^{0}C y la máxima de 34,1 ^{0}C. Como temperatura interior de diseño (T_i) se toman los valores de 24°C y 50% de humedad relativa ("ASHARE," 1997). Para

obtener el valor de la temperatura exterior de cálculo (T_{ec}) se parte a su vez de la llamada temperatura exterior de diseño (T_e). Esta se calcula teniendo en cuenta la temperatura media del mes más cálido y la temperatura máxima del mes más cálido. Aplicando la (Ec. II.6) obtenemos como resultado la temperatura exterior de diseño T_e = 32,94°C.

III.2.3 Carga por radiación solar a través de cristal "Q_{sr}".

Para el caso de este local se tiene una ventana situada en la pared exterior Este. Conociendo las dimensiones del área acristalada de la ventana (1,90m x 1,18m) es posible calcular la superficie y su coeficiente de transmisión térmica. Ver en (Anexo 9). El área se determina a partir de la Ec. III.1

$S_{ventana}$ = 1,90m x 1,18m = 2,24 m^2 (Ec.III.1)

Los valores de radiación solar son tomados de mediciones realizadas en un estudio para el uso de paneles fotovoltaicos fijos en una instalación realizados en el municipio Playa, La Habana en el año 2014(Tamayo, 2015) .Estos valores fueron extrapolados debido a que en el software TRNSYS los datos meteorológicos más cercano disponibles pertenecen al municipio Casa Blanca, La Habana.

En él se obtuvo como media para el mes de agosto 900 W/m^2. Finalmente, el factor de corrección de la radiación solar F_s es obtenido en la tabla 1 del (Anexo 10) en el que se obtiene un coeficiente de 0,89 para la ventana al Este. Aplicando la ecuación II.4 la carga térmica por radiación solar a través de la ventana queda:

$Q_{sr\ ESTE}$ = 1241,55 W

III.2.3 Carga por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores "Q_{str}".

Para la pared exterior Este la denotamos como: (M_e1)

- El área de la pared es (S_{Me1}) = 21,16 m^2.
- La temperatura exterior de cálculo para la orientación Este es tomada de la Tabla II.2 y tiene como resultado 26,35 ˚C.

- El coeficiente de transmisión térmica para bloques huecos de cerámica roja de 150 mm, es de 1,90 W/m^2°C. Ver anexo 2.

Aplicando la ecuación II.5 la carga por transmisión y radiación a través de la pared Este es $Q_{str\ Me1}$ = 94,48 W

Para el techo (T_1):

- El Coeficiente global de transmisión térmica para el techo de hormigón armado de 200 mm, es de 3,18 W/m$^{2^\circ}$C.
- La temperatura del salón de reuniones que se encuentra encima de la oficina de contabilidad posee una temperatura de 28°C según mediciones realizadas.
- La temperatura exterior de cálculo para la cubierta.

  T_{ec} = 28°C.

  El área que ocupa la cubierta (S_{Techo}) = 7,2m * 6m = 43,2m^2. (Ec.III.2)

Aplicando la ecuación II.5 la carga por transmisión y radiación a través del techo es $Q_{str\ T1}$ = 549,5W

Finalmente, a partir de la ecuación III.3 es posible calcular el $Q_{str\ TOTAL}$ sumando $Q_{str\ Me1}$ y $Q_{str\ T1,}$ quedando:

$Q_{str\ TOTAL} = Q_{str\ Me1} + Q_{str\ T1}$ = 94,48 + 549,5 = 643,98 W (Ec.III.3)

III.2.4 Carga por transmisión a través de paredes, techos, suelos, puertas y ventanas interiores "Q_{st}".

Para este caso existen solamente dos paredes que poseen puertas; una colinda con el pasillo interior del segundo piso y la denotamos como (M_i1) y otra que es común con un cuarto que es utilizado como un almacén y se la indicamos como (M_i2). Veamos los coeficientes que son necesarios obtener en el primer caso.

Para el muro interior común con el pasillo (M_i1):

- El coeficiente de transmisión térmica para bloques huecos de cerámica roja de 150 mm, es de 1,90 W/m^2°C.
- La temperatura T_e = 27,4°C según mediciones realizadas en el pasillo.

- El área que ocupa la cubierta.

$(S_{Mi1}) = S_{pared} - S_{puerta} = 23,4\ m^2 – 1\ puerta * (2,1 * 0,9) = 21,51\ m^2.$ (Ec.III.4)

Utilizando la ecuación II.5 la carga por transmisión y radiación a través de la pared es $Q_{st\ Mi1} = 138,95\ W$.

Para el muro interior común con el almacén (M_i2):

- El Coeficiente de transmisión térmica para bloques huecos de cerámica roja de 150mm, es de 1,90 $W/m^2°C$.
- La temperatura $T_e = 28,4^{\circ}C$ según mediciones realizadas en el almacén.
- El área que ocupa la cubierta

A partir de la ecuación. III.5 el área que ocupa la cubierta es:

$(S_{Mi2}) = S_{pared} - S_{puerta} = 28,08\ m^2 – 1\ puerta * (2,1 * 0,9) = 26,19 m^2.$ (Ec.III.5)

Mediante la ecuación II.5 la carga por transmisión y radiación a través de la pared es $Q_{st\ Mi2} = 218,95\ W$.

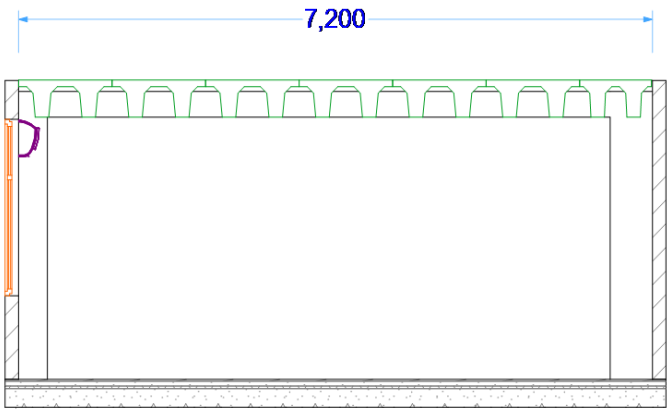


Figura III.6 Pared que da al sur, limita con el local Control Interno.
Nota: Las dimensiones en metros (m).

Para las puertas (P_1) al ser todas iguales se procede con los datos siguientes:

- El Coeficiente global de transmisión térmica de una puerta es 1,10 $W/m^2\ ^{\circ}C$. (Anexo 11)
- La temperatura $T_e = 27,4\ ^{\circ}C$ según mediciones realizadas en el pasillo.
- La temperatura $T_e = 28,4\ ^{\circ}C$ según mediciones realizadas en el almacén.
- El área de las puertas $(S_{P1}) = 2,1m * 0,9m = 1,89\ m^2$.

$Q_{st\ P1} = k_{Puerta} * S_{P1} * (T_e - T_i) = 1.10 * 1.89 * (27.4 - 24) = 7.07\ W$ (Ec.III.6)

$Q_{st\ P1} = k_{Puerta} * S_{P1} * (T_e - T_i) = 1.10 * 1.89 * (28.4 - 24) = 9.15\ W$ (Ec.III.7)

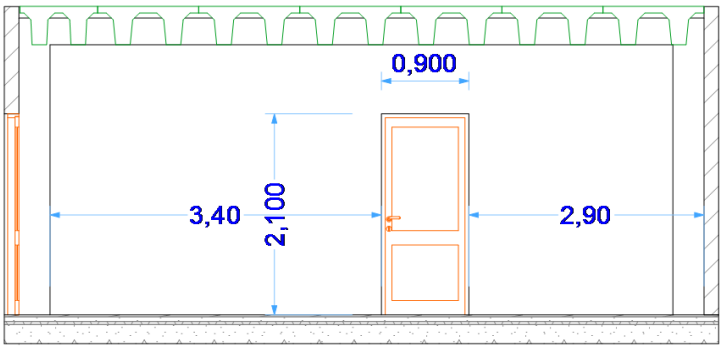


Figura: III.7: Pared que da al norte, colinda con un almacén.
Nota: Las dimensiones en metros (m).

Para la ventana que da al exterior de la pared Este:

- El coeficiente global U de las ventanas es 3,7 W/m^2 ˚C. (Anexo 9)
- La temperatura T_e = 26,35 ˚C según la Tabla II.2
- El área de una ventana (S_{V1}) = 1,9 * 1,18m = 2,242 m^2

$Q_{st\ V1} = K_{Ventana} * S_{V1} * (T_e - T_i) = 3,7 * 2,242 * (26,35 - 24) = 19,49\ W$ (Ec.III.8)

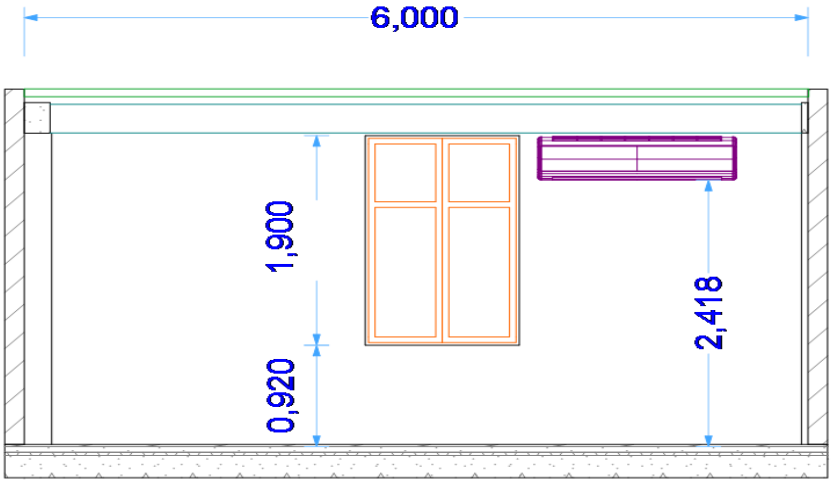


Figura: III.8: Pared que da al este, colinda con el exterior.
Nota: Las dimensiones en metros (m).La altura está representada hasta el cerramento, pero el local consta con una altura de 3,90m.

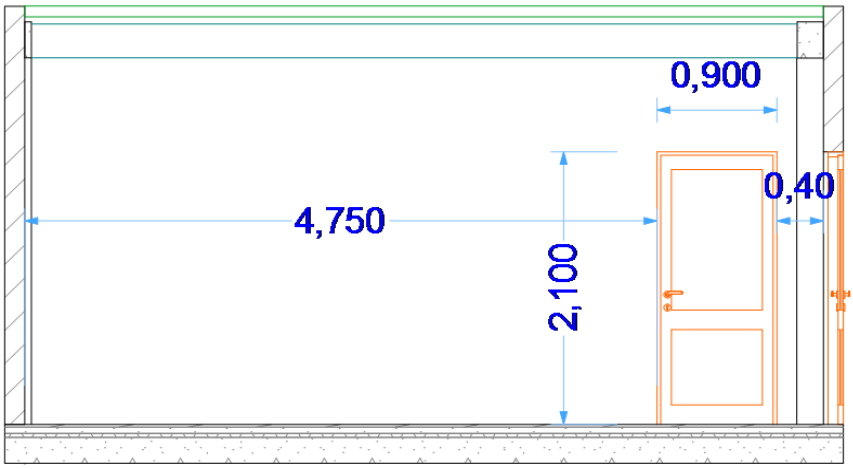


Figura: III.9: Pared que da al oeste, limita con un pasillo interior.
Nota: Las dimensiones en metros (m).

$Q_{st\ TOTAL} = Q_{st\ V1} + Q_{st\ Mi1} + Q_{st\ Mi2} + Q_{st\ P1} + Q_{st\ P1} = 19,49 + 138,95 + 218,95 + 7,07 + 9,15 = 392,64$ W (Ec.III.9)

III.2.5 Carga transmitida por infiltraciones de aire exterior "Q_{si}".

