



Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez.
Facultad de Ingeniería.
Departamento de Mecánica.
Carrera de Ingeniería Mecánica.
Cienfuegos

TRABAJO DIPLOMA

en opción al grado de Ingeniero Mecánico.

Título

**CLIMATIZADO DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES (CCM)
EN LA FÁBRICA DE CEMENTOS CIENFUEGOS S.A.**

Autor:

Jorge A Valladares López.

Tutores:

**Dr. Sergio Montelíer Hernández
MSc. Ing.: José Luis Romero Cabrera**

Realizado en Cienfuegos, República de Cuba.

Curso.
2016-2017.



Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez” como parte de la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica; autorizando a que el mismo sea utilizado por la institución para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin la aprobación de la Universidad.

Firma del autor

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

Firma del Tutor.

Información Científico Técnica

Nombres y Apellidos.

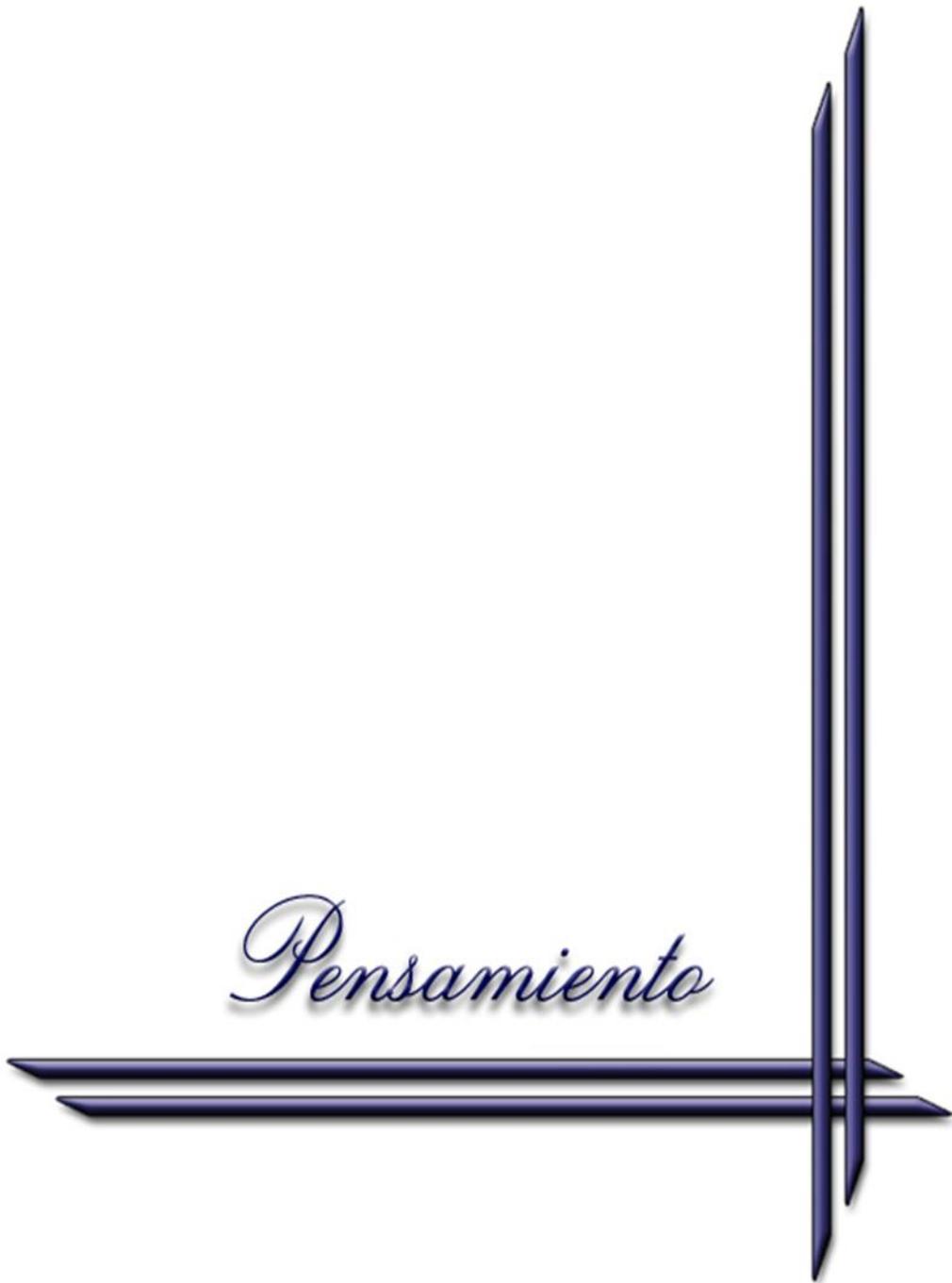
Computación

Nombres y Apellidos.

Sistema de Documentación de Proyectos

Nombres y Apellidos.

Pensamiento



¡Sólo perdura y es para bien, la riqueza que se crea, y la libertad que se conquista, con las propias manos!

José Martí.

Dedicatoria



A mis padres a toda mi familia y a mi novia

Agradecimientos

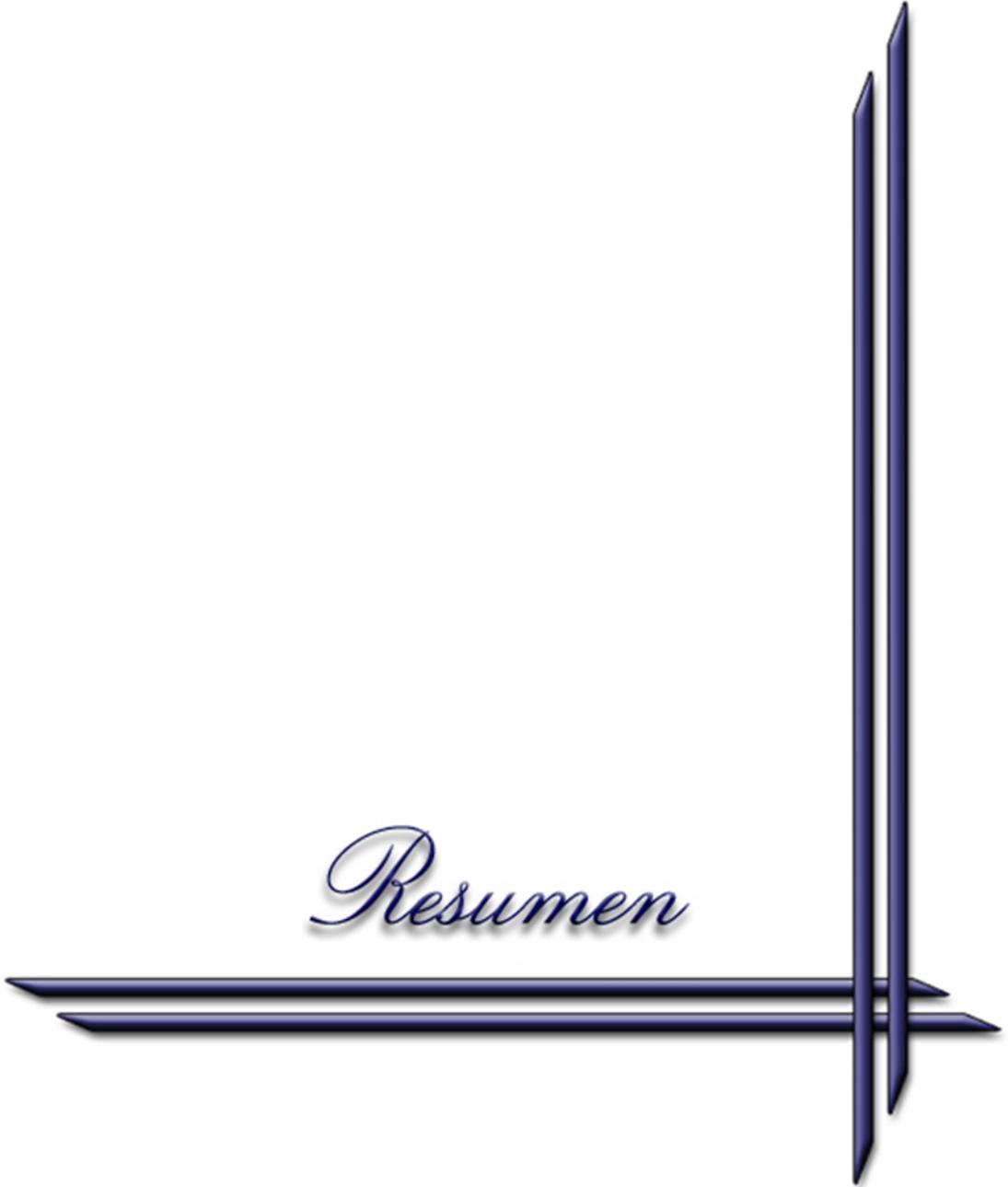


A todos los que en alguna medida han contribuido a mi formación y aquellos que hicieron posible la realización de este trabajo de diploma en especial:

A mis tutores, por su apoyo total y dedicación.

A mi familia, por la confianza absoluta que depositaron en mí.

Resumen

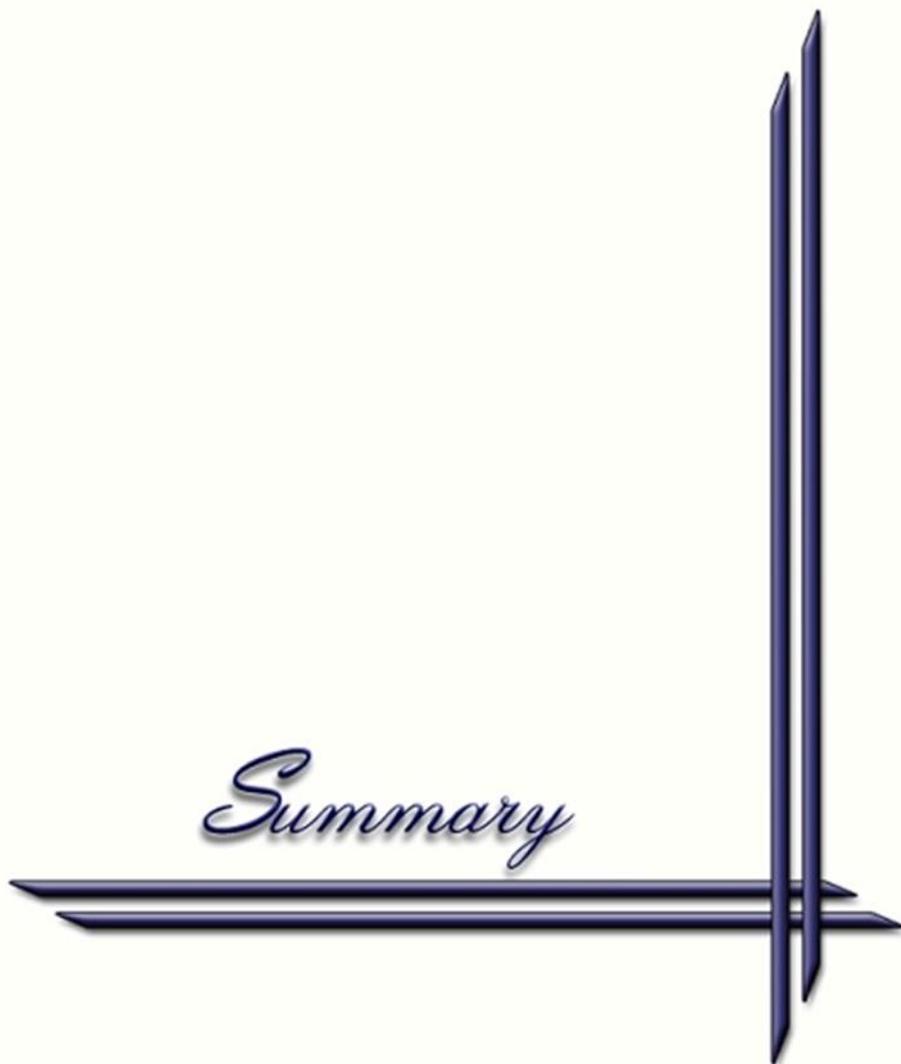


RESUMEN.