Conociendo que la densidad del aire (ρ) es 1,18 kg/m^3 y que su calor específico ($C_{e,aire}$) es 1012 J/kg°C solo sería necesario determinar el caudal de aire infiltrado y de ventilación, puesto que las temperaturas interior y exterior son conocidas. La metodología y los cálculos necesarios para determinar el caudal de aire infiltrado y de ventilación pueden ser consultados en el Anexo 3.

$Q_{si} = 0,281 * 1,18 * 1\ 012 * (26,35 - 24) = 788,56$ W (Ec.III.10)

III.2.6 Carga sensible por aportaciones internas "Q_{sai}".

Figura: lll.10: Local de contabilidad con el equipamiento.

Los equipos electrónicos que existen en este local se presentan en la tabla III.2:

Tabla III.2: Representa los equipos y sus aportaciones de cargas internas. (Elaboración propia).

Nº	Tipo de Equipo	Calificación Nº.	Potencia nominal (kW)	Cantidad de equipos	Total	Horas de uso
1	Computador		0,300	5	1,500	9
2	Monitor		0,050	5	0,250	9
3	Impresora		0,026	3	0,078	2
4	Impresora		0,140	4	0,560	2
5	Ventiladores		0,048	2	0,096	3
6	Refrigerador		0,351	1	0,351	24
7	Hornilla Eléctrica		0,750	1	0,750	1

Tomando un factor de simultaneidad de 0,9 para todos los equipos que consumen energía en el local, las aportaciones por cargas sensibles son Q_{se} = 3 226,5 W

El cálculo de la carga térmica sensible aportada por la iluminación interior se calcula mediante la ecuación. ll.9 obteniendo como resultado Q_{sil} = 650 W

Para calcular la carga sensible que aporta cada persona se tomó como calor sensible desprendido $60\,\mathrm{kcal/h}$ debido a que la activad desarrollada por las personas dentro del local es un trabajo de ligero a moderado. (Ver tabla ll.7)

$C_{sensible,\ persona}$ = 60 kcal/h => 69,78 W

$Q_{sp}=n\cdot C_{sensible,\ persona}$ = 5 * 69,78 = 348,9 W (Ec.lll.11)

Finalmente;

Q_{sai} = Q_{sp} + Q_{se} + Q_{sil} = 650 + 348,9 + 3 226,5 = 4 225,4 W (Ec.lll.12)

Sumando cada uno de los resultados obtenidos es posible determinar la carga sensible total.

$Q_{sensible}$ = Q_{sr} + Q_{str} + Q_{st} + Q_{si} + Q_{sai} = 1 241,55 + 643,98 + 392,64 + 788,56 + 4 225,4 = 7 292,13 W (Ec.lll.13)

lll.2.7 Carga latente transmitida por infiltraciones y ventilación de aire exterior "Q_{li}"

La diferencia de humedad absoluta entre el ambiente exterior e interior (ΔW) es obtenido a partir del Anexo 12.

$W_{interior}$ = 9,3 g/kg para 24°C y 50% de humedad relativa.

$W_{exterior}$ = 19,10 g/kg para 33°C y 60% de humedad relativa.

Si se conoce la densidad del aire (ρ), de valor 1,18 kg/m^3 y el calor específico del agua ($C_{l,agua}$) como 4,18 kJ/kg°C la carga latente transmitida por infiltraciones y ventilación de aire exterior quedaría como:

$Q_{li} = V \cdot \rho \cdot C_{l,agua} \cdot \Delta W = 0,281 * 1,18 * 4,18 * 10^3 * (19,1 – 9,3) = 13\ 582,84$ W (Ec.lll.14)

lll.2.8 Carga latente por ocupación "Q_{lp}".

Tomando el valor del calor latente emitido por la persona-tipo como 50 kcal/kg => 58,15 W/h (Tabla ll.7) el calor latente de aporte por la ocupación del local sería:

$Q_{lp} = n \cdot C_{latente,\ persona} = 5 * 58,15 = 292,5$ W (Ec.lll.15)

Finalmente, para obtener el resultado de la carga latente se utiliza la ecuación II.13, donde $Q_{latente}$ = 13 875,34 W.

Luego

$Q_{TOTAL} = Q_{latente} + Q_{sensible} = 13\ 875,34 + 7\ 292,13$ W = 21 167,47 W (Ec.lll.16)

Considerando un 10% de reserva en el resultado de la (Ec.lll.16) tenemos que:

$Q_{TOTAL\ Local\ 2} = 23\ 284,217$ W = 6,61 TR (Ec.lll.17)

Para el resultado de los cálculos de la carga de enfriamiento de los restantes locales de la empresa, se utilizó para ello la hoja de cálculo de demanda térmica ubicada en la dirección electrónica www. energianow.com donde a partir de su modificación, se toman en cuenta el material de las superficies transmisoras de calor para un cálculo orientativo de la carga pico exclusivamente, aportando además indicadores como el SEER, y el EER. Los resultados del cálculo aparecen en el Anexo 13, donde para el local calculado anteriormente y a pesar de incluir

los parámetros solicitados en la hoja de cálculo existe una variación en los resultados por la metodología la carga obtenida fue de 23 284,217 W mientras que por la otra variante fue de 19 386,89 es decir para un 17 % de variación entre ambos métodos de cálculo donde para este último con 5,5 TR es suficiente.

lll.3: Simulación térmica. Parámetros y características constructivas de la empresa

La empresa tiene un total de 37 locales climatizados, la mayor parte de ellos del tipo oficina (24), los otros por sus características están distribuidas como: talleres de reparación (5), almacenes (2), salón de reuniones (2), salas de muestra (1), y local del servidor (1).

Esta edificación está construida con una estructura de concreto, con paredes exteriores e interiores de bloque de quince centímetros, con ventanas de cristal en el edificio principal con vista a la parte oeste

III.3.1 Localización geográfica

La ciudad de Cienfuegos está situada territorialmente al sur de la región central entre los 21°50', 22°30' de latitud norte y los 80°06', 80°55' de longitud oeste, delimitada al norte, este y oeste con las provincias Villa Clara, Sancti Spíritus y Matanzas respectivamente.

El comportamiento de la temperatura ambiente durante el año 2015 fue obtenido de datos reales medidos por el Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos. En el Anexo 14 se muestra la temperatura media, la mínima y la máxima para cada mes del año, teniendo en cuenta que estos datos meteorológicos fueron medidos cada tres horas al día, tomando desde el día a la noche.

La figura III.10 muestra las características mensuales y diarias de los valores de temperatura mínima y máxima a los que puede llegar la temperatura ambiente en Cienfuegos, demostrándose la relación intrínseca de estas variables.

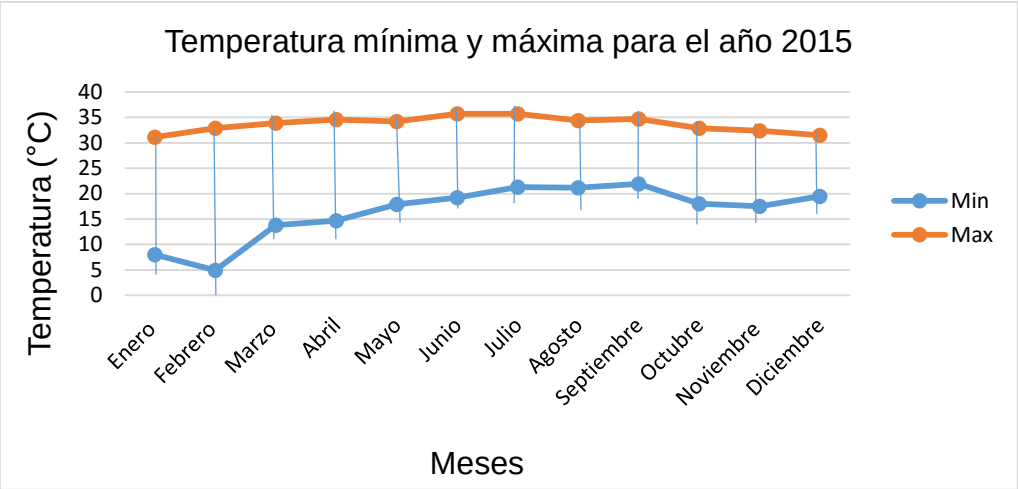


Figura III.10: Valores de la temperatura en Cienfuegos. Fuente. (Elaboración propia).

III.3.2 Cálculo de la carga térmica

Los procedimientos de cálculo que se utilizan en el presente trabajo están basados en manuales de la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), con datos de la norma ISO y la ASME. Los coeficientes de conducción normalizados para funciones de transferencia, factores de ponderación, cálculo de transmitancia y absortancia en vidrio, aire del espacio, entre otros son obtenidos por TRNSYS, software de referencia internacional utilizado en este estudio para estimar el comportamiento de las cargas térmicas de la edificación.

III.3.2.1 Simulación con TRNSYS

Como punto de partida para la simulación se asumió el estado de confort para una humedad relativa dentro de las zonas del 50% y una temperatura máxima de 24ºC, valores de confort recomendados por la literatura (ASHRAE, 1997). La figura III.11 muestra la vista isométrica del local a simular.

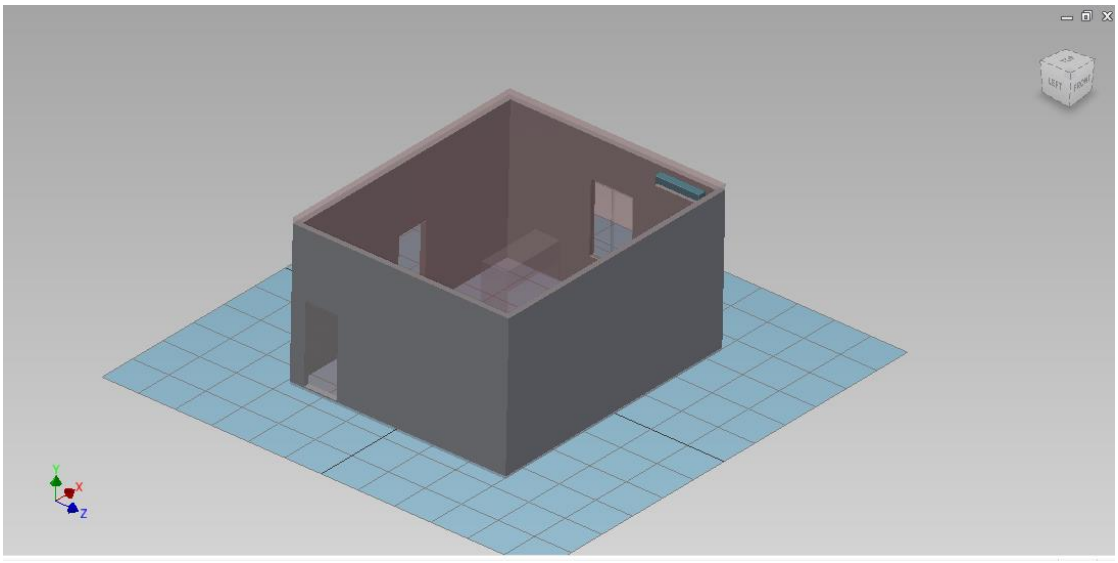


Figura III.11: Vista isométrica de un local modelo del edificio Copextel Cienfuegos. Fuente Autodesk inventor

Cada pared está compuesta por varias capas (layers), de las cuales es necesario conocer las principales propiedades físicas, el TRNSYS posee una biblioteca de materiales, para los cuales ya aparecen por defecto estas como la conductividad del material, densidad y capacitancia, pero además permite agregar otras que no estén presentes. La tabla lll.3 presenta las principales propiedades físicas de las capas que conforman las paredes para el caso de los locales a analizar.

Tabla lll.3: Propiedades físicas de las capas que conforman las paredes.

Capas	Conductividad (kJ/h*m*K)	Capacitancia (kJ/kg*K)	Densidad (kg/m^3)
Bloque hueco de cerámica	1,836	1	-
Concreto	7,56	0,8	2400
Rasilla	3,2	1	1800
Cerámica	4,32	1	2000
Cemento_Arcilla	5,04	1	2000

En la tabla lll.4 se recogen las características físicas de los diferentes tipos de paredes de los locales climatizados del edificio, en la cual se definen los diferentes

elementos o capas que componen la pared, así como sus propiedades físicas, se define el coeficiente de obsortividad en función del color que estas tienen por la propiedad ABSR. H (Front-Back) representa el coeficiente de transferencia de calor de la pared, el cual es propuesto por el software.