El presente trabajo aborda un estudio de climatización al local (CCM) de la Fábrica de Cemento Cienfuegos, con el objetivo de conocer y analizar las cargas térmicas de dicha área, así como determinar la capacidad de enfriamiento real que necesita para el dimensionado del equipamiento a instalar que satisfaga las demandas de confort, se realizó una investigación con el propósito de crear un diseño para la climatización de este local (CCM), donde existen varios factores que expresan las pérdidas del lugar en la cual se busca el valor de las cargas térmicas. Se tuvo en cuenta diferentes aspectos esenciales como la ubicación geográfica de la Fábrica de Cementos Cienfuegos S.A, teniendo presente las variables ambientales de temperatura y humedad relativa y su comportamiento anual. Se determinó que se necesitan 22 toneladas de refrigeración que operarán con refrigerante R-407A de bajo impacto ambiental.

Palabras claves: carga térmica, confort, temperatura, humedad relativa, climatizar, diseño.

Summary

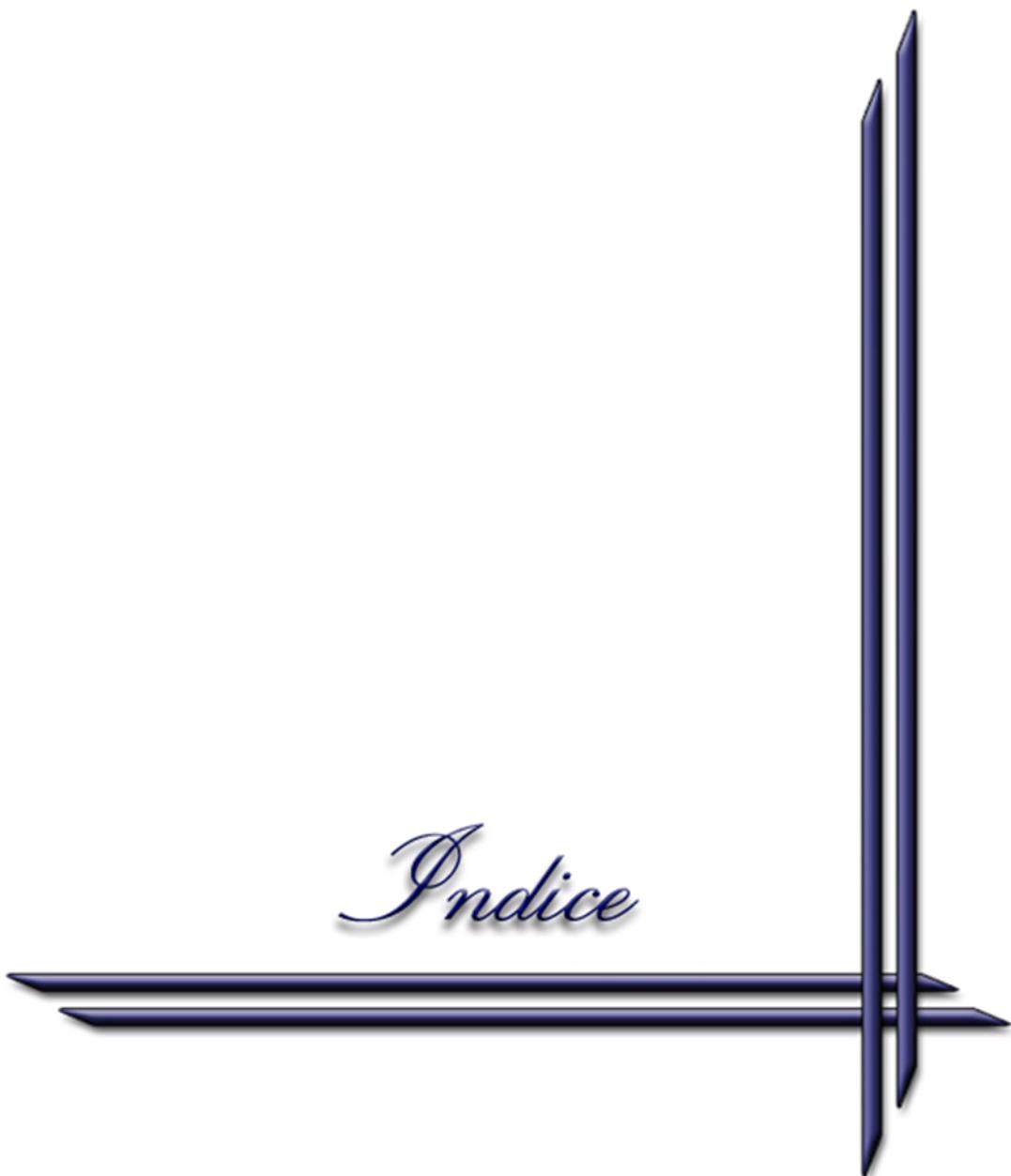


Summary

The present work discusses a study of air conditioning to the site (CCM) of Cemento Cienfuegos's Factory, for the sake of knowing and analyzing the thermic loads of said area, just like determining the capacity of real cooling that that he satisfies the requests of comfort he needs for the dimensioned one belonging to the equipment to install, an investigation in order to create a design for the air conditioning of this site came true (CCM), where there are several factors that the losses of the place which one looks for in express the value of the thermic loads. He had in account different essential aspects like the geographical localization of Cemento Cienfuegos S.A's Factory, bearing in mind the environmental variables of temperature and relative humidity and your yearly behavior. It was determined that they take 22 tons of refrigeration that will bring about with refrigerant R 407A of low environmental impact.

Keywords: Charge thermic, comfort, temperature, relative humidity, air-conditioning, design.

Indice



Índice

INTRODUCCIÓN.	17
Capítulo I: Fundamento teórico:	22
1.1 Despliegue histórico de la climatización y la refrigeración.	22
1.2 Climatización y condiciones de confort.	24
1.3 Clasificación de los sistemas de climatización.....	26
1.3.1 Sistemas todos refrigerantes.	29
1.3.2 Sistemas refrigerante-aire.....	30
1.3.3 Sistema todo agua.....	31
1.3.4 Sistema agua-aire.....	32
1.3.5 Sistemas todo aire.....	33
1.4 Sistemas de climatización de mayor interés en la actualidad.	35
1.4.1 Máquinas múltiples.....	35
1.4.2 Sistemas de climatización con válvulas de tres vías.....	36
1.4.3 Sistemas asimétricos.....	37
1.4.4 Sistemas de ventanas.....	37
1.4.5 Sistemas centralizados.....	38
1.5 Climatización y corrosión en salas de control eléctricas.....	38
1.6 Principales problemas de la climatización en la actualidad.....	39
1.7 Aplicación de tecnologías y métodos para disminuir el impacto ambiental y el consumo energético.....	43
1.7.1 Disminución en las necesidades de energía.....	45
Capítulo II: Metodología del cálculo de las cargas térmicas.....	48
2.1 Fábrica de Cemento en Cienfuegos.....	48
2.2 Indicadores climáticos.....	50
2.2.1 Caracterización del local objeto de estudio.....	50
2.2.2 Justificación de la investigación.....	52
2.3 Metodología a emplear.....	53
2.3.1 Evaluación de las condiciones climatológicas, dimensionales e internas del local, para realizar el estimado de la carga de enfriamiento.....	56
2.3.2 Cálculo de la carga térmica para climatización.....	56

Capítulo III: Dimensionado del sistema de climatización en el Centro de Control de Motores (CCM) en la Fábrica de Cemento Cienfuegos SA.....	71
3.1 Parámetros climatológicos del local de los CCM.	71
3.2 Cálculos de las cargas térmicas para climatización.....	71
3.2.1 Cálculo de la temperatura exterior.	71
3.3 Determinación de la carga latente.	77
3.3.1 Carga latente transmitida por infiltraciones y ventilación de aire exterior "Q _{si} ".	77
3.4 Análisis de sensibilidad.....	78
3.5 Estudio económico.	79
3.6 Impacto Ambiental.	83
CONCLUSIONES.....	85
Recomendaciones.....	87
Referencias Bibliográficas.....	¡Error! Marcador no definido.
Bibliografía	89

Introducción



INTRODUCCIÓN.

El sector industrial, es uno de los sectores en los que mayor consumo energético se produce, superando el 31% del total de energía final. Esto se debe a que los procesos productivos y de fabricación además de necesitar materias primas y mano de obra, necesitan energía para obtener el producto final. La mejora de la eficiencia energética es una preocupación cada vez mayor en el campo de la industria. Uno de los puntos donde en la actualidad se está realizando un esfuerzo considerable es en el aumento del ahorro energético en climatización y calefacción de edificios.

Las características particulares de cada edificio son determinantes a la hora de proyectar toda instalación de climatización industrial. A la hora de diseñar y llevar a cabo un proyecto de instalación de aire acondicionado hay que considerar múltiples factores, pero principalmente ha de tenerse en cuenta la finalidad del mismo, en concreto, las actividades y aplicaciones que se llevarán a cabo dentro del recinto, instalación o edificio en cuestión.

Cuestiones como el diseño de los edificios, distribución o condiciones climáticas de locales son elementos clave a la hora de implementar equipos de aire acondicionado. Por otro lado, factores como el confort, el ahorro energético y la salud son temas que se han de tener en cuenta para que la instalación sea lo más adecuada posible, en fin, a la hora de diseñar y proyectar una instalación es conveniente disponer de la mayor información posible, tanto del propio edificio-estructura, materiales, orientación, uso que va a tener, ocupación, horarios, iluminación, etc... Esto ayudará a definir el sistema más apropiado e influirá decisivamente en la eficiencia energética de la instalación.

No cabe duda que las características arquitectónicas del espacio a climatizar tienen una componente importante en cuanto a la decisión o definición del sistema de climatización que se debe elegir finalmente. Y no se debe olvidar que la solución adoptada marcará el coste de la instalación final, según a las necesidades del cliente y dentro del marco legislativo vigente.

Además, hay otros factores que también influyen a la hora de proyectar una instalación de tipo industrial, como la orientación del edificio, el número de personas que van a trabajar allí y el uso para el que se va a destinar el edificio. La zona geográfica de la instalación, normativa según el tipo de edificio, usos y estancias diferenciadas por día y noche, es decir, horarios de utilización.

La carga térmica sobre un edificio, se entiende que se habla de un fenómeno que tiende a modificar la temperatura interior del aire o su contenido en humedad. En este sentido se puede establecer una clasificación de las cargas térmicas, según su incidencia, estas pueden ser cargas térmicas sensibles o cargas térmicas latentes, siendo el conocimiento de las cargas térmicas imprescindible, como paso previo para acometer la tarea de diseñar el sistema de acondicionamiento del aire interior de un edificio, dependencia o local. A su vez es en la búsqueda de satisfacer las necesidades humanas es necesario alcanzar las condiciones de confort, el término confort es en su esencia una cualidad subjetiva, relacionada a la facilidad con la cual el individuo mantiene el balance térmico entre él y sus alrededores, por lo que la principal función del acondicionamiento de aire es mantener, dentro de un espacio o local dado, condiciones de confort, o bien para la conservación de un producto o para un proceso tecnológico, o simplemente mantener un ambiente agradable. Esa sensación de confortabilidad varía, indudablemente, según las personas, su metabolismo, edad, sexo, estado físico, ropa que usan, actividad que desarrollan en el local, condiciones atmosféricas exteriores de la localidad, estación del año, características de edificación del local, etc.

Finalmente lo más importante y primordial es determinar qué sistema de climatización es el más adecuado para cada instalación, así como factores de financiación y la amortización de dichas instalaciones.

La empresa mixta Cementos Cienfuegos S.A. se encuentra en la actualidad en un proceso de implementación de un Sistema de Gestión Energética sobre la base de las normas NC ISO 50001:2015, donde la optimización de los consumos energéticos empleados en la climatización de locales tecnológicos tiene una gran importancia debido a la necesidad de mantener la capacidad de trabajo de los sistemas de

control automático con el mantenimiento de las condiciones ambientales y de temperatura de diseño que disminuyan las tasas de fallo y/o indisponibilidad de sus componentes que pudieran producir la parada del sistema tecnológico que conllevarían a pérdidas económicas para la empresa.

En este sentido se plantea como **Problema de investigación**: No se cuenta con un estudio para la instalación de un sistema de climatización en el local del Centro de Control de Motores (CCM) de la Fábrica de Cemento Cienfuegos SA que garantice las condiciones ambientales y de temperatura para el trabajo eficiente del equipamiento.

Como **Idea a defenderse** plantea que el estudio para la instalación de un sistema de climatización garantice las condiciones ambientales y de temperatura con un óptimo consumo energético en el local del Centro de Control de Motores (CCM), de la Fábrica de Cemento Cienfuegos S.A.

Como **Objetivo General** se propone realizar un estudio de cargas térmicas y seleccionar el equipamiento adecuado para la instalación de sistema de climatización que garantice las condiciones de confort en el local de CCM.

Para el cumplimiento del mismo se declaran los siguientes **Objetivos Específicos**:

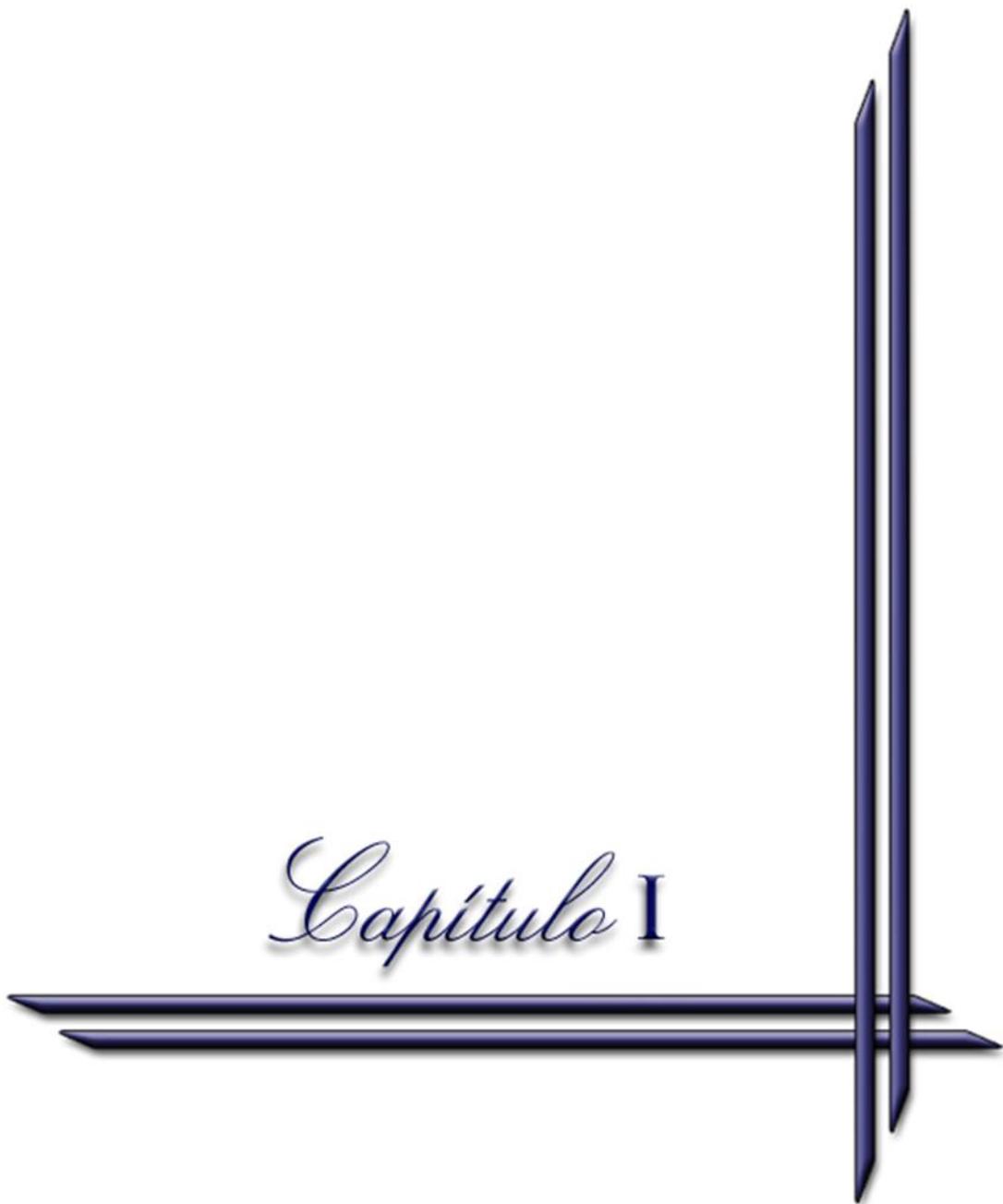
1. Realizar una búsqueda bibliográfica sobre el tema.
2. Realizar el estudio de cargas térmicas del local así como una caracterización del edificio en el que se encuentra ubicado.
3. Dimensionar el equipamiento de climatización a instalar.
4. Realizar un estudio técnico-económico y medio ambiental que contribuya a una mejor calidad de vida y funcionamiento del equipo, para seleccionar un equipamiento adecuado a las demandas de cargas térmicas del local.

La tesis se estructura en tres capítulos, conclusiones, recomendaciones y anexos. En el Capítulo 1 se desarrolla el marco teórico de la investigación, donde se describen los elementos fundamentales de la climatización y la refrigeración, así como los principales problemas en la actualidad.

En el Capítulo 2 se describe y caracteriza la empresa, así como la justificación de la investigación y el procedimiento para la realización del estudio.

En el Capítulo 3 se realiza el cálculo de cargas térmicas de climatización, se selecciona el equipamiento. A partir de los resultados y la selección se hace el cálculo económico de la propuesta.

Capitula I



Capítulo I: Fundamento teórico:

1.1 Despliegue histórico de la climatización y la refrigeración.

En la antigüedad, los egipcios ya utilizaban sistemas y métodos para reducir el calor. Se utilizaba principalmente en el palacio del faraón, cuyas paredes estaban formadas por enormes bloques de piedra, con un peso superior a mil toneladas. Durante la noche, tres mil esclavos desmantelaban las paredes y acarreaban las piedras al Desierto del Sahara. Como el clima desértico es extremo y la temperatura disminuye a niveles muy bajos durante las horas nocturnas, las piedras se enfriaban notablemente. Justo antes de que amaneciera, los esclavos acarreaban de regreso las piedras al palacio y volvían a colocarlas en su sitio. Se supone que el faraón disfrutaba de temperaturas alrededor de los 26° Celsius, mientras que afuera el calor subía hasta casi el doble. Si entonces se necesitaban miles de esclavos para poder realizar la labor de acondicionamiento del aire, actualmente esto se efectúa fácilmente. En 1842, Lord Kelvin inventó el principio del aire acondicionado. Con el objetivo de conseguir un ambiente agradable y sano, el científico creó un circuito frigorífico hermético basado en la absorción del calor a través de un gas refrigerante.

Un aparato de aire acondicionado sirve, tal y como indica su nombre, para el acondicionamiento del aire. Éste es el proceso más completo de tratamiento del ambiente en un local cerrado y consiste en regular la temperatura, ya sea calefacción o refrigeración, el grado de humedad, la renovación o circulación del aire y su limpieza, es decir, su filtrado o purificación.

La expresión aire acondicionado suele referirse a la refrigeración, pero no es correcto, puesto que también debe referirse a la calefacción, siempre que se traten (acondicionen) todos o algunos de los parámetros del aire de la atmósfera. Lo que ocurre es que el más importante que trata el aire acondicionado, la humedad del aire, no ha tenido importancia en la calefacción, puesto que casi toda la humedad necesaria cuando se calienta el aire, se añade de modo natural por los procesos de respiración y transpiración de las personas. De ahí que cuando se inventaron

máquinas capaces de refrigerar, hubiera necesidad de crear sistemas que redujesen también la humedad ambiente.

La función de refrigeración y deshumectación, se realiza en verano en forma simultánea en la batería de refrigeración, dado que si no se realiza, el porcentaje de humedad relativa aumenta en forma considerable, provocando una sensación de molestia y pesadez. La humedad contenida en el aire que circula se elimina por condensación, porque se hace trabajar la batería a una temperatura inferior a la del punto de rocío. En instalaciones industriales que se requiere gran posición puede aplicarse un sistema separado empleando para la deshumectación agentes absorbentes como la silicagel.