Tabla lll.4: Propiedades térmicas para los tipos de pared

Pared	Capas	K (W/m^2*K)	U ($kJ/h*m^2*K$)	Espesor (m)	Coeficiente de Absorción		H	
					Front	Back	Front	Back
Exterior	Bloque_cerámico Cemento_Arcilla Cemento_Arcilla	1,90	11,41	0,15 0,02 0,01	0,5	0,3	64	11
Interior	Bloque_cerámico Cemento_Arcilla Cemento_Arcilla	1,90	11,41	0,15 0,01 0,01	0,3	0,3	11	11
Piso	Concreto Cerámica Cemento_Arcilla	3,40	29,19	0,24 0,01 0,01	0,3	0,3	11	11
Techo	Concreto Rasilla	3,26	26,32	0,24 0,02	0,75	0,3	64	11
Ventana	Opalescente oscuro	0,3718	5400	0,006	-	-	64	11

Las ganancias de calor interna se definieron para una ocupación constante de cinco personas dentro de la oficina, definiendo las ganancias de calor sensible y latente por la norma ISO 7730. Se definieron además las ganancias por luz artificial. Para las computadoras que vienen juntos a sus pertenecientes monitores a colores se le dio la mayor ganancia de 230 W brindada por el software y debido a que el consumo real de estos equipos es un 65% mayor, para equilibrarlo con el consumo marcado por el software, según la cantidad, se agregó un equipo de más cada dos existentes. Los otros equipos fueron agregados en otras ganancias clasificándolos por su nombre y por sus respectivos consumos, estos se pueden observar en la tabla III.2. Para las ganancias por infiltración se asumió un factor de 0,8. Estos principales requerimientos son los que se deben de tener en cuenta para darle las entradas al software (Anexo 15). El perfil de temperatura interior dentro del local analizado está representado en la figura III.12 comportándose en la mayor parte de los meses de manera estable es decir 24 ^{0}C.

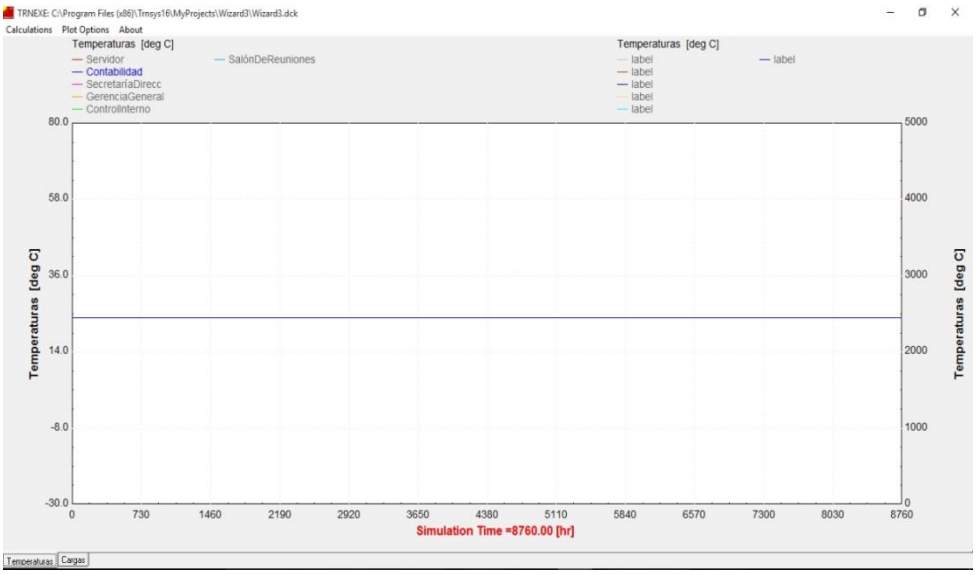


Figura lll.12: Perfil de temperatura para el local de contabilidad. Fuente (TRNSYS-16)

La ganancia de calor a remover para los distintos meses del año está representada en la figura III.13, donde el pico de carga corresponde al mes de Agosto con un valor de $4,28*10^4$ kJ/h o 11,89 kW que equivale a 3,38 TR.

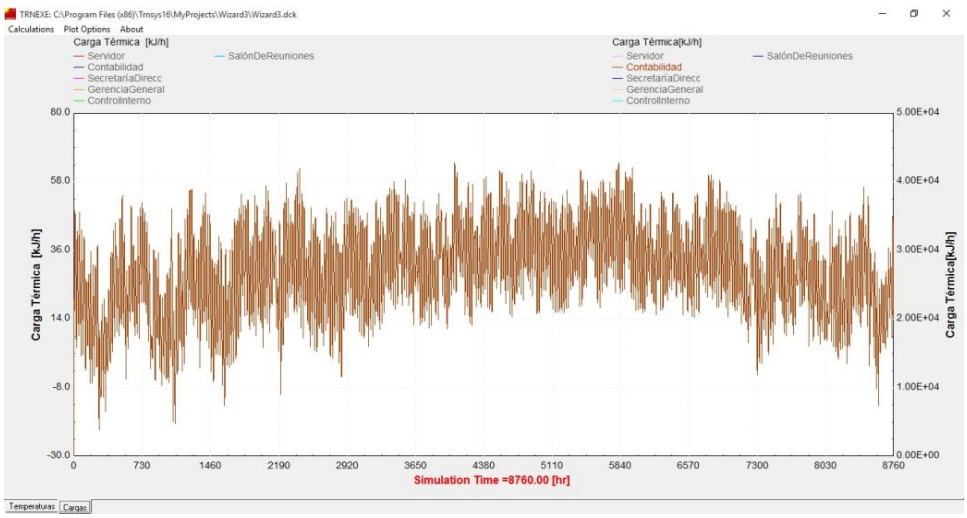


Figura lll.13: Perfil de carga térmica para el local de contabilidad. Fuente (TRNSYS-16).

Realizando una comparación de ambos métodos con relación a la potencia real instalada se observa que por el método analítico el margen es mayor que por el TRNSYS, debido fundamentalmente a la gran cantidad de factores de diseño a tener en cuenta y la posible introducción de errores. En el caso del TRNSYS, en

este último como se analiza la carga desde el punto de vista dinámico permite una aproximación mucho mejor, dando además un valor de 11,89 kW por 14,07 kW instalado respectivamente

Luego de obtener el resultado de la carga térmica para la oficina de Contabilidad observamos que el valor es admisible para la capacidad de frío que está instalado en el local, las restantes oficinas climatizadas de la empresa Copextel Cienfuegos fueron montadas simultáneamente en el software TRNSYS-16. En los Anexos 16, 17 y 18 se muestran además los perfiles de carga térmica para los restantes locales de la empresa. La tabla III.5 presenta una comparación entre ambos métodos de cálculo con relación además a la potencia instalada en climatización para cada local de la empresa.

Tabla lll.5: Comparación entre el método analítico y el TRNSYS-16.

Locales	**Potencia instalada (kW)**	**Resultado Cálculo Analítico (kW)**	**Resultado Software TRNSYS (kW)**
Primer Piso			
Facturación electrodoméstica	3,52	8,49	4,58
Facturación	17,6	23,24	16,94
Fincopex	3,52	10,47	9,75
Garantía comercial	1,76	5,01	1,81
Gong	2,64	3,28	1,27
Ofimática jefe de taller	3,52	6,76	4,2
Recursos humanos	3,52	6,89	5,9
Servicios técnicos electrodomésticos	17,6	63,82	22,19
Servicios técnicos especializados	1,76	8,81	4,69
Showroom	35,02	126,50	48,25
Taller audio y luces	7,04	12,27	4,96
Taller eléctrico	3,52	15,27	7,53
Taller ofimática 1	14,08	15,55	9,33
Taller ofimática 2	14,08	20,75	11,06
Transporte	5,28	11,59	14,58
Segundo Piso			
Aseguramiento	5,28	13,59	7,56

Comercialización	3,52	1,14	4,04
Contabilidad	14,07	19,39	11,89
Control interno	1,76	4,73	6,28
Depósito	1,76	3,76	6,65
Dirección económica	8,80	18,53	17,99
Departamento jurídico	5,28	4,78	8,06
Departamento informática	10,56	19,41	13,5
Gerencia comercial	5,28	6,65	4,23
Gerencia general	5,28	6,69	8,01
Gerencia logística	1,39	5,87	2,897
Gong (Publicidad)	10,56	17,88	10,54
Salón de reuniones	3,52	5,74	4,29
Secretaría dirección	5,28	13,82	11,00
Servidor	3,52	3,93	8,77
Tercer Piso			
STI Pac	3,52	13,75	8,85
Recursos humanos (cerrado)	0	0	0
Dep. Automática y Seguridad (Redes)	10,56	16,59	13,24
Leatiendo	1,76	3,08	3,83
Seguridad y protección	3,52	7,23	3,65
Gerencia de servicios técnicos e integrales	7,5	7,50	3,98
Teatro	17,6	31,10	19,15

A partir de los resultados presentados existen locales donde la ganancia de calor a remover es superior a la potencia instalada por el o los equipos de climatización, ejemplo de estos son los locales de Fincopex con una potencia instalada de 3,52 kW, el local de transporte con 5,28 kW, y la dirección de Economía con 8,80 kW, donde seleccionando los resultados obtenidos por el software estos fueron de 9,75 kW, 14,58 kW y 17,99 kW respectivamente, esto no quiere decir que la selección actual no es la adecuada solo que se debe de hacer un estudio a profundidad sobre las condiciones o no de confort para estos locales. A partir de la simulación existe la posibilidad de valorar si en algunos casos para algunos locales puede existir sobredimensionamiento en los equipos, el local de gerencia de servicios

técnicos integrales así como los talleres de ofimática para los cuales la potencia instalada es de 7,5 kW y 14,08 kW respectivamente revela que con solo 3,98 kW y 9,33 kW se pueden satisfacer las condiciones dentro del local.

III.4 Propuestas de mejora.

Después de analizar el caso de estudio, a continuación se plantean 2 propuestas para disminuir el consumo de las cargas térmicas en la oficina de Contabilidad sirviendo como ejemplo para aplicar posteriormente en el resto de los locales climatizados en la empresa.

1) Al realizarse el censo de cargas térmicas, según la información brindada por sus trabajadores la misma tiene instalado en el alumbrado de oficinas y talleres 166 luminarias fluorescentes con 332 tubos fluorescentes T8 40W, 1200 mm, y 9 luminarias fluorescentes con 18 tubos fluorescentes T8 20 W, 60cm. Se realizó una búsqueda para conocer otras propiedades de estas luminarias, según la bibliografía estos tubos fluorescentes emiten de 50-90 lm/W, estos presentan según la marca Philips: 2 850 lúmenes con 13 000 horas de vida útil.
   La sustitución de equipos que se propone es cambiar estas luminarias por una tecnología mucho más eficiente tanto económica como energéticamente: la tecnología LED (Diodos Emisores de Luz), el cambio propuesto nos brindará las mismas características de alumbrado y longitud, pero con una menor potencia de consumo y mayor tiempo de vida útil.
   Para el local de contabilidad se propuso la sustitución de 12 luminarias fluorescentes T8 40 W por tubos LED de 24 W. En la Tabla III.5 se muestran las propiedades de los tubos LED propuestos a cambiar según el Mercado Libre Mexicano:

Tabla III.5: Características de los tubos LED propuestos. (Fuente: Elaboración propia)

Tecnología	Tipo	Potencia (W)	Longitud (mm)	Lúmenes (lm)	Horas de vida útil.
LED	T8	24	1 200	3 000	50 000
LED	T8	9	600	1 500	50 000

Fig III.14 Tubo LED T8 24 W 1200mm. Fuente: (www.mercadolibre)

2) Incorporación de falso techo a la altura de 3.10m.

A partir de la implementación de estas en el software, primero modificando las ganancias de calor por alumbrado y posteriormente con la incorporación de este aislante influyendo en la reducción además del volumen de la habitación, se logró una reducción en la carga térmica de 11,89 kW a 10,8 kW, es decir un 10 % menos, representando un ahorro de energía en las 8 horas de trabajo de la entidad de 261,6 kWh/mes. La Figura III.15 representa la comparación entre ambos casos, donde puede verse la reducción a partir de las propuestas antes mencionadas.

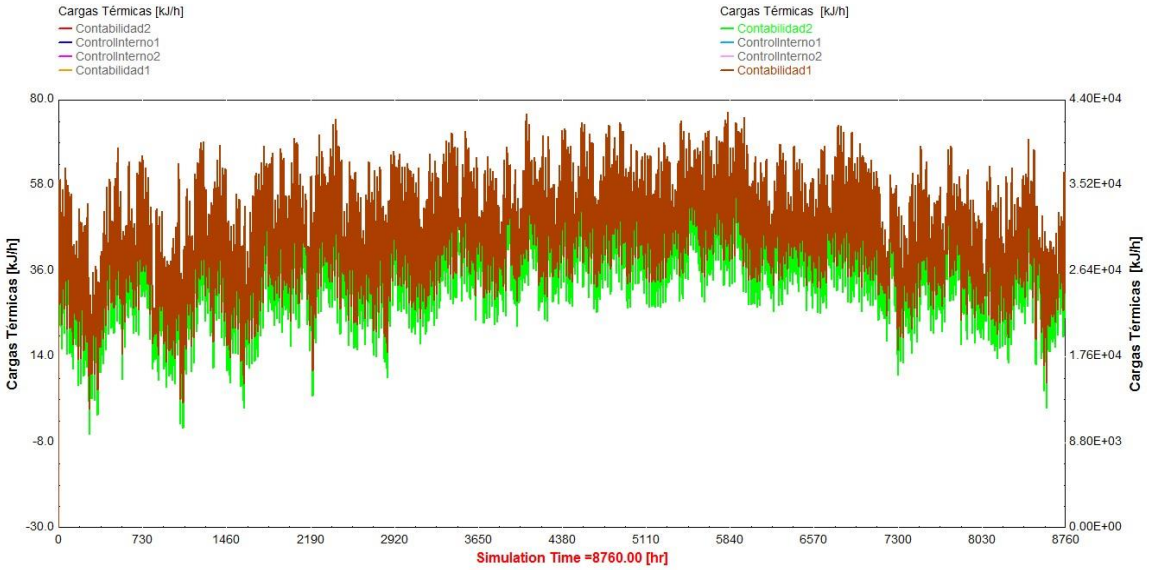


Fig. lll.15 Comparación entre ambos casos para el local de contabilidad. Fuente (TRNSYS-16).

Existen oportunidades de ahorro que se deben de tener en cuenta en cada uno de los locales climatizados de la empresa, estas se agrupan en tres categorías:

Climatización:

1- Limpiar los evaporadores periódicamente. Comprobar el correcto funcionamiento del sistema de descongelación.

2- Ajustar los termostatos en locales climatizados a 24 °C.

3- Reducir las entradas de aire exterior mediante adecuada hermeticidad de las puertas, empleo de brazos hidráulicos y reducir el tiempo de apertura de las puertas mediante medidas organizativas.

4- Limpiar los filtros de los equipos de climatización semanalmente.

5- Utilización de cortinas en ventanas y puertas para disminuir la ganancia de calor.

6- Apagar los equipos de climatización en habitaciones vacías.

Iluminación:

1- Pintar paredes, techos, y columnas de colores claros.

2- Disminuir la altura de las lámparas.

3- Cambiar señales de salida de incandescentes a diodos emisores de luz (LED).

4- Aprovechar al máximo la luz natural, colocando papel traslúcido en ventanas y puertas de vidrio, dejando pasar la luz y rechazando el calor.

Datos y comunicaciones:

1. Encender el computador solo cuando se vaya a utilizar.
2. Apagar el computador durante los períodos de comida o equivalentes, en caso de reuniones o actividades similares de duración superior a una hora, al final de la jornada laboral y durante los fines de semana o días de ausencia del puesto de trabajo.
3. Apagar las impresoras locales siempre que no estén siendo utilizadas.

4. Configurar la computadora para activar el modo “dormir” de acuerdo con las necesidades.
5. Configurar el equipo de Fax en la modalidad “dormir” después de 5 minutos de inactividad, para que se reactive automáticamente al enviar o recibir un fax.

Conclusiones parciales del capítulo

1. A partir del método analítico la carga de enfriamiento para el local de contabilidad dio como resultado un valor de 19,39 kW, a partir de considerar el simulador TRNSYS 16, este valor fue de 11,89 kW, un 63 % menos acercándose más a la capacidad del equipamiento instalado.
2. Como propuestas fundamentales formuladas para la reducción de la carga de enfriamiento en el local de contabilidad están: la sustitución de 12 luminarias fluorescentes T8 40 W por tubos LED de 24 W y la incorporación de falso techo a la altura de 3,10m.
3. Mediante la implementación de las propuestas de mejoras en el software, se logró una reducción en la carga térmica de 11,89 kW a 10,8 kW, es decir un 10 % menos, representando un ahorro de energía en las 8 horas de trabajo de la entidad de 261,6 kWh/mes.
4. A partir de la simulación de los locales restantes es evidente que existe la posibilidad de estudiar la presencia de equipos sobredimensionados. El local de gerencia de servicios técnicos integrales así como los talleres de ofimática para los cuales la potencia instalada es de 7,5 kW y 14,08 kW respectivamente muestra que con solo 3,98 kW y 9,33 kW se pueden satisfacer las condiciones dentro del local, incorporando un ahorro de energía de 506,88 kWh/mes y 684 kWh/mes.

Conclusiones generales

1. Del análisis bibliográfico se presentaron los distintos métodos para el cálculo de la carga de enfriamiento en las edificaciones donde los métodos de funciones de transferencia y balance de calor son los más precisos a pesar de necesitar de apoyo informático, así como las características del software profesional TRNSYS como una herramienta informática capaz de determinar la carga de enfriamiento de manera transitoria.
2. A partir del desarrollo de las metodologías de cálculo de las cargas térmicas, para el estudio se utilizó como método analítico, el método del balance térmico debido a su nivel de exactitud en comparación con otros métodos de cálculos como el HAP de Carrier y el empleo del TRNSYS como programa de comprobación de los resultados.
3. El resultado de la carga de enfriamiento aplicando el método analítico para el local de contabilidad mostró un valor de 19,39 kW, a partir de considerar el simulador TRNSYS 16, este valor fue de 11,89 kW, un 63 % menos acercándose más a la capacidad del equipamiento instalado.
4. Como propuestas fundamentales formuladas para la reducción de la carga de enfriamiento en el local de contabilidad están: la sustitución de 12 luminarias fluorescentes T8 40 W por tubos LED de 24 W y la incorporación de falso techo a la altura de 3,10 m, propuestas además que se pudieran implementar en otros locales de la empresa.
5. En la implementación de las propuestas formuladas para el local de contabilidad, se logró una reducción en la carga térmica de 11,89 kW a 10,8 kW, es decir un 10 % menos, representando un ahorro de energía en las 8 horas de trabajo de la entidad de 261,6 kWh/mes.
6. El local de gerencia de servicios técnicos integrales así como los talleres de ofimática para los cuales la potencia instalada es de 7,5 kW y 14,08 kW respectivamente revela que con solo 3,98 kW y 9,33 kW se pueden garantizar las condiciones térmicas, representando un ahorro de energía de 506,88 kWh/mes y 684 kWh/mes.

Recomendaciones

1. Analizar cada uno de los locales por otros métodos de cálculos de cargas térmicas como el HAP de Carrier, para tener un criterio más exacto de los resultados presentados en el estudio.
2. Valorar haciendo un análisis económico si las medidas propuestas para el local de contabilidad (aislante y luminarias LED) presentan ahorros significativos en función de la reducción de la carga de enfriamiento.

Bibliografía

Acosta, L. S. (2007). Opción general de certificación energética.

Alfageme, A. S. (2013). *Climatización y ventilación de un edificio de oficinas en Bilbao* Madrid: Universidad Pontificia, Comillas Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI)

ASHARE. (1997). *Fundamentals Handbook.* Atlanta, Georgia.

ASHRAE. (2004). Thermal environmental conditions for human occupancy.

Bahar, Y. N. (2013). A thermal simulation tool for building and its interoperability through the building information modeling (BIM) platform. *Buildings, 3(2),* 380-398

Barrio, C. E. d. (2010). *Diseño de una instalación híbrida solar térmica de trigeneración multipropósito para un edificio multivivienda en Oviedo* Recuperado de: http://e-rchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10055/PFC_Carlos_Espinar_delBarrio.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Barroso, B. M. C. (2013). *Cálculo de cargas térmicas*. Gran Canaria: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Bhaskoro, P. (2013). Simulation of energy saving potential of a centralized HVAC systems in an academic building using adaptive cooling technique. *Energy Conversion and Management., 75*, 380-398.

Cabrera, D. G. C. R. M. (2015). Protección solar para edificios en Cuba. Energía y tú. Conciencia energética: Respeto ambiental. *Científico – popular trimestral de Cuba, 69*, 4.

Colectivo de Autores (2010). Cálculo de cargas térmicas.

CARRIER. (2009). *Manual de aire acondicionado*. New York.

Colectivo de Autores, (2006). Código técnico de la edificación.

Commission Delegated Regulation (2011). *Official Journal of the European Union, 626/2011*. España

Corredera, J. D. C. C. (2006). Ahorro de energía en refrigeración de edificios para viviendas y propuesta de indicadores de eficiencia y valores admisibles. *Avances en energías renovables y medio ambiente, 10*, 10.

Díaz, J. (2001). *Procedimiento para evaluar la eficiencia energética de los sistemas de climatización y refrigeración de expansión directa (DX) con condensadores de aire y evaporativos* Caracas. Recuperado de: http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/972/980/6135.pdf

Unión Europea (2010) *Directive 2010/31/EU*. España: EU

Edificaciones. Requisitos de diseño para la eficiencia energética. Parte 1: Envolvente del edificio. (2002). *ININ/ Oficina Nacional de Normalización, Part 1: Building envelope* (NC 220-1), 14.

Eficiencia energética de aires acondicionados. (2014). Recuperado de

http://www.climadesign.com.ar/novedades/eficiencia-energetica.php

G.Figueredo, A. B., R. Spotorno, J. Pochettino, F. Benitez (2004). Climatizacion por adsorción-evaporación en clima subtropical. *ASADES,* 8, (1), 6.

Gil, F. B. (2013). Aire acondicionado y su nivel de eficiencia energética (EER y COP). Recuperado de: http://arquitecnide.blogspot.com/2013/07/aire-acondicionado-y-su-nivel-de.html

Gomis, P. S. (2015). *Climatización de un auditorio en Salamanca.*, Escuela técnica superior de ingeniería (ICAI). Madrid. Recuperado de: https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/2954/PFC000400.pdf?sequence=1&isAll

Hernández, M. (2013). Estudio sobre el almacenamiento de agua helada en los sistemas de climatización centralizados. *Ingeniería Energética*. (3). 252-262.

Ignacio Zabalza, E. L., Alfonso Aranda, Amaya Martínez, Sabina Scarpellini, Francisco Barrio. (2007). El ahorro energético en el nuevo código técnico de la edificación. *CTE*

Instalaciones de climatización y ventilación. (2014). 81.

Jara, P. (2016). Confort térmico, su importancia para el diseño arquitectónico y la calidad ambiental del espacio. *A+ C, 7(7)*.

Jiménez, M. N. P. (2011). Eficiencia energética de los edificios: Repercusión medioambiental. *Directivos y Garantías Fundamentales, 5*, 19.

Lorenzo, E. (2009). *Ahorro energético en edificaciones mediante la utilización de sistemas pasivos de climatización.*

Lapido Rodríguez, M. et al. (2007). *Consideraciones sobre refrigerantes y cargas térmicas.*, Universidad de Cienfuegos: CEEMA.