En 1902, el estadounidense Willis Haviland Carrier sentó las bases de la refrigeración moderna y, al encontrarse con los problemas de la excesiva humidificación del aire enfriado, las del aire acondicionado, desarrollando el concepto de climatización de verano. En 1911, Carrier reveló su Fórmula Racional Psicométrica Básica a la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos. La fórmula sigue siendo hoy en día la base de todos los cálculos fundamentales para la industria del aire acondicionado. El inventor dijo que recibió su “chispa de genialidad” mientras esperaba un tren. Era una noche brumosa y él estaba repasando mentalmente el problema del control de la temperatura y la humedad. Para cuando llegó el tren, ya había comprendido la relación entre temperatura, humedad y punto de condensación. Las industrias florecieron con la nueva habilidad para controlar la temperatura y los niveles de humedad durante la producción. Películas, tabaco, carnes procesadas, cápsulas medicinales y otros productos obtuvieron mejoras significativas en su calidad gracias al aire acondicionado.

En 1915, entusiasmados por el éxito, Carrier y seis amigos ingenieros reunieron 32,600 dólares para formar la Compañía de Ingeniería Carrier, dedicada a la innovación tecnológica de su único producto, el aire acondicionado. Durante aquellos años, su objetivo principal fue mejorar el desarrollo de los procesos industriales con máquinas que permitieran el control de la temperatura y la humedad. Por casi dos

décadas, el uso del aire acondicionado estuvo dirigido a las industrias, más que a las personas.

En 1921, Willis Haviland Carrier patentó la Máquina de Refrigeración Centrífuga. También conocida como enfriadora centrífuga o refrigerante centrifugado, fue el primer método para acondicionar el aire en grandes espacios. Máquina de Refrigeración Centrífuga las máquinas anteriores usaban compresores impulsados por pistones para bombear a través del sistema el refrigerante, a menudo amoníaco, tóxico e inflamable. Carrier diseñó un compresor centrífugo similar a las paletas giratorias de una bomba de agua. El resultado fue un enfriador más seguro y eficiente.

En 1928, Willis Haviland Carrier desarrolló el primer equipo que enfriaba, calentaba, limpiaba y hacía circular el aire para casas y departamentos, pero la Gran Depresión en los Estados Unidos puso punto final al aire acondicionado en los hogares. Las ventas de aparatos para uso residencial no empezaron hasta después de la Segunda Guerra Mundial. A partir de entonces, el confort del aire acondicionado se extendió a todo el mundo.

1.2 Climatización y condiciones de confort.

Un climatizador, también llamado Unidad Manejadora de Aire (UMA) o Unidad de Tratamiento de Aire (UTA) es el aparato principal en el tratamiento del aire en las instalaciones de climatización en cuanto a los caudales correctos de ventilación (aire exterior), limpieza (filtrado), temperatura (calentamiento o enfriamiento) y humedad (humectando en invierno y deshumectando en verano). Por sí mismos no producen calor ni frío, que les llega de fuentes externas (caldera o máquinas frigoríficas) por tuberías de agua o gas refrigerante. Puede, no obstante, haber un aporte propio de calor mediante resistencias eléctricas de apoyo incorporadas en algunos equipos.

El climatizador es capaz de velar por los tres parámetros elementales de la calidad del aire acondicionado que se resumen en: renovación y limpieza del aire (bajo contenido de partículas, polvo, en suspensión), control de la temperatura (tanto en

verano como en invierno) y de la humedad relativa adecuadas. El objetivo de la UMA es suministrar un caudal de aire acondicionado para ser distribuido por una red de conductos a los espacios habitados de gotas.

El cuerpo humano a diferencia de las máquinas, necesita de determinadas condiciones de temperatura para desarrollar su trabajo de forma óptima, o sea, el cuerpo humano tiene una apreciación del confort. El término confort es en su esencia una cualidad subjetiva, relacionada a la facilidad con la cual el individuo mantiene el balance térmico entre él y sus alrededores, por lo que la principal función del acondicionamiento de aire es mantener, dentro de un espacio o local dado, condiciones de confort, o bien para la conservación de un producto o para un proceso tecnológico, o simplemente mantener un ambiente agradable.

Esa sensación de confortabilidad varía, indudablemente, según las personas, su metabolismo, edad, sexo, estado físico, ropa que usan, actividad que desarrollan en el local, condiciones atmosféricas exteriores de la localidad, estación del año, características de edificación del local, etc.

La calidad de aire interior es importante en los edificios dedicados a oficinas y despachos, puesto que en muchos casos es el origen de problemas de salud y falta de bienestar para los trabajadores ocupantes de los mismos. Ello es debido a la existencia de posibles factores de riesgo, como un inadecuado ambiente térmico y una deficiente ventilación. Unas buenas condiciones climáticas resultan importantes para prevenir daños en la salud de los trabajadores de oficinas y constituyen un factor que influye directamente en el bienestar y en la ejecución de la tarea.

Las condiciones termohigrométricas en las oficinas pueden dar lugar a una sensación de discomfort por parte de los trabajadores. Por todo ello, se deberán evitar las temperaturas y humedades extremas, los cambios bruscos de temperatura, las corrientes de aire molestas, los olores desagradables, la irradiación excesiva y, en particular, la radiación solar a través de ventanas, luces o tabiques acristalados.

En las oficinas deberán cumplirse las siguientes condiciones:

- ❖ La temperatura estará comprendida entre 17 y 27 °C.

- ❖ La humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70%, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática, en los que el límite inferior será el 50%.
- ❖ Los trabajadores no deberán estar expuestos de forma frecuente o continuada a corrientes de aire cuya velocidad exceda los siguientes límites:
 - Trabajos en ambientes no calurosos: 0,25 m/s.
 - Trabajos sedentarios en ambientes calurosos: 0,50 m/s.

Estos límites no se aplicarán a las corrientes de aire acondicionado, para las que el límite será de 0,25 m/s en el caso de trabajos sedentarios, propios de oficinas.

El ambiente térmico produce una serie de efectos subjetivos como es la sensación de satisfacción o insatisfacción con las condiciones termohigrométricas. Pero no hay que olvidar, que sean cuales sean estas condiciones, no existe un nivel de confort térmico que satisfaga a todos los ocupantes de una oficina. La sensación térmica para cada individuo es distinta y según estudios realizados, va a haber siempre un 5% de personas que mostrarán insatisfacción, sea por calor o por frío.

En los sistemas centralizados de aire acondicionado, que proporcionan ventilación, aire caliente y aire frío según las necesidades se emplean en grandes hoteles, restaurantes, teatros, cines y edificios públicos. Estos sistemas son complejos y suelen instalarse durante la construcción del edificio. Cada vez se automatizan más para ahorrar energía y se controlan por computadora u ordenadores.

1.3 Clasificación de los sistemas de climatización.

Existe una gran variedad de diseños y equipos para climatizar locales, lo que unido al hecho de que varios sistemas participan de características comunes, hace muy difícil establecer una clasificación con diferenciaciones netas, entre los principales tipos de sistemas de climatización existentes en el mercado analizando los diferentes equipos que se caracterizan ante las tipologías de instalaciones que nos podemos encontrar y distinguiendo los usos de cada instalación de climatización en particular. Esta tecnología está basada en el tratamiento de aire para obtener un control simultáneo

de humedad, temperatura, limpia y una distribución en los espacios interiores como pueden ser en una habitación o en un edificio.

Las instalaciones de climatización están compuestas en tres procesos diferentes, generación de energía térmica (frío o calor), transporte o distribución y emisión en los locales teniendo en cuenta las siguientes categorías.

Generación térmica

El enfriamiento puede hacerse fundamentalmente por dos medios: por compresión y por absorción. Estos dos sistemas se basan en que transportan calor de un punto de menor nivel energético que es medido por la temperatura, a otro de mayor nivel usando al refrigerante como medio para este movimiento.

Teniendo en cuenta estos factores los equipos de producción se denominan con dos palabras, indicando en primer lugar el medio en el que se realiza la evaporación y después el medio condensante. Generalmente se utilizan cuatro tipos de equipos de producción:

- ✓ Los sistemas Aire – Aire (Instalaciones todo aire)
- ✓ Los sistemas Aire – Agua
- ✓ Los sistemas Agua – Agua (Instalaciones todo agua)
- ✓ Los sistemas Agua – Aire

Transporte o distribución

El frío producido en el equipo frigorífico debe ser transportado a los locales a climatizar mediante alguno de los siguientes fluidos: refrigerante, agua o aire, empleándose para ello tuberías o conductos, según corresponda.

Emisión

La emisión se hace por diversos tipos de bocas de impulsión entre ellos rejillas y difusores incorporados a los equipos o formar parte de conductos de distribución. Lo más racional es clasificar los sistemas de climatización según sea el fluido que entra en el local para producir el efecto de enfriamiento o calentamiento. Según esto, los sistemas pueden ser:

- ✓ Todo-Refrigerante: Sistemas de expansión directa en el interior del local.
- ✓ Refrigerante-Aire: Al local llega refrigerante y aire.
- ✓ Todo-agua: Al local llega sólo agua.
- ✓ Agua-Aire: Al local llega aire y agua.
- ✓ Todo-Aire: El único fluido que entra en el local es el aire.

Luego de la clasificación anterior, se podrían conocer la diferenciación entre los equipos compactos (cuando en un mismo equipo están incluidos todos los elementos) o sistemas centralizados.

Tabla 1.1 Ejemplifica criterios de clasificación.

Tipo	Equipos	Características	Sistemas
Autónomos	Exteriores enfriados por aire	Individual de ventana	Compactos
		Roof-top	Compactos o todo aire
	Interiores	Montado en pared, enfriado por aire	Compactos o todo aire
		Compacto individual con torre de refrigeración separada	Compactos
		Compacto central de condensador exterior por aire o agua	Compactos o todo aire
		Bombas de calor individuales y red de agua central	Compactos
	Partidos enfriados por aire	Split	Todo refrigerante
Centralizados	Partidos enfriados por aire	Multi-splitVRV (volumen de refrigerante variable)	Todo refrigerante
	Planta enfriadora de agua (chiller) o bomba de calor	Fan coil individual 2,3 ó 4 tubos	Todo agua
		Climatizador (UTA) Unizona o Multizona de volumen constante o variable (VAV)	Todo aire
		Fan coil individual y climatizador de aire primario	Agua-aire
		Inducción	Agua-aire
		Techo frío	Agua-aire

Seguidamente se describen las características más importantes de cada sistema, teniendo en cuenta que en el clima de Cuba únicamente es necesaria la producción de frío, limitaremos la descripción a esta aplicación.

1.3.1 Sistemas todos refrigerantes.

En estos sistemas la refrigeración se produce por la expansión directa de refrigerante en un equipo provisto de batería aleteada para este propósito. El aire del local pasa directamente por la batería en la que se expansiona el refrigerante, que forma parte pues del sistema frigorífico.

De acuerdo con lo anterior, pueden incluirse en este grupo, los aparatos compactos de ventana, consolas enfriadas por aire o agua, y todos los equipos compactos situados en el interior del local a acondicionar, así como los equipos y sistemas partidos, en los que la unidad condensadora, generalmente condensada por aire se encuentra situada a distancia y unida a la unidad interior o climatizadora, por tuberías de refrigerante. En los últimos tiempos, los sistemas partidos han conocido una extraordinaria evolución y aceptación, tanto en el ámbito doméstico y pequeño comercial.

1.3.1.1 Sistemas partidos unitarios (Split).

Una unidad interior, situada en el local, incorpora la parte del evaporador del circuito frigorífico, incluyendo por tanto la batería, ventilador de impulsión de aire, filtros y los sistemas de regulación. Adoptan formas diversas: consola de suelo, de techo, de pared, con envolvente o sin ella, etc. La evolución tecnológica es constante, con mandos a distancia, etcétera.

La unidad condensadora, o "exterior", incorpora el compresor frigorífico, el condensador, (generalmente enfriado por aire) y todos los elementos de seguridad y de regulación del sistema frigorífico. La unión entre ambas unidades se realiza mediante conexiones frigoríficas con tubería de cobre.

1.3.1.2 Sistemas partidos múltiples (multi-split).

Son semejantes a los anteriores, pero en los que una sola unidad condensadora exterior, sirve a varias unidades interiores en paralelo, que pueden tener control común o independiente.

Sistemas de "volumen de refrigerante variable". Son sistemas partidos múltiples muy evolucionados, en los que, gracias a las posibilidades de regulación de la electrónica moderna y a un cuidadoso diseño de los sistemas frigoríficos, se consigue una gran variedad de combinaciones entre "unidades exteriores" e "interiores", tanto en tipos y potencias, como en distancias entre unas y otras.

El control estricto de las presiones y temperaturas en el refrigerante y de la circulación del aceite, en combinación con la modulación de la potencia frigorífica de los compresores proporciona una gran elasticidad de funcionamiento. La regulación de la potencia frigorífica se hace frecuentemente por variación de la velocidad de giro del compresor, con un sistema de variación de frecuencia de la corriente de alimentación, lo que permite una adecuación casi total de la potencia producida a la demanda instantánea.

1.3.2 Sistemas refrigerante-aire

Un problema importante de los sistemas todos refrigerantes, es que no resuelven el aspecto de la ventilación debiendo proporcionarse la misma de manera independiente. Este sistema consiste en un conjunto de equipos como los descritos anteriormente, complementado con un sistema de aire primario.

El aire primario viene tratado en un climatizador central y repartido a los diferentes locales. Este aire primario provee las necesidades de ventilación y parte o todas las necesidades de deshumidificación, según sea el dimensionamiento. En este caso la distribución de aire primario se hace con una red general de conductos y se impulsa a los locales a través de rejillas. El aire primario también puede ser enviado sin tratamiento termohigométrico, y en este caso se impulsa a la aspiración de los equipos interiores, y es en estos en los que se enfría y deshumidifica. También existe la posibilidad de prever los equipos interiores con una toma de aire exterior directa.

1.3.3 Sistema todo agua.

Son aquellos en los que el único fluido caloportador que llega al espacio acondicionado desde el exterior es agua. Para la producción se requieren equipos enfriadores de agua, con condensación por aire o por agua, en este último caso además se requiere la instalación de torres de enfriamiento, para poder a su vez eliminar el calor del agua de condensación, a no ser que se disponga de una fuente continua para el agua de condensación. La cesión del frío al aire del local se realiza en aparatos terminales, que generalmente son ventiloconvectores, que incorporan una batería de tubo aleteado y un ventilador que recircula el aire del local a través de la batería, enfriándolo según la temperatura del agua que se suministra.

Los aparatos ventiloconvectores pueden adoptar formas, disposiciones y colocaciones variadas. Desde el más conocido de suelo con envolvente metálica para instalación vista, hasta el oculto sobre el falso techo que aspira e impulsa el aire a través de rejillas, pasando por colocaciones de pared o techo vistos, empotrados en nichos o los más recientes compactos de techo vistos, que incluyen los elementos de difusión.

Generalmente, en el proceso de enfriamiento, se produce también deshumidificación, habiendo necesidad de evacuar el agua formada, lo que en ocasiones presenta dificultades. Modernamente, existen bombas de elevación del condensado que pueden resolver el problema. Las temperaturas del agua de enfriamiento que se envía suelen estar entre 7 y 9°C.

La regulación es individual para cada local, el cual puede estar servido por uno sólo o varios ventiloconvectores. Puede ser todo-nada, actuando con parada y arranque del ventilador o también sobre una válvula motorizada que corta el paso del agua; si la válvula es modulante, se logra una regulación continua dentro de los márgenes de actuación de la regulación. El sistema todo agua con ventiloconvectores es sencillo y económico si bien no resuelve la ventilación.

1.3.4 Sistema agua-aire.

En estos sistemas, a los locales llegan ambos fluidos, realizando cada uno una función, aunque el diseño admite variantes que diferencian unos de otros.

1.3.4.1 Sistemas de inducción.

En este sistema, los aparatos terminales son "inductores", equipos que no poseen ventilador. El "aire primario" llega a estos inductores a alta presión (generalmente por conductos de alta velocidad) y sale al exterior por unas toberas sobre un estrechamiento (venturi), que crea en el aparato una zona de baja presión que "induce" un cierto caudal de aire del local (secundario), al que se le hace pasar por una batería, por la que circula agua fría; la mezcla de aire primario y secundario es impulsada al local.

Generalmente los inductores suelen estar situados perimetralmente sobre el suelo, impulsando el aire verticalmente hacia arriba. La relación de aire primario a secundario suele estar comprendida entre $1/3$ a $1/6$. El aire primario provee las necesidades de ventilación de los locales, y frecuentemente de la deshumidificación ya que la mayor parte de la carga latente procede del aire exterior. El aire secundario, compensa la carga sensible a través de la batería por la que circula agua fría, pero a una temperatura prácticamente igual al punto de rocío del aire, con lo que se evita la condensación de humedad.

Este sistema presenta ventajas tales como proporcionar un mejor control de la humedad y de la ventilación; fue ampliamente utilizado en el pasado, y últimamente está cayendo en desuso.

1.3.4.2 Sistema a ventiloconvertores con aire primario.

Consiste en un sistema a ventiloconvectores como los descritos anteriormente, complementado con un sistema de aire primario. Las soluciones son similares a las indicadas en el caso de sistemas refrigerante-agua.

1.3.5 Sistemas todo aire.

El único fluido que entra en el espacio acondicionado es el aire. Este aire, proviene del exterior y está ya tratado, es decir, filtrado, enfriado y deshumidificado, según las necesidades.

El aire puede provenir de una manejadora que a su vez recibe el frío de un productor central (enfriadora de agua), o puede ser un equipo autónomo, que incluye en su interior el sistema de tratamiento de aire y el equipo productor de frío (compresor para expansión directa), o incluso puede ser una manejadora con batería de expansión directa atendida desde un equipo partido.

Los sistemas todo-aire, pueden admitir a su vez, las siguientes variantes:

Para una sola zona: Sólo existe un local o bien los diferentes locales servidos se considera que tienen siempre la misma carga todos ellos, aunque esto último rara vez se cumple, es frecuente admitir esta imperfección en el diseño, en aras de la economía. La regulación de temperatura puede ser todo-nada, (aportar o no aportar frío), o una regulación continua sobre la temperatura del aire de impulsión o sobre el caudal de éste, y en ambos casos puede ser por actuación sobre el equipo productor (parar o arrancar) o modular (temperatura ambiente, de impulsión, etc.). El caudal de aire debe ser el necesario para la máxima carga.

Para varias zonas: Si el sistema de aire debe servir a varias zonas con cargas distintas, debe de existir alguna forma de regular la aportación de frío a cada una de ellas según sus propias necesidades.

Los sistemas todo-aire, para varias zonas, pueden ser: sistemas multizona, de doble conducto y de caudal variable (volumen variable).

Los sistemas multizona y de doble conducto tradicionales, implican frecuentemente la mezcla de aire a distintas temperaturas, lo que es energéticamente gravoso.

Los sistemas de caudal variable permiten acondicionar varias zonas con control independiente en cada una de ellas. En los últimos años han experimentado una amplia difusión.

El sistema de volumen variable, permite regular de forma independiente todas las zonas servidas, el caudal de aire del conjunto deberá ser el correspondiente a la carga máxima simultánea, y no a la suma de las máximas de toda la zona, como suele ser cuando se tratan distintos locales como zona única. El ramal de aire que atiende a una zona, está dotado de un elemento motorizado que modula el caudal que se impulsa a esta zona; cada zona puede constar de una sola salida de aire (rejilla, difusor, etc.) o de varias. La modulación del caudal a cada zona puede hacerse de dos modos:

- Por desviación
- Por estrangulación

La variación por desviación, consiste en que el elemento regulador, desvía al retorno el caudal no impulsado. En consecuencia, el sistema es de caudal variable en el local, pero es de caudal constante en el climatizador.

La regulación por estrangulamiento, reduce el caudal en cada ramal, lo que hace que la "característica del circuito total de aire" se modifica; si no se actúa sobre el ventilador, los caudales de aire que van a otras zonas, se modificarán. Para que esto no ocurra, hay que adaptar el caudal que suministra el ventilador a las necesidades de cada momento. Esto puede hacerse de varias maneras:

- ✓ Con compuerta en la impulsión
- ✓ Con compuerta en la aspiración
- ✓ Por variación de velocidad de giro

La compuerta en la impulsión se emplea poco, pues es la más costosa en energía de accionamiento. La compuerta en la aspiración es más eficiente (en realidad, produce una pre-rotación en el aire) y se ha empleado mucho. Actualmente es ya más frecuente la modificación de la velocidad de rotación del ventilador, por medio de un variador de velocidad por modulación de la frecuencia de la corriente de alimentación al motor. La señal que se controla es la presión estática a la salida del ventilador, que se mantiene aproximadamente constante, con lo que el caudal que llega a las diferentes zonas apenas es afectado por la modulación de las demás.

Una de las cuestiones a tener presente en los sistemas de volumen variable es que, al disminuir el caudal de aire a carga parcial, el funcionamiento de los elementos de difusión (difusor y rejilla) se ve fuertemente modificado; especialmente en régimen de refrigeración, el aire frío sale a menor velocidad, lo que provoca una rápida caída del chorro, lo cual puede crear molestias a los ocupantes y un deficiente movimiento de aire en el local.

Estas modificaciones en las condiciones de difusión del aire hacen que este sistema esté especialmente indicado en aquellos locales en los que variación de carga no sea grande, de modo que el caudal de aire no baje nunca por debajo del 50% ó 60% del máximo.

Precisamente para conseguir impedir la "caída" de los flujos de aire frío, muchos fabricantes han desarrollado diseños de elementos de difusión, específicamente destinados a sistemas de volumen variable, que consiguen un funcionamiento aceptable con caudales de hasta el 40% del nominal. De la misma manera, existen elementos de difusión, que incorporan en el mismo (rejilla o difusores) el mecanismo de estrangulación de caudal.

Por lo que respecta a la regulación, ésta puede ser eléctrica o neumática; algunos fabricantes, utilizan como energía para mover los elementos de desvío o estrangulamiento del aire, la presión del propio aire en los conductos, sin necesidad de aportación de energía externa.