Marinic, I. (2006). *Respuestas térmicas dinámicas en edificios: control térmico a través de la climatización natural.* Recuperado de: http://www.tdx.cat/handle/10803/6118

Martínez, F. J. R. (2008). Calificación energética de la facultad de educación y trabajo social de la uva. España: Universidad de Valladolid.

Martínez, F. J. R., & Gómez, E. V. (2006). Eficiencia energética en edificios: certificación y auditorías energéticas. España: Editorial Paraninfo.

Menéndez, H. G. (2014). *Rehabilitación energética de edificios*. Madrid.

Menjívar, J. (2006). *Metodología alternativa para el cálculo de la carga térmica.* Universidad Centroamericana ¨José Simeón Cañas¨.

Nordelo, A. B. (2002). *Ahorro de energía en sistemas termomecánicos.*, Cienfuegos. Universosur

Parra, M. D. S. G. (2011). *Análisis para el desarrollo de un plan ambiental en la universidad autónoma de baja California.*, Universidad Autónoma de Baja California Recuperado de: http://negro.iing.mxl.uabc.mx/~pau/wp-content/uploads/2014/10/Analisis-para-el-desarrollo-de-un-plan-ambiental-

en-la-UABC.pdf

Pérez, M. E. (2012). *Análisis de estrategias para el almacenamiento de frío y su efecto en el comportamiento energético de los sistemas de climatización centralizados. Caso de estudio hotel Jagua.* (Trabajo de Diploma) Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.

Pérez, M. S. (2012). Análisis de edificación y sostenibilidad. Recuperado de http://oa.upm.es/20781/1/INVE_MEM_2012_132867.pdf

Plata, G. (2010). Desarrollo sostenible en edificaciones. *UIS Ingenierías 9*, 19.

Plaza, J. G. (2013). Proyecto de mejora energética en edificio de oficinas. *RiuNet.*

Prado, G. J. T. (2006). Cálculo de cargas térmicas física.

Renedo, C. J. (2014). Cargas térmicas de refrigeración y acondicionamiento de aire. España: Universidad de Cantabria., 60.

Rey, F. J. (2014). *Sostenibilidad y eficiencia energética en edificios.* Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos.

RITE. (1998). In M. d. l. presidencia. España: Unión Europea.

Rodríguez, M. L. (2009). Consideraciones sobre refrigerantes y cargas térmicas.

Solís, D. (2008). Efecto de la orientación de una vivienda económica en el confort y consumo eléctrico por climatización: Clima cálido-seco. *Av energ renov medio ambiente,.3 (3)*.

Tamayo, A. (2015). *Análisis del sistema de climatización en la oficina de desarrollo de la empresa DATYS. Habana.*, (Tesis de Maestría) Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.

Tello, C. P. (2003). *Comportamiento térmico de edificios.*, California.

TRNSYS 16 (Version 4.0.0.0-16.00.0037). (2005). Estados Unidos: University of Wisconsin-Madison

TRNSYS 16 Manual. (2016).Multizone Building modeling with type 56 and TRNBuild. 6. University Wisconsin-Madison

Vila, M. B. (2007). Certificación Energética en edificios. *Calener-GT*, 42.

Zabalza, I., Díaz, S., & Aranda, A. (2008). Manual práctico de certificación energética de edificios. España: Universidad de Zaragoza.

Zambrano, J. (2009). Metodología para aplicación de auditorías energéticas a sistemas de aire acondicionado tipo expansión directa. *Ciencias aplicadas a la ingeniería mecánica. Energía.*

Anexos

Anexo # 1: Calor liberado por las personas según su actividad.("Instalaciones de climatización y ventilación.," 2014)

	28 °C		27 °C		26 °C		24 °C	
Cuadro de actividad	*Sensible*	*Latente*	*Sensible*	*Latente*	*Sensible*	*Latente*	*Sensible*	*Latente*
Sentado en reposo	52	52	58	47	64	41	70	30
Sentado trabajo ligero	52	64	58	58	64	52	70	47
Oficinista con actividad moderada	52	81	58	76	64	70	70	58
Persona de pie	52	81	58	87	64	81	76	70
Persona que pasea	52	93	58	87	64	81	76	70
Trabajo sedentario	58	105	64	99	70	93	81	81
Trabajo ligero taller	58	163	64	157	70	151	87	134
Persona que camina	64	186	70	180	81	169	99	151
Persona que baila	81	215	87	204	99	198	110	180
Persona en trabajo penoso	134	291	140	291	145	285	151	268

Anexo # 2: Valores de k para distintos materiales de la construcción.

Elemento constructivo	$W/m^2\,°C$
PARED	
Ladrillo revestido por ambos lados 100 mm	3.24
Ladrillo revestido por ambos lados 150 mm	2.50
Ladrillo revestido por ambos lados 200 mm	2.44
Bloque hueco de cerámica roja 150 mm	1.90
Hormigón armado denso 150 mm	3.58
Hormigón armado denso 200 mm	3.18
Bloque hueco de hormigón ligero 200 revestido por ambos lados	2.30
Dry wall	0.60
Plancha de asbestocemento y estructura metálica	6.53
CUBIERTA	
Losa de hormigón armado 100 mm, membrana asfáltica y revestimiento yeso interior	2.50
Losa de hormigón armado 100 mm, relleno y soladura y revestimiento de yeso interior	1.16
Vigueta y Bovedilla de poliestireno, membrana asfáltica y revestimiento de yeso interior	0.59
Vigueta y Bovedilla de hormigón, membrana asfáltica y revestimiento de yeso interior	1.92
Láminas Acanaladas de asbesto cemento	7.95

Anexo # 3: Cálculo del caudal de ventilación.

Antes de proceder al cálculo del caudal de aire por ventilación se hace necesario establecer la calidad de aire que se requiere dentro del local. Para tal efecto la Unión Europea en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (R.I.T.E.) establece distintas categorías en la calidad de aire interior (IDA) exigibles a los edificios en función del uso que se haga de ellos, a saber:

• **IDA 1:** Es la categoría de calidad óptima del aire. Se exige en edificios de uso muy sensibles, tales como, hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.

• **IDA 2:** Significa una calidad de aire buena. Se suele exigir esta calidad de aire para oficinas, salas comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y estudiantes, salas de lectura, bibliotecas, museos, salas de tribunales, colegios y aulas de enseñanzas, piscinas cubiertas.

• **IDA 3:** Calidad de aire media. Tipo de aire válido para el grueso de edificios, tales como, edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, hostales y pensiones, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, establecimientos deportivos (salvo piscinas), salas para uso de ordenadores.

• **IDA 4:** Corresponde a un tipo de aire de calidad baja. Para el resto de edificios no mencionados.

Según lo referido la categoría aplicable a las oficinas que son objeto de estudio es la IDA 2.

Una vez establecido la calidad de aire interior, hay que calcular el caudal mínimo de aire exterior de ventilación que garantice que se va a alcanzar dicha calidad. Este aporte de aire limpio del exterior es lo que se conoce también por renovación o ventilación del aire contenido en el interior de las instalaciones. Para saber el número de renovaciones necesarias o caudales de aporte de aire exterior y conociendo el uso que se le da a las instalaciones, se debe consultar tablas especializadas donde brindan estos datos. En este trabajo se utilizó la incluida en la norma DIN 1946 (tabla 7) que indica el número de renovaciones por hora, para cada tipo de establecimiento o local. Con ello se obtiene el caudal mínimo requerido de ventilación de aire exterior a partir de la siguiente fórmula:

$Q = V \cdot N \qquad [m^3/h]$

Dónde:

V: Volumen que ocupa el local o establecimiento en m^3

N: Número de renovaciones por hora en función del uso dado al local o edificio.

Si V = 7.2m * 6m * 3.9m = 168.48 m^3 y se toman 6 renovaciones por horas entonces:

Q = 168.48 * 6 =1010.88 m^3/h => 0,280 m^3/s

Renovaciones de aire en locales.

Tipo de Local		Nº. Renovaciones de aire por hora
WC, inodoros	Privados	4-5
	Públicos	8-15
Aseos y baños		5-7
Duchas		15-25
Bibliotecas		4-5
Oficinas		4-8

Otro procedimiento ampliamente utilizado por proyectistas e instaladores es el llamado *"Método indirecto de caudales de aire exterior por persona"*. Este es un procedimiento que se aplica especialmente en locales que tienen una baja producción de contaminantes provenientes de fuentes diferentes del ser humano y cuando no está permitido fumar en el local, como es el caso de las instalaciones analizadas. Para ello basta con emplear los valores indicados en la siguiente tabla:

Caudales de aire exterior, en dm^3/s y por persona.("RITE," 1998)

Caudales de aire exterior, en dm^3/s por persona	
Categoría del aire interior exigible	dm^3/s por persona
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5

Siguiendo este método para el local de contabilidad, en el cual trabajan personas:

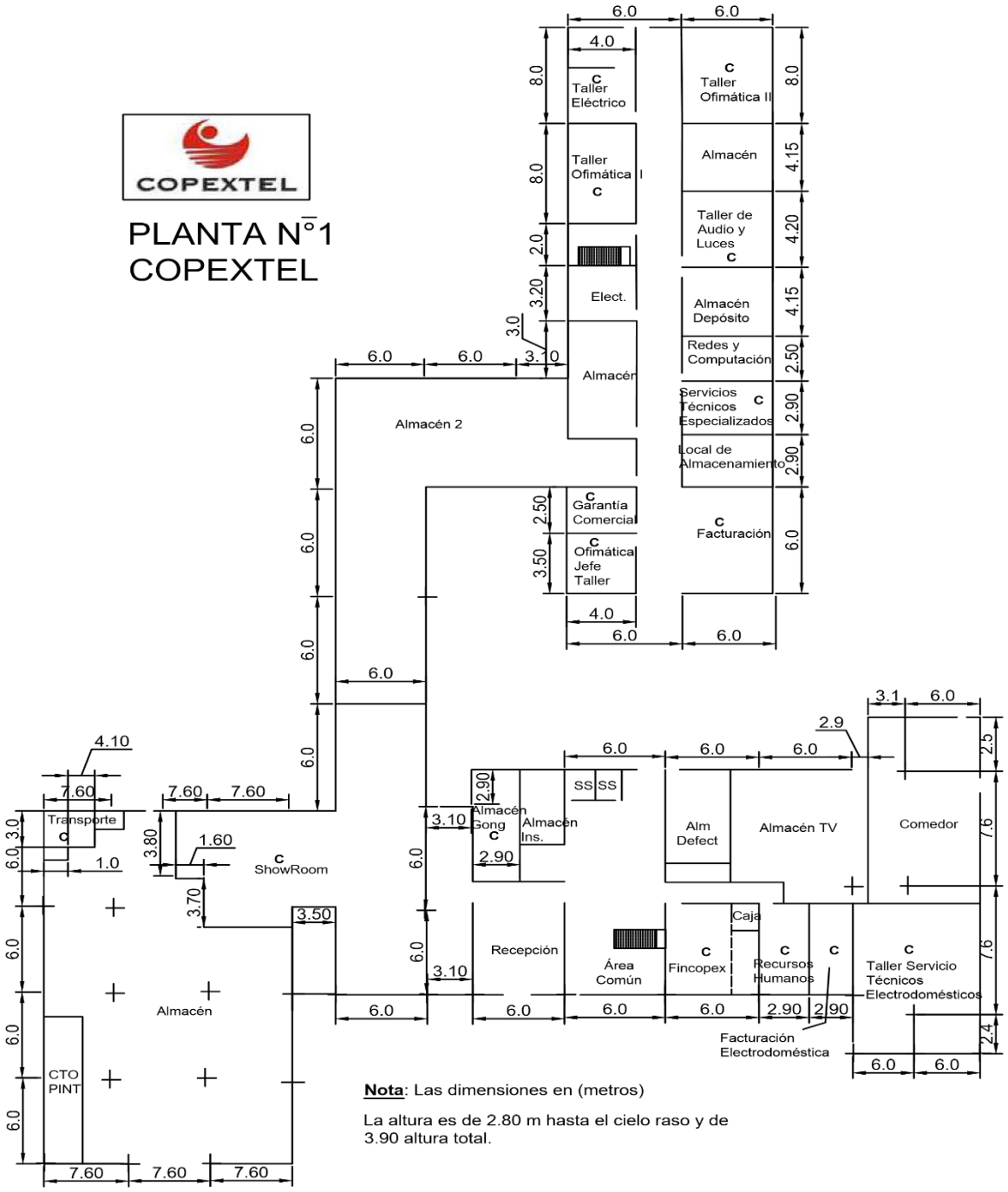
12,5 * 5 = 62.5 dm^3/s => 0.625 m^3 /s

Para una mayor exactitud se tomará una media entre los resultados obtenidos en ambos métodos:

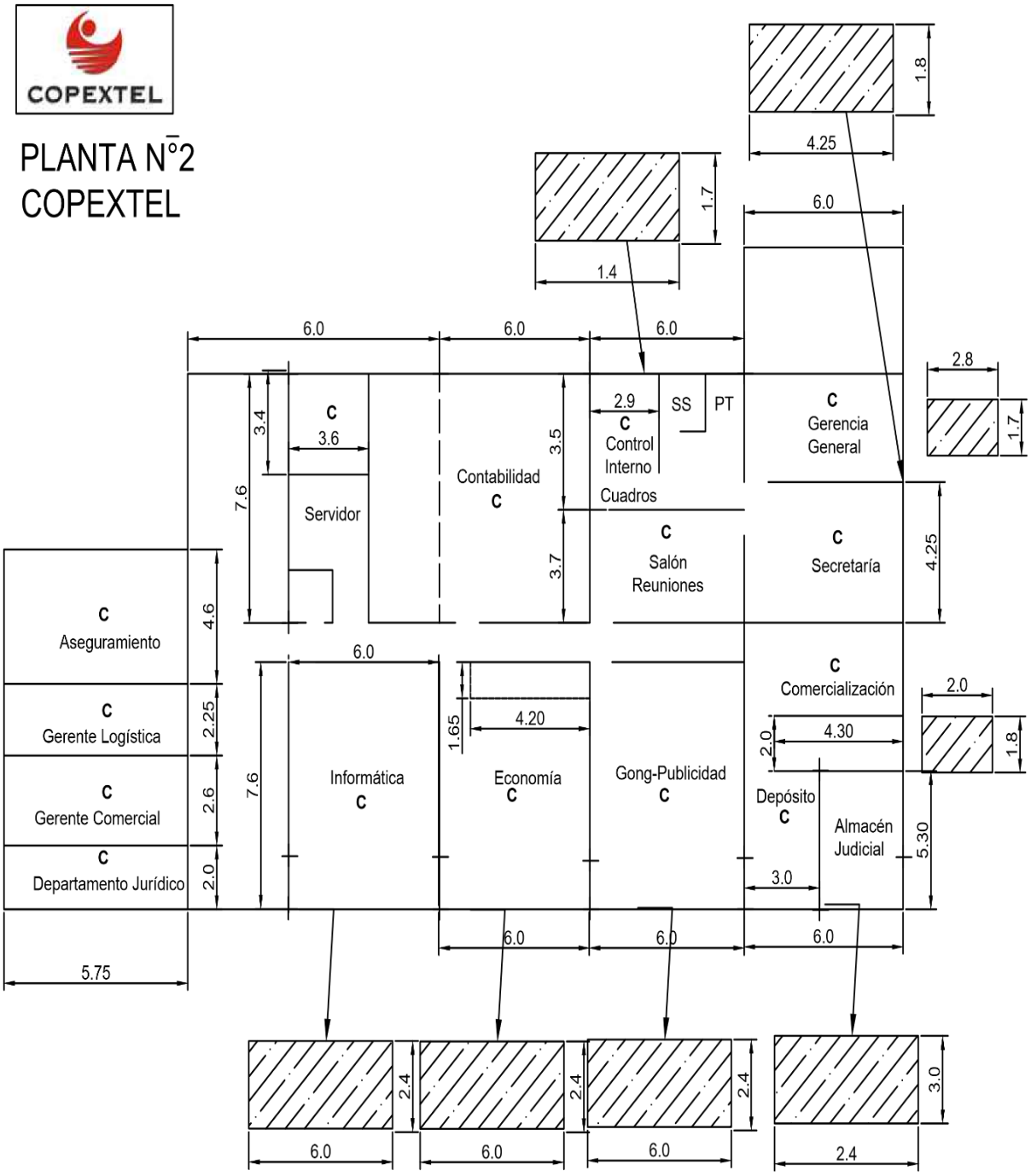
Media entre 0.280 m^3/s y 0.625 m^3 /s = 0.452 m^3 /s

Para local de Contabilidad: $Q_{Local\ 1}$ = 0.452 m^3 /s

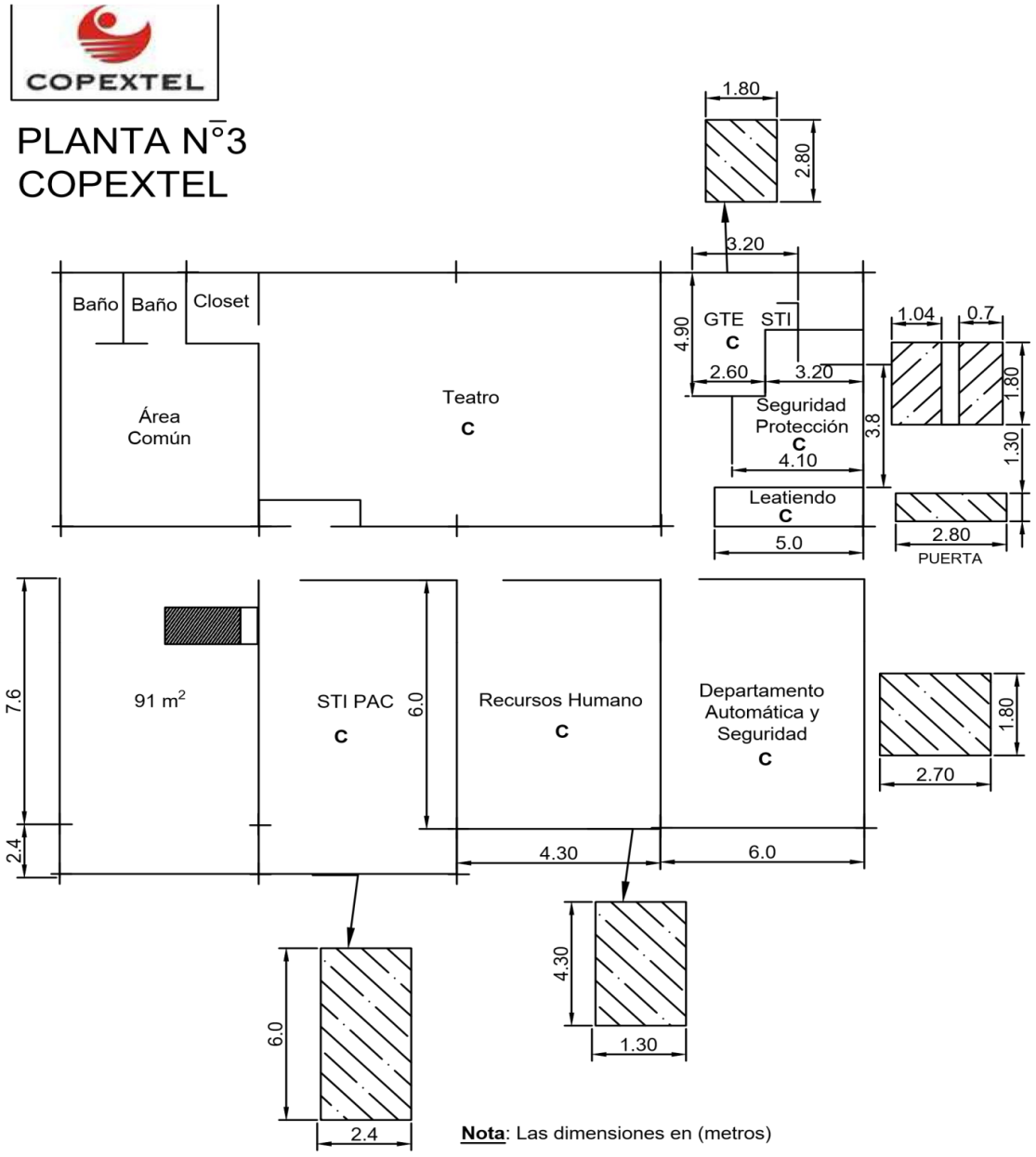
Anexo # 4: Vista en planta del primer piso del edificio Copextel Cienfuegos. (Elaboración propia).



Anexo # 5: Vista en planta del segundo piso del edificio Copextel Cienfuegos. (Elaboración propia).



Anexo # 6: Vista en planta del tercer piso del edificio Copextel Cienfuegos. (Elaboración propia).



Anexo # 7: Cámara termográfica Testo i-870. (Elaboración propia).

Anexo # 8: Medidor dual de temperatura-velocidad modelo PCE-AM 82. (Elaboración propia).

Velocidad del aire	
Rango de medición	80…4000fpm
Resoluciones	1 fpm
Precisiones	+/- 40 fpm +/- 2% of m.v.
Temperatura	
Rango de medición	14…122°F
Resoluciones	0,1 °F
Precisiones	+/- 0,9°F

Anexo # 9: Pasos para calcular el coeficiente global de transmisión térmica de la ventana:

El coeficiente global de transmisión térmica de la ventana se obtiene mediante la siguiente expresión:

$U_{ventana} = U_{cristal} * (1 - FM) + FM * U_{marco}$

Dónde:

$U_{cristal}$ Transmitancia térmica de la zona acristalada [W/ m^2 K].

F_M Fracción del hueco ocupada por le marco.

U_{marco} Transmitancia térmica del marco [W/ m^2 K].

En el caso de las ventanas el marco es de perfil de aluminio (U_{marco} = 2,8 W/m^2K) mientras que los paños son de vidrio opalescente oscuro de 6mm (U_{marco} = 4,1 W/m^2K). Para conocer la fracción del hueco ocupada por el marco se tiene que:

$A_{total\ ventana}$ = 2.24 m^2

$A_{marco\ ventana}$ = 0.06 * (4 * 1.9) + 0.06 * (3 * 1.18) m^2 = 0.69 m^2 => que representa un 30.8 % del $A_{total\ ventana}$

Con estos datos es posible calcular este coeficiente como sigue:

$U_{ventana} = [(1 – 0.308) * 4,1 + (0.308 * 2,8)] = 3,7$ W/m^2K

Anexo # 10: Cálculo del factor de corrección de la radiación solar.

El factor de corrección de la radiación solar (F) se determinará utilizando la siguiente expresión:

$F= F_s * [(1 - FM) * g_{\perp} + FM * 0.04 * U_m * \alpha]$

Dónde:

F_S Factor de sombra del hueco o lucernario obtenido en función del dispositivo de sombra

F_M Fracción del hueco ocupada por el marco en el caso de ventanas o la fracción de parte maciza en el caso de puertas.

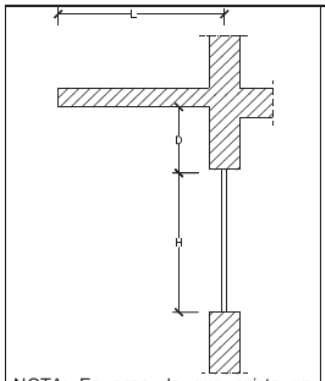
$g_{\perp}$ Factor solar de la parte semitransparente del hueco o lucernario.

U_m Transmitancia térmica del marco del hueco o lucernario [W/ m^2 K];

α Absortividad del marco obtenida en función de su color.

El factor de sombra para voladizos, que es lo que se utiliza en las ventanas de esta instalación, se obtiene de la siguiente tabla conociendo que L = 1.95m, D= 1.18m y H=1.9m (D/H= 1,23 y L/H = 1,18).