1.4 Sistemas de climatización de mayor interés en la actualidad.

1.4.1 Máquinas múltiples.

1. La selección de máquinas múltiples para una carga común se basa normalmente en la disponibilidad, confiabilidad y versatilidad: disponibilidad a causa de las limitaciones de tamaño por razones económicas de producción; confiabilidad a causa de poder trabajar con una parte de la carga cuando una máquina tiene que ser puesta fuera de servicio para su reparación; y versatilidad a causa de aptitud para la eficiente adaptación de la capacidad del

compresor a los requisitos de carga parcial. Las máquinas múltiples se emplean poca veces con cargas de acondicionamiento de aire normalmente menores de 1.200.000 frigorías por horas.

Cuando se requieren dos o más máquinas de centrífugas para trabajar con una carga, pueden ser utilizadas con disposición en paralelo o en serie de los enfriadores. Estas disposiciones se controlan de manera análoga a las de las máquinas simples o únicas.

1.4.2 Sistemas de climatización con válvulas de tres vías.

A pesar de que es un sistema obsoleto por los excesivos gatos energéticos, de mantenimiento y reposición, es el más usado en las instalaciones cubanas.

Actualmente el desarrollo de nuevas técnicas lo ha hecho obsoleto, porque por su forma de operar ocasiona gastos energéticos innecesarios e insostenible lo que ocasiona costos que saca la instalación de competencia en el mercado.

Sus deficiencias se derivan de:

- ✓ El sistema mueve constantemente en sus bombas el volumen total de agua fría. Para demandas inferiores a la máxima no es necesario utilizar todo el volumen de agua disponible, sin embargo, este sistema no lo tiene en cuenta, perdiendo una cantidad considerable de energía con el paso de toda el agua constantemente por las tuberías.
- ✓ Las unidades enfriadoras (Chillers) deberán enfriar toda el agua aunque la demanda no lo exija así, provocándose un gasto energético que se ha elevado innecesariamente.
- ✓ Como consecuencia, los dispositivos del sistema, bombas, válvulas, etc.; trabajan continuamente a máxima capacidad, sufriendo un desgaste innecesario.
- ✓ Los costos de mantenimiento y reposición aumentan por trabajar el trabajo excesivo.

La operación básica que no permite aumentar la rentabilidad de este sistema, es el uso de un flujo de agua fría constante, que provoca el uso de válvulas de tres vías.

1.4.3 Sistemas asimétricos.

Muchos diseñadores de sistemas parecen estar descartando diseños de igual capacidad y en su lugar optan por Chillers de diferentes capacidades. Debido a los beneficios que pueden reportar, pues cuando una enfriadora entra en funcionamiento, también arrancan los equipos auxiliares asociados (las bombas y la torre de enfriamiento).

Otro beneficio de capacidades de enfriadoras desiguales es que la carga del sistema puede ajustarse más estrechamente con la capacidad de la enfriadora operando (y el equipo auxiliar) aumentados así la eficiencia del sistema. Un caso de operación asimétrica es cuando se trabaja con dos enfriadoras de igual y gran capacidad con una de menor capacidad. La enfriadora de mayor capacidad se utiliza como una enfriadora de balance (swing chiller).

La enfriadora de balance más pequeña ópera cuando las cargas de enfriamiento son bajas, durante la noche o durante los periodos desocupados.

Cuando la carga del edificio excede la capacidad de la enfriadora de balance, entra en funcionamiento una enfriadora de mayor capacidad. Las enfriadoras de mayor capacidad suplen la carga del edificio hasta vencerla.

1.4.4 Sistemas de ventanas.

A escala mundial, el mercado de sistemas de ventanas está limitado a Estados Unidos y algunos mercados clave como Brasil, Arabia Saudita, India y algunos países del Este asiático como China, Hong Kong, Filipinas, Japón y Australia que producen una balanza excedentaria de 100.000 unidades al año.

Desde la recesión económica, en el mercado de los Estados Unidos representa la mitad del mercado mundial y queda como actor más importante de este mercado en el contexto de la brutal disminución de la ventana de los sistemas de ventana en el mundo. En los Estados Unidos se venderán aproximadamente 2.2 millones de unidades, sobre un incremento de 2.5 millones de unidades en el mercado mundial,

entre los años 2000 y 2004. China, segundo mercado más grande cae un 5% al año, en directo contraste con el rápido crecimiento de sus otros mercados.

Los acondicionadores de ventana no son recomendables, solo se instalan si el cliente lo pide expresamente ya que es un sistema antiguo que no climatiza, solo proporciona aire frío, a chorro o directamente. Normalmente se coloca uno por habitación o, si el local es de gran superficie, se colocan varios según la necesidad. La instalación se realiza en la ventana o muro y la dimensión del hueco ha de ajustarse a las dimensiones del aparato.

1.4.5 Sistemas centralizados.

Los sistemas centralizados son aquellos que centralizan la generación del fluido térmico encargado de transportar la energía a los locales a acondicionar. La producción de frío o calor (uno o más equipos generadores) se realiza centralmente, distribuyéndose a los equipos terminales que actúan sobre las condiciones de los locales o zonas diferentes.

La instalación centralizada colectiva es la producción centralizada de frío o calor, sirve a un conjunto de usuarios dentro de un mismo edificio mientras la instalación centralizada individual es la producción centralizada de frío o calor independiente para cada usuario.

1.5 Climatización y corrosión en salas de control eléctricas.

La corrosión ambiental es producida no solo por agentes atmosféricos externos tales como la humedad, temperatura y salinidad del aire, sino también por los gases generados por la propia factoría, procedentes de evaporaciones de fluidos en proceso, fugas de gas, etc. causantes de la corrosión en las salas de control, salas de ordenadores y salas de equipos eléctricos.

- ✓ Instalación de unidades de tratamiento del aire en ambientes de corrosión, para evitar averías en tarjetas electrónicas y demás componentes electrónicos de la maquinaria.

- ✓ Sistema visual de presurización de la sala, estado de filtros y caudalímetro entrada de aire tratado en la sala.
- ✓ Aplicación de un tratamiento especial anticorrosión en las unidades de climatización, para evitar la rápida propagación de la corrosión, garantizando el funcionamiento de la máquina sin fugas durante años.
- ✓ Unidades de climatización perfectamente calculadas para garantizar la temperatura de refrigeración de la sala.
- ✓ Armarios climatizadores para cuadros eléctricos.
- ✓ El cuadro controla las unidades de climatización y en caso de aumento de temperatura, conecta la unidad de reserva consiguiendo una garantía de climatización de la sala de 100%.
- ✓ Climatización de salas de servidores con una unidad simple o unidad + unidad reserva. Sistema de control automatizado para conexión automática de la unidad de reserva. Sistema de alarma para los diferentes procedimientos de aviso de la temperatura interna.
- ✓ Infraestructura de vehículos completamente equipados como talleres móviles.
- ✓ Servicio de instalación, mantenimiento y reparación propio.

1.6 Principales problemas de la climatización en la actualidad.

El estudio de un sistema de climatización de un edificio tiene como objetivos principales la calidad del ambiente (tanto térmico como del aire interior), el ahorro de energía y la protección del medioambiente.

- ✓ Calidad del Ambiente Térmico.

El bienestar térmico se define como la condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico. Debido a su subjetividad, se precisa de relaciones empíricas que relacionen la percepción de bienestar de diferentes tipos de personas y sus sensaciones térmicas con los diferentes posibles valores de las variables que intervienen en el confort térmico. El índice de confort térmico depende de las variables que afectan sobre el intercambio de calor de la persona con el entorno que le rodea. Este índice de confort térmico es función de variables tales

como el metabolismo, la vestimenta, la velocidad y humedad relativa del aire y la temperatura media radiante.

✓ Calidad de Aire Interior. Ventilación.

En los edificios modernos las personas están expuestas a un amplio espectro de sustancias polucionantes, todas ellas presentes en muy baja concentración y procedentes de materiales de construcción, mobiliario, elementos de decoración, equipos de oficina, metabolismo humano, humo de tabaco, aire exterior o incluso, los componentes del mismo sistema de climatización. Por lo tanto, en líneas generales, la calidad del aire en los recintos debe obedecer a dos requisitos fundamentales: los riesgos para la salud de los seres humanos deben ser mínimos y el aire no debe proporcionar una sensación olfativa desfavorable.

Para el control de la calidad del aire interior se emplean dos métodos fundamentales: la dilución mediante aire exterior y la purificación mediante procedimientos tales como la adición de sustancias olorosas (enmascaramiento), eliminación por filtración, absorción, adsorción, ionización o fotoxidación. Los métodos basados sobre la dilución por aire exterior conducen al empleo de caudales de ventilación mayores que los tradicionales, es decir, requieren la presencia de sistemas de aire acondicionado del tipo todo aire, lo que supone una mayor penalización en el consumo energético final, salvo cuando las condiciones del aire exterior sean favorables para la utilización del enfriamiento gratuito o cuando se adopten sistemas de recuperación de energía.

✓ Consumo Energético.

El costo que actualmente representa la energía eléctrica es de vital importancia en una especialidad como el aire acondicionado que requiere un elevado consumo, por lo que su reducción representa una de las premisas básicas en los criterios de diseño.

Para ello, existen numerosas tecnologías y medios de aplicación, que se centran fundamentalmente en el ajuste de las necesidades, la utilización de fuentes de energía no convencionales, el incremento de la eficiencia y la recuperación de la energía residual, independientemente de utilizar equipos de alto rendimiento.

El apropiado uso del aislamiento térmico en el edificio, contribuye un elemento fundamental, dado que ellos implican equipos de aire acondicionado más pequeños con un consumo energético menor durante toda su vida útil del edificio. A su vez la aislación térmica reduce al mínimo las pérdidas de calor en los equipos, unidades de tratamiento de aire y la red de conductos y cañerías de la instalación.

Por otra parte, es indispensable la adopción de soluciones arquitectónicas que tiendan a la reducción de consumo energético teniendo en cuenta el aprovechamiento de la radiación solar, protecciones y una adecuada especificación de aventanamientos para reducir infiltraciones.

Es muy importante analizar la automatización de los circuitos de alumbrado y el empleo de lámparas de alto rendimiento, así también como reguladores que permitan un nivel de iluminación en función de las reales necesidades.

Otro aspecto a considerar es el incremento de la eficiencia energética, mediante el fraccionamiento de la potencia de los equipos, con objeto de adaptar la producción de aire acondicionado a la demanda del calor del sistema, parcializando las unidades productoras a fin de conseguir en cada instante, el régimen de potencia más cercano al de máximo rendimiento. La utilización del ciclo bomba de calor para calefacción es recomendable en lugar de resistencias eléctricas y el empleo de gas natural para refrigeración con unidades enfriadoras de agua operando con el ciclo de absorción constituye una alternativa a considerar.

Otras formas de ahorrar energía consiste en la recuperación de calor de condensación aprovechando que los equipos frigoríficos desprenden en su funcionamiento gran cantidad de calor que convenientemente recuperada puede ser empleada para otros servicios o zonas frías del edificio o también el almacenamiento de energía enfriando agua o produciendo hielo en las horas de la noche cuando la tarifa energética es más económica, el que está destinado a recortar los picos térmicos diarios, permitiendo reducir de esa manera, el tamaño de los equipos acondicionadores.