Tabla 1. Factor de sombra para obstáculos de fachada (F_S): Voladizo



NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

ORIENTACIÓNES DE FACHADAS		0,2 < L / H ≤ 0,5	0,5 < L / H ≤ 1	1 < L / H ≤ 2	L / H > 2
S	0 < D / H ≤ 0,2	0,82	0,50	0,28	0,16
	0,2 < D / H ≤ 0,5	0,87	0,64	0,39	0,22
	D / H > 0,5	0,93	0,82	0,60	0,39
SE/SO	0 < D / H ≤ 0,2	0,90	0,71	0,43	0,16
	0,2 < D / H ≤ 0,5	0,94	0,82	0,60	0,27
	D / H > 0,5	0,98	0,93	0,84	0,65
E/O	0 < D / H ≤ 0,2	0,92	0,77	0,55	0,22
	0,2 < D / H ≤ 0,5	0,96	0,86	0,70	0,43
	D / H > 0,5	0,99	0,96	0,89	0,75

Se obtiene que el factor de sombra es 0,89 para las ventanas al Este.

Anexo # 11: Coeficiente global de transmisión térmica de las puertas

Para calcular del coeficiente global de transmisión térmica de las puertas se utiliza la siguiente expresión:

$U_{puerta} = U_{lamina} * [(1 - FM) + FM * U_{marco}]$

Dónde:

U_{lamina} Transmitancia térmica de la zona acristalada [W/ m^2 K].

F_M Fracción de parte maciza en el caso de puertas.

U_{marco} Transmitancia térmica del marco de la puerta [W/ m^2 K].

En el caso de las puertas utilizadas en esta instalación el marco es de aluminio (U_{marco} = 2.8 W/m^2K) mientras que los paños son de PVC[2] (U_{marco} = 0.17 W/m^2K). Para conocer la fracción del hueco ocupada por el marco se tiene que:

$A_{total\ puerta}$ = 1.03 * 2,08 = 2.14 m^2

$A_{marco\ puerta}$ = 0.11 * (2* 2.1) + 0.11 * (3*0.9) = 0.76 m^2 => que representa un 35.51 % del $A_{total\ puerta}$

Con estos datos es posible calcular este coeficiente como sigue:

$U_{puerta} = [(1 – 0.3551) * 0,17 + (0.3551 * 2.8)] = 1.10$ W/m^2K

[2] PVC: Policloruro de Vinilo

Anexo # 12. Tabla de contenido de humedad.

Temp. de bulbo seco en °C	Presión del vapor en Pa	Vol. específico de vapor en m³/kg	Vol. específico de aire en m³/kg	Humedad relativa (HR)																			
				5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
				Humedad absoluta en g/kg																			
23	2 810,4	48,68	0,8387	0,86	1,73	2,60	3,47	4,34	5,22	6,10	6,98	7,86	8,75	9,64	10,50	11,40	12,30	13,20	14,10	15,00	15,90	16,80	17,70
24	2 985,1	45,99	0,8416	0,92	1,84	2,76	3,69	4,61	5,55	6,48	7,42	8,36	9,30	10,20	11,20	12,10	13,10	14,10	15,00	16,00	16,90	17,90	18,90
25	3 169,2	43,46	0,8444	0,97	1,95	2,93	3,92	4,90	5,89	6,88	7,88	8,88	9,88	10,90	11,90	12,90	13,90	14,90	16,00	17,00	18,00	19,00	20,10
26	3 363,1	41,10	0,8472	1,03	2,07	3,11	4,16	5,20	6,26	7,31	8,37	9,43	10,50	11,60	12,60	13,70	14,80	15,90	17,00	18,10	19,20	20,30	21,40
27	3 567,3	38,87	0,8501	1,10	2,20	3,30	4,41	5,52	6,64	7,76	8,88	10,00	11,10	12,30	13,40	14,60	15,70	16,90	18,00	19,20	20,40	21,50	22,70
28	3 782,2	36,79	0,8529	1,16	2,33	3,50	4,68	5,86	7,04	8,23	9,43	10,60	11,80	13,00	14,20	15,50	16,70	17,90	19,10	20,40	21,60	22,90	24,10
29	4 008,3	34,83	0,8558	1,23	2,47	3,71	4,96	6,21	7,47	8,73	10,00	11,30	12,60	13,80	15,10	16,40	17,70	19,00	20,30	21,60	23,00	24,30	25,60
30	4 246,0	32,99	0,8586	1,31	2,62	3,93	5,26	6,58	7,92	9,26	10,60	12,00	13,30	14,70	16,00	17,40	18,80	20,20	21,60	23,00	24,40	25,80	27,20
31	4 495,9	31,25	0,8614	1,38	2,77	4,17	5,57	6,98	8,39	9,81	11,20	12,70	14,10	15,60	17,00	18,50	19,90	21,40	22,90	24,40	25,90	27,40	28,90
32	4 758,5	29,63	0,8643	1,46	2,93	4,41	5,90	7,39	8,89	10,40	11,90	13,40	15,00	16,50	18,00	19,60	21,10	22,70	24,30	25,90	27,40	29,00	30,60
33	5 034,3	28,10	0,8671	1,55	3,11	4,67	6,24	7,82	9,41	11,00	12,60	14,20	15,80	17,50	19,10	20,80	22,40	24,10	25,70	27,40	29,10	30,80	32,50
34	5 323,9	26,65	0,8700	1,64	3,29	4,94	6,61	8,28	9,96	11,70	13,40	15,10	16,80	18,50	20,20	22,00	23,70	25,50	27,30	29,10	30,90	32,70	34,50
35	5 627,8	25,30	0,8728	1,73	3,47	5,23	6,99	8,76	10,50	12,30	14,10	15,90	17,80	19,60	21,40	23,30	25,20	27,00	28,90	30,80	32,70	34,60	36,60
36	5 946,6	24,02	0,8756	1,83	3,67	5,52	7,39	9,26	11,10	13,00	15,00	16,90	18,80	20,70	22,70	24,70	26,60	28,60	30,60	32,70	34,70	36,70	38,80
37	6 281,0	22,81	0,8785	1,93	3,88	5,84	7,81	9,79	11,80	13,80	15,80	17,80	19,90	22,00	24,00	26,10	28,20	30,30	32,50	34,60	36,80	38,90	41,10
38	6 631,2	21,68	0,8813	2,04	4,10	6,17	8,25	10,30	12,50	14,60	16,70	18,90	21,00	23,20	25,40	27,60	29,90	32,10	34,40	36,60	38,90	41,20	43,60

Anexo # 13. Resultados del cálculo de cargas térmicas para los locales de la empresa.

Primer piso	**W**	**kW**
Facturacion electrodoméstica	8 491,92	8,49
Facturacion	23 238,40	23,24
Fincopex	10 473,53	10,47
Garantía comercial	5 012,12	5,01
Gong	3 279,95	3,28
Ofimática jefe de taller	6 756,71	6,76
Recursos humanos	6 887,13	6,89
Servicios técnicos electrodomésticos	63 817,59	63,82
Servicios técnicos especializados	8 807,72	8,81
Showroom	126 503,60	126,50
Taller audio y luces	12265,59	12,27
Taller eléctrico	15 265,68	15,27
Taller ofimática 1	15 546,34	15,55
Taller ofimática 2	20 754,91	20,75
Transporte	11 590,55	14,58
Segundo piso		
Aseguramiento	13 587,72	13,59
Comercialización	1 137,40	1,14

Contabilidad	19 386,89	19,39
Control interno	4 732,28	4,73
Depósito	2 760,37	3,76
Dirección económica	18 525,38	18,53
Departamento jurídico	2 160,62	4,78
Departamento informática	19 406,94	19,41
Gerencia comercial	665 444	6,65
Gerencia general	6 689,50	6,69
Gerencia logística	5 869,51	5,87
Gong (Publicidad)	17 876,13	17,88
Salón de reuniones	5 737,29	5,74
Secretaría dirección	13 818,71	13,82
Servidor	3 926,73	3,93
Tercer Piso	,	
STI Pac	13 749,65	13,75
Recursos humanos (cerrado)	0,00	0,00
Dep. Automática y Seguridad (Redes)	16 588,38	16,59
Leatiendo	3 083,15	3,08
Seguridad y protección	7 233,80	7,23
Gerencia de servicios técnicos e integrales	7 499,93	7,50
Teatro	31 100,32	31,10

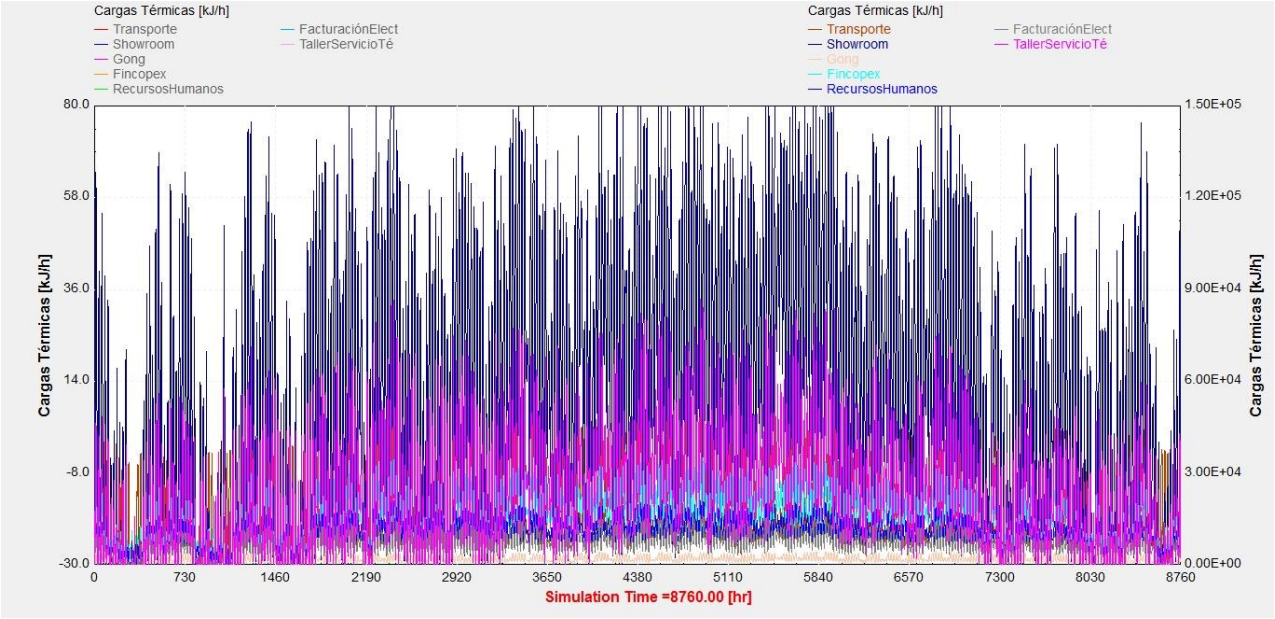
Anexo # 14: Datos reales medidos por el Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos par el año 2015.