Los consumos de energía en un edificio se centran básicamente en cuatro grandes grupos: acondicionamiento térmico (calefacción y refrigeración), agua caliente sanitaria, iluminación, aplicaciones (electrodomésticos, sistemas, etc.). Estudios publicados recientemente señalan que en el conjunto del Estado Español, el consumo en los sectores residenciales y de servicios supone cerca de un 30 % del consumo total de energía. Si consideramos el total de los países de la Unión Europea, este porcentaje sube hasta alcanzar alrededor del 40 %. Estamos, por tanto, hablando de unos consumos de energía muy elevados y cualquier medida de ahorro o recuperación de energía, multiplicado por muchos miles o millones de edificios se convierte en un potencial de ahorro nada despreciable. El impacto de los costes de energía en la selección, diseño y mercado de los equipos de acondicionamiento de aire ha sido complicado; y aún una mayor incertidumbre se ha manifestado durante los últimos años a partir de los estudios acerca del impacto medioambiental de estas tecnologías.

Partiendo de estas consideraciones, el estudio energético de los sistemas de climatización ha cambiado desde una concepción basada únicamente en la economía a otra con implicaciones sociales y medioambientales, de modo que los propietarios de los edificios tienen que afrontar la incertidumbre sobre el coste y la disponibilidad de los refrigerantes y la energía, y deben incluso considerar las posibles regulaciones gubernamentales futuras. Paralelamente, las acciones relacionadas con la mejora de las condiciones de calidad de aire interior a que hemos hecho referencia en el epígrafe anterior, hacen previsible un incremento en las tasas de ventilación de los edificios y por tanto, del consumo energético asociado a los sistemas de tratamiento. La estimación del impacto energético de la ventilación presenta múltiples dificultades y en la actualidad se realizan trabajos de investigación al respecto.

En general podemos señalar que, de acuerdo al enfoque actual, todo consumo energético implica una responsabilidad por el empleo de recursos limitados y por su repercusión medioambiental y debe realizarse bajo estrictos criterios de racionalización. Como medidas paliativas de esta situación se proponen soluciones

como sistemas de control de la demanda de ventilación mediante sondas de calidad de aire, sistemas de ventilación por desplazamiento y sistemas de recuperación energética.

✓ Problemas Medioambientales.

Los sistemas de ventilación y acondicionamiento de aire influyen negativamente sobre el medio ambiente en dos direcciones fundamentales: como consumidores de energía, fundamentalmente eléctrica generada en grandes centrales industriales a partir de procesos de combustión, contribuyendo al efecto invernadero y al previsible cambio climático global y utilizando refrigerantes clorofluorocarbonos, destructores de la capa de ozono.

1.7 Aplicación de tecnologías y métodos para disminuir el impacto ambiental y el consumo energético.

Un sistema de aire acondicionado bien proyectado y ejecutado, orientado hacia el ahorro de energía, debe contar con equipos eficientes, uso de combustibles económicos o fuentes de energía alternativas y a esto debe agregarse una correcta operación, mediante temperaturas, velocidad de distribución de fluidos, tiempos de utilización y sistemas de control óptimos. Por otra parte, la aplicación de un adecuado aislamiento térmico y la mejora en la hermeticidad de los edificios es fundamental, dado que ello implica equipos más pequeños con menor consumo energético durante toda la vida útil.

Los proyectos deben realizarse en función de la característica de la instalación y estructurados de manera coherente, debiéndose efectuar un balance energético con un análisis económico para definir la solución más conveniente. Deben fraccionarse la capacidad de los equipamientos a fin de adaptar la producción de aire acondicionado a la demanda de calor del sistema en la magnitud y momento que se produce, con objeto de conseguir en cada instante, el régimen de potencia más cercano al de máximo rendimiento.

Para ello, es necesario establecer las distintas tecnologías a emplear ya sea agua fría o expansión directa, los tipos de condensación a agua o aire, etc., considerando el diseño de la instalación para la función a que va a ser utilizada.

Debe tenerse en cuenta que instalar equipamientos más eficientes, adoptar aislamientos más eficaces, proyectar edificios que disipen menos energía o proveer instalaciones que recuperen energía, obliga a mayores inversiones económicas que deben retornar con el ahorro que pueda conseguirse, sobre la base del tiempo que se considere necesario establecer como razonable. Para esbozar los lineamientos básicos a adoptar en el proyecto, debe conocerse el problema en su real dimensión, como ser la cantidad y características de los consumos y los ahorros que se pueden obtener, por lo que se hace necesario medir con datos objetivos los procesos energéticos que se producen, para determinar donde es posible y conveniente la aplicación de nuevas tecnologías.

En el caso de edificios existentes el proyecto de mejoras energéticas consiste en actuar sobre cada problema concreto, por ejemplo, controlar los niveles de trabajo de los equipos o set-point de operación, verificar los flujos de aire y agua, analizar la posición de los sensores ambientales, optimizar los consumos mejorando las operaciones de mantenimiento, como la limpieza de los filtros, control del estado de funcionamiento de los equipos, circulación del aire o agua, etc. En muchos casos se trata de problemas por una mala ejecución, como la poca circulación del aire o subdimensionamiento de los equipos, que requieren para su solución, la ejecución de trabajos y de nuevas inversiones.

En las ampliaciones de los edificios, la modificación de las instalaciones de aire acondicionado por aumento de los sistemas instalados, cambios de tecnologías, etc. requieren una estrategia de crecimiento. El agregar nuevas máquinas a las ya existentes para satisfacer necesidades de ampliación no previstas, lleva muchas veces a resultados finales de instalaciones de distinta técnica, con bajos índices de eficiencia, altos costos de espacio, gestión y mantenimiento, por lo que debe analizarse siempre con mucho detenimiento la posibilidad de adicionar los equipamientos de la manera más racional posible.

Un punto crítico en la fase del diseño lo constituye muchas veces la falta de datos ciertos y significativos sobre las características de las necesidades de acondicionamiento y su programa de desarrollo a corto, medio y largo plazo debido a las continuas innovaciones y modificaciones tecnológicas, por lo que se debe contar con una información completa y lo más actualizada posible, con objeto de prever los futuros cambios en los procesos, que permitan una adecuada planificación del proyecto orientado al ahorro energético.

Existen numerosas tecnologías y medios de aplicación para disminuir el consumo energético, por lo que se deben analizar las características particularidades de cada caso, de modo de aplicar conceptos de diseño en la selección de los sistemas, que permitan obtener menores gastos en la fase de explotación y mantenimiento, pudiéndose considerar para su estudio los siguientes parámetros básicos:

- ✓ Disminución en las necesidades de energía.
- ✓ Utilización de energías gratuitas.
- ✓ Incremento de la eficiencia energética.
- ✓ Correcta regulación del sistema.

1.7.1 Disminución en las necesidades de energía.

La forma más clara de ahorrar energía es la de buscar todas aquellas soluciones que limiten en forma temporal o cualitativamente los consumos energéticos del sistema. Es indispensable como primera medida en la fase inicial del proyecto, la adopción de soluciones arquitectónicas que tiendan a la reducción del consumo energético mediante un correcto uso del aislamiento térmico, teniendo en cuenta la radiación solar y una adecuada especificación de calidad de las ventanas para reducir ganancias de calor e infiltraciones, ya que ello implica equipos de aire acondicionado más pequeños, con un consumo menor.

Los vidrios de las ventanas actúan como una trampa de calor dado que dejan pasar la luz solar y calientan los elementos del ambiente, pero la radiación calórica invisible que estos emiten a su vez no pasa a través del vidrio, por lo cual el calor almacenado no puede escapar denominándose efecto invernadero, de modo que las reflexiones

sucesivas de la radiación calórica en las paredes, pisos y mobiliario de un recinto hacen que éste actúe prácticamente como una caja negra que absorbe toda la radiación incidente. Si bien en invierno este efecto invernadero es sumamente beneficioso, no lo es en verano, debiéndose dotar de una buena protección solar a las ventanas.

Además, es muy importante analizar la automatización de los circuitos de alumbrado en función de los horarios de uso y de acuerdo a los requerimientos. La utilización de lámparas de alto rendimiento constituye un elemento a considerar, así como también reguladores que permitan reducir automáticamente el nivel de iluminación y el eventual apagado, en función de las reales necesidades.

Capitula **II**



Capítulo II: Metodología del cálculo de las cargas térmicas.

En este capítulo se realiza la caracterización de la Empresa Mixta Cementos Cienfuegos S.A. y se estructura la metodología para la realización del trabajo.

2.1 Fábrica de Cemento en Cienfuegos.

Ubicación, extensión y límites.

Cementos Cienfuegos SA es una empresa mixta perteneciente al Ministerio de la Industria Básica, destinada a la producción y comercialización de clinker. Se ubica en el Municipio Cienfuegos, extendida sobre áreas de la Llanura de Cienfuegos. Se evidencia acciones transformadoras del hombre, fundamentalmente por la agricultura, la extracción de minerales y diferentes tipos de construcciones. Está situada a los 22° 09' 20" de Latitud Norte y los 80° 15' 19" de Longitud Oeste.

Se encuentra entre las empresas que con sus inversiones mejoran las condiciones medioambientales en el territorio. Esta importante instalación industrial, se encuentra muy cercana a asentamientos poblacionales tanto urbanos como rurales, entre los que se destacan:

- ✓ Al Norte, viviendas rurales dispersas, cultivo de cañas y potreros.
- ✓ Al Este, los asentamientos, Dolores, Codicia y Cumanayagua.
- ✓ Al Sur, los asentamientos, Guaos, Pepito Tey y las instalaciones del Jardín Botánico
- ✓ Al Oeste, los asentamientos, Lagunillas, La Josefa y la ciudad de Cienfuegos, encontrándose ésta aproximadamente a 14 Km de la fábrica.

Objeto Social.

Modernización, rehabilitación, optimización, operación, mantenimiento, ampliación de la capacidad y explotación de la Planta, la explotación, extracción, transporte y proceso industrial de los minerales de calizas, margas, tobas, limonitas y areniscas

ubicados en los yacimientos autorizados en las concesiones mineras que se transferirán o que posteriormente se otorguen, así como la producción, exportación almacenamiento, transporte terrestre y marítimo, distribución, comercialización de clinker, cemento, aditivos de cemento y modificantes especiales de cemento.

Misión: Nuestro propósito es ser una empresa productora de clinker y cemento para el desarrollo de las personas, la empresa y la sociedad.

Visión: 2015: Somos líderes en la fabricación de cemento y una de las mejores empresas industriales de Cuba, con índices de seguridad industrial, medio ambiente, calidad, eficiencia, productividad y rentabilidad a nivel internacional; contamos con una gestión de excelencia y un equipo de trabajo comprometido con la satisfacción de nuestro personal, proveedores, clientes, accionistas y el entorno.

Política: “Producimos y comercializamos clinker y cemento para el servicio de nuestros clientes, priorizando nuestro capital humano, conservando el medio ambiente, mejorando continuamente nuestros procesos y creando valor para las partes interesadas”

Desde el punto de vista climático, la fábrica se encuentra en una zona tropical poco húmeda de valle, la cual se caracteriza por ser caliente y lluviosa, más seca en los meses de Noviembre a Abril y húmeda de Mayo a Octubre.