	Temperatura		
Meses	**Media**	**Mínima**	**Máxima**
Enero	22.11	8	31.1
Febrero	21.1	4.9	32.9
Marzo	24.89	13.8	33.9
Abril	26.13	14.7	34.6
Mayo	21.5	17.9	34.2
Junio	26.54	19.2	35.7
Julio	27.34	21.3	35.7
Agosto	26.84	21.2	34.4
Septiembre	26.74	21.9	34.7
Octubre	25.78	18	32.9
Noviembre	25.53	17.5	32.4
Diciembre	25.04	19.5	31.5

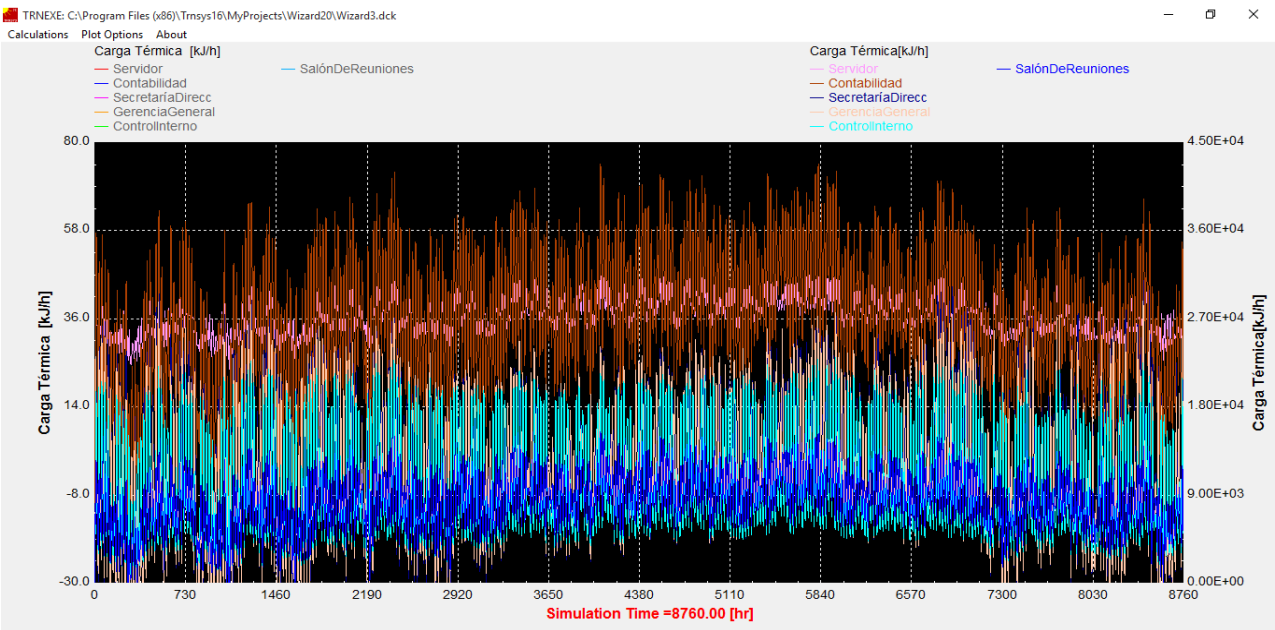
Anexo # 15: Requerimientos de entradas que maneja al programa.

InpNR	Nombre	Unidad	Descripción
1	TAMB	ºC	Temperatura ambiente.
2	ARELHUM	%	Humedad relativa del ambiente.
3	TSKY	ºC	Temperatura de la bóveda celeste.
4	ITNORTH	kJ/hr.m2	Incidencia de la radiación para orientación al Norte.
5	ITSOUTH	kJ/hr.m2	Incidencia de la radiación para orientación al Sur.
6	ITEAST	kJ/hr.m2	Incidencia de la radiación para orientación al Este.
7	ITWEST	kJ/hr.m2	Incidencia de la radiación para orientación al Oeste.
8	ITHORIZONT	kJ/hr.m2	Incidencia de la radiación para la horizontal.
9	ITSHADNORT	kJ/hr.m2	Incidencia de la radiación en las paredes sombreadas.
10	IBNORTH	kJ/hr.m2	Incidencia de la radiación directa para orientación al Norte.
11	IBSOUTH	kJ/hr.m2	Incidencia de la radiación directa para orientación al Sur.
12	IBEAST	kJ/hr.m2	Incidencia de la radiación directa para orientación al Este.
13	IBWEST	kJ/hr.m2	Incidencia de la radiación directa para orientación al Oeste.
14	IBHORIZONT	kJ/hr.m2	Incidencia de la radiación directa para orientación en la horizontal.
15	IBSHADNORT	kJ/hr.m2	Incidencia de la radiación directa para orientación en las paredes sombreadas.
16	AINORTH	Grados	Ángulo de incidencia en la orientación al Norte.
17	AISOUTH	Grados	Ángulo de incidencia en la orientación al Sur.
18	AIEAST	Grados	Ángulo de incidencia en la orientación al Este.
19	AIWEST	Grados	Ángulo de incidencia en la orientación al Oeste.
20	AIHORIZONT	Grados	Ángulo de incidencia en la orientación en la horizontal.
21	AISHADNORT	Grados	Ángulo de incidencia en la orientación en las paredes sombreadas.
22	T_COOL_ON	Entrada	Control de la temperatura de la habitación.

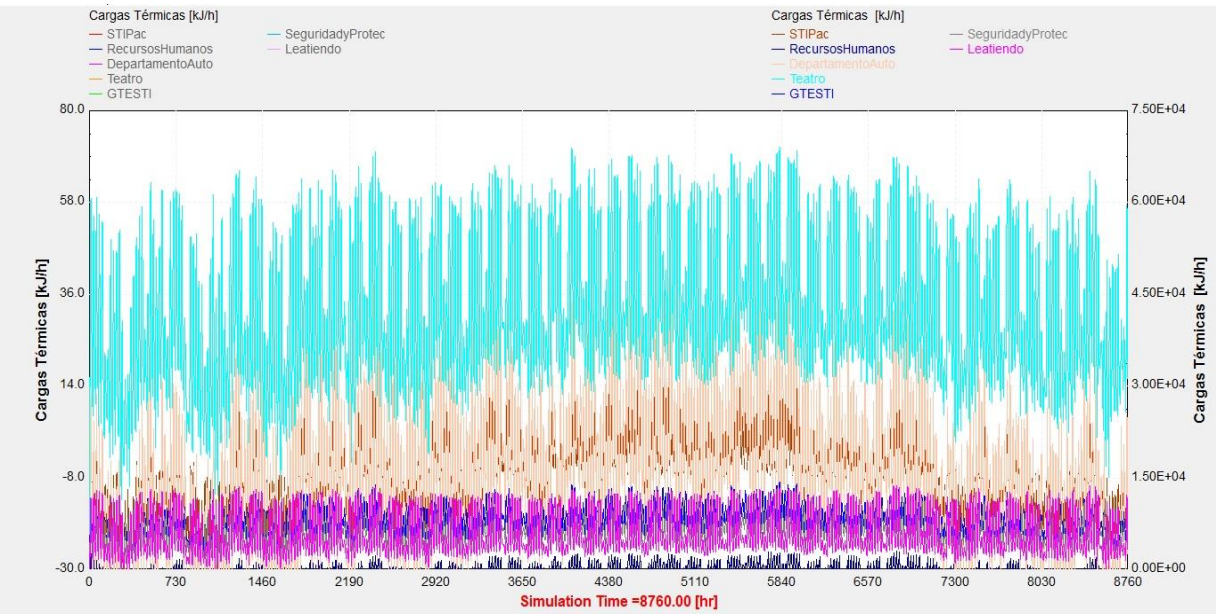
Anexo # 16: Comportamiento de las cargas térmicas para el primer piso.



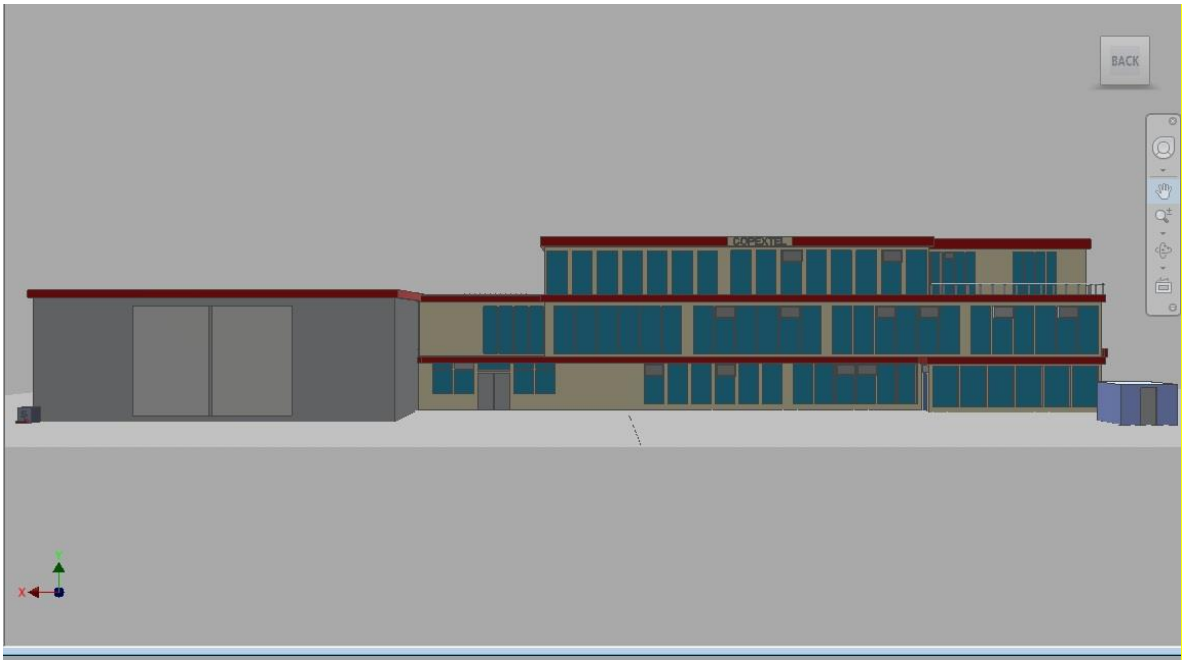
Anexo # 17: Comportamiento de las cargas térmicas para el segundo piso.

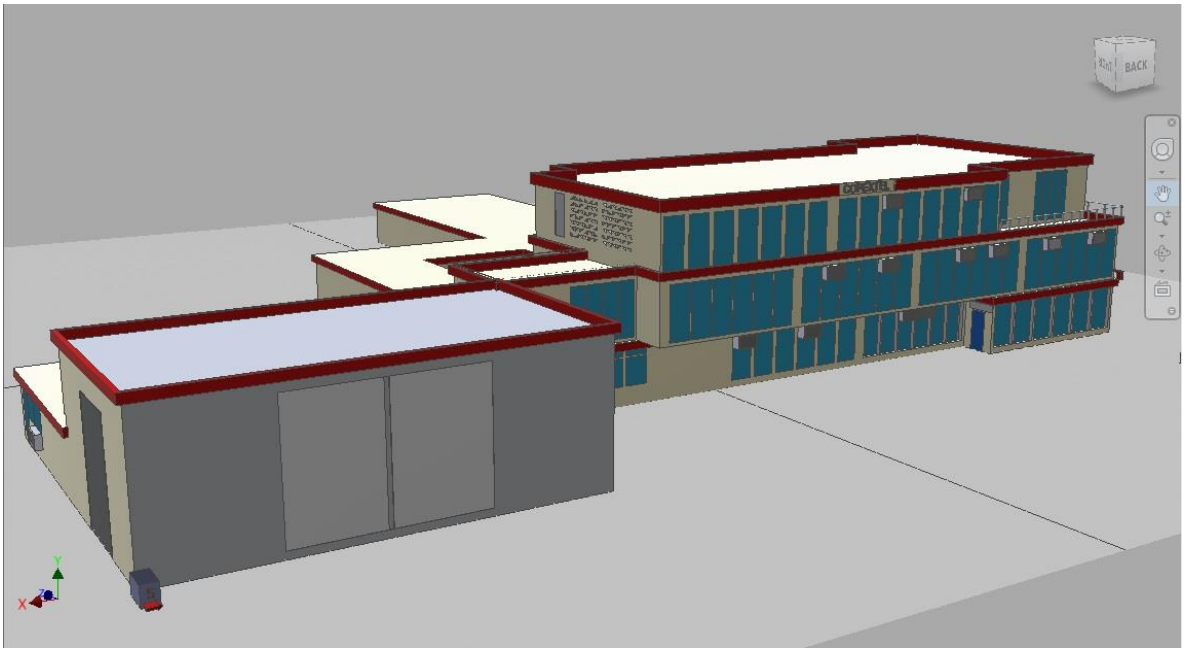


Anexo # 18: Comportamiento de las cargas térmicas para el tercer piso



Anexo # 19: Fachada Oeste de la empresa Copextel Cienfuegos. Autodesk inventor



Anexo # 20: Fachada Norte de la empresa Copextel Cienfuegos. Autodesk inventor

Anexo # 21: Vista isométrica de la empresa Copextel Cienfuegos. Autodesk inventor