La zona es afectada por los sistemas de vientos locales, como son las brisas de valle y una débil influencia de la brisa marina, los vientos de mayor persistencia son los Alisios con componente ENE, predominante en el área de interés

En estas zonas llanas del interior del país se resaltan características climáticas tales como: menor régimen de radiación solar, cantidad de horas de brillo, considerable oscilación diaria de la temperatura y la humedad del aire y menor cantidad de días despejados.

2.2 Indicadores climáticos.

Los principales indicadores climáticos muestran el siguiente comportamiento, analizado para el período 2000-2015 y tomando como la referencia la estación meteorológica de Canta Rana en la ciudad de Cienfuegos, la cual es representativa para la zona analizada.

✓ Temperatura media anual:	30°C.
✓ Temperatura máxima media:	34°C.
✓ Temperatura mínima media:	20,0 °C.
✓ Humedad relativa media:	80 %.
✓ Humedad relativa máxima media:	95 %.
✓ Humedad relativa mínima media:	52 %.
✓ Humedad relativa media 7:00 am:	92 %.
✓ Humedad relativa media 1:00 pm:	58 %.
✓ Nubosidad media:	3 octavos de cielo cubierto.
✓ Velocidad del viento:	7,57 km/h.
✓ Presión atmosférica:	1014,9 hpa.
✓ Precipitaciones período poco lluvioso:	250 - 300 mm.
✓ Precipitaciones período lluvioso:	1100 - 1200 mm.
✓ Precipitaciones total anual:	1400 - 1500 mm.

2.2.1 Caracterización del local objeto de estudio.

El Local del CCM se encuentra situado en el tercer nivel del edificio de la Gerencia de Mantenimiento localizado al final de la Plataforma de quema de la Línea I, bajo el local de predictivo y encima del local de taquillas de los mecánicos y direccionado de norte a sur. En su interior se localizan las pizarras de control de los motores de 6 kV y 440 V del área de Piroproceso, que garantizan la alimentación eléctrica confiable para el trabajo de los motores de los ventiladores, bombas de aceite, motores de los sistemas de rotación del horno, molino de petcoke, enfriador de parrillas, molinillo del enfriador y sistemas de transporte de placas. En la figura 2.1 se muestra el esquema con las dimensiones constructivas fundamentales del local

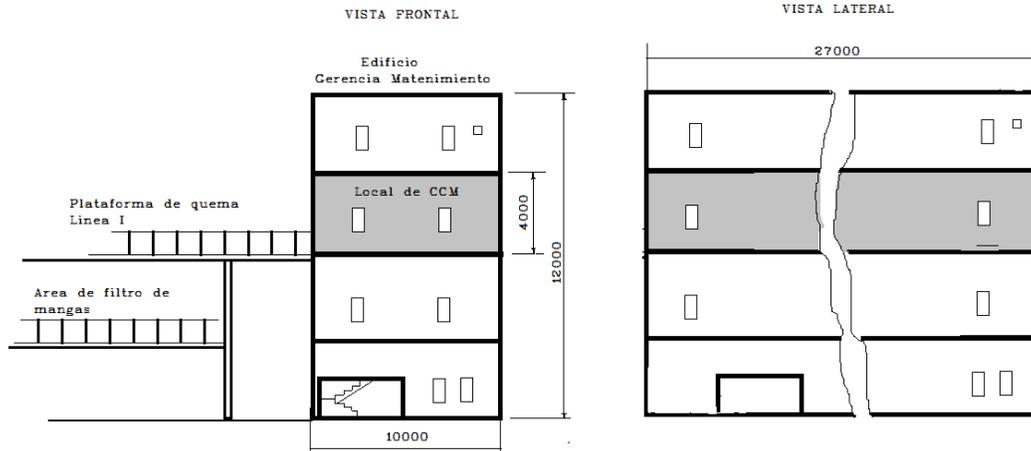


Fig. 2.1 Vista frontal y lateral del edificio de la Gerencia de Mantenimiento.

En la figura 2.2 se muestra la vista en planta del local donde aparece la distribución interna de los paneles de control de los motores.

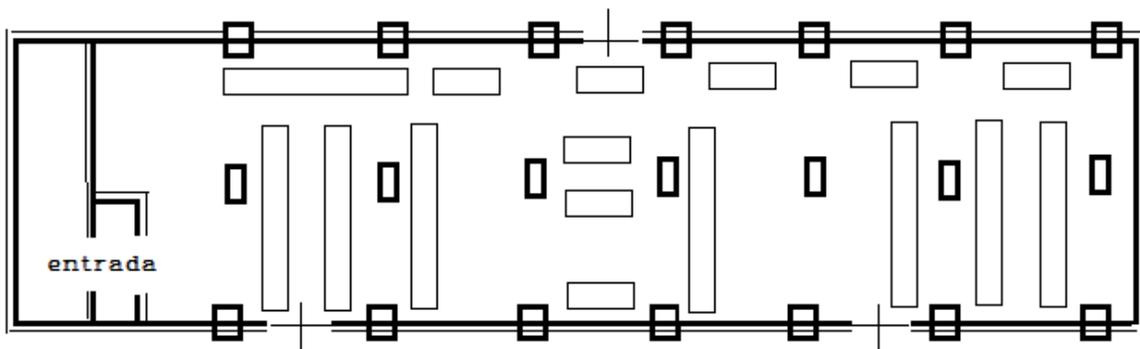


Fig. 2.2 Vista en planta del local.

En el análisis de las cargas térmicas, es necesario saber las características constructivas del local, estas características están dadas por el área o superficie en metro cuadrado, el espesor de las paredes, dimensiones de las ventanas y puertas, tipo de estructura, elemento que la forma y la orientación solar.

El local cuenta con una entrada de servicio condoble puerta, que garantiza la estanqueidad del local, y está construido de paredes, techo y piso de hormigón (densidad $2,2 \text{ kg/m}^3$), sus paredes de espesor 200mm están pintadas de color claro (pintura hepóxica), el techo de espesor 300mm también está pintada del mismo color.

El piso por su parte es de hormigón con terminación pero no tienen recubrimiento de losa.

En su interior se encuentran ubicadas 7 columnas de hormigón pretensado de 800x 600 mm donde están apoyadas las vigas 400 x 600 x 12000 mm que soportan el peso del techo. El local cuenta con 3 ventanas de cristal de 700x1200 mm que permiten el paso de la luz hacia su interior, dos de ellas situadas hacia el oeste y una hacia el este.

Los paneles de los CCM se encuentran distribuidos de manera no uniforme como se muestra en la figura. 2.2. El techo del local coincide con el piso del local de los especialistas de planificación de mantenimiento que se encuentra climatizado y el piso es el techo del local de taquillas del personal de mantenimiento.

El local solo recibe los rayos solares directamente en el lado este ya que en el lado oeste se encuentra ubicado el edificio del elevador de Clinker con altura superior a los 4000 mm que sirve de apantallamiento a los rayos solares después del mediodía.

2.2.2 Justificación de la investigación.

Los Centros de Control de Motores (CCM) son pizarras donde se localizan toda la automática relacionada con el control y mando de la distribución de la alimentación eléctrica basada principalmente en dispositivos electrónicos inteligentes (PLC) que son programados según los requisitos del sistema de control distribuido. Según los suministradores de dichos elementos y sistemas estos deben trabajar bajo determinadas condiciones dentro de las cuales las más importantes son:

- ✓ Voltaje de alimentación.
- ✓ Frecuencia.
- ✓ Temperatura de trabajo.
- ✓ Humedad ambiental.
- ✓ Bajo nivel de polvo ambiental.

En la actualidad el sistema de climatización del local es obsoleto (natural), sus principales elementos eran relay y contactores que no tenían los requerimientos del

equipamiento actual. Desde el momento en que fueron instalados los nuevos CCM se han venido presentando fallas en sus circuitos electrónicos imputables en un 75% al incumplimiento de requisitos ambientales del local: sobrecalentamiento y excesos de humedad, así como a la alta cantidad de polvo ambiental debido a la necesidad de mantener abiertos los locales para la circulación de aire y mejorar la temperatura interna del mismo.

El diseño de un sistema nuevo de climatización que garantice las condiciones antes mencionadas y al mismo tiempo que incluya la optimización del consumo energético de dicha instalación (ya que la misma trabajaría en régimen continuo), constituye un elemento fundamental para garantizar desempeño del trabajo de los CCM instalados en el local. Al mismo tiempo la disminución del consumo energético del nuevo sistema de clima respecto al anterior es una variante en la disminución de los costos de operación que influiría en el tiempo de recuperación de la inversión.

Finalmente la instalación a diseñar debe considerar el no uso de sustancias agotadoras de la capa de ozono ya que la entidad ha establecido desde sus inicios como empresa mixta la eliminación de estas sustancias por la cual ha recibido y mantiene el reconocimiento de la Oficina Técnica del Ozono (OTOZ).

La garantía de las condiciones ambientales en el local de instalación de los CCM producirá la eliminación de las fallas de los elementos electrónicos en ellos instalados produciendo un aumento de la disponibilidad del equipamiento en general, con una sensible disminución de los costos asociados al mantenimiento.

2.3 Metodología a emplear.

La función principal de los sistemas de climatización en edificación es mantener, dentro de un espacio determinado, condiciones ambientales según requerimientos de sus ocupantes. En función de conseguir estas condiciones debe instalarse un equipo de acondicionamiento de capacidad adecuada de acuerdo con las exigencias instantáneas de la máxima carga real o efectiva. Generalmente, resulta difícil medir las cargas reales máximas o parciales en un espacio dado, por lo que es preciso hacer un cálculo estimado de dichas cargas. En la estimación de la carga térmica se

hace un estudio completo que intenta garantizar la exactitud de evaluación de los componentes de esta carga. Es indispensable en la estimación que el estudio sea preciso y completo, no debiendo subestimar su importancia.

En el estudio de la carga real se cometen más errores en el cálculo de las cargas de enfriamiento, por omisión de una fuente que contribuye a la carga, que por ligeras inexactitudes al calcular una fuente. Stocker y Carrier mencionan los siguientes procesos como las mayores fuentes de carga en la edificación:

- ✓ Proceso de conducción: transmisión a través de paredes, techo, suelo, puertas, conductos y tuberías.
- ✓ Radiación y conducción a través de ventanas
- ✓ Ocupantes: calor sensible desprendido por la gente
- ✓ Equipo eléctrico: calor procedente de las luces, motores y otros aparatos
- ✓ Infiltración: intercambio de aire acondicionado con aire exterior a través de puertas abiertas y grietas
- ✓ Ventilación: la sustitución controlada de aire acondicionado por aire exterior
- ✓ Carga latente: condensación por el acondicionador de aire de la humedad procedente de fuentes tales como gente, equipamiento y aire exterior.
- ✓ Otros: adición de cargas de enfriamiento originado por condiciones anormales.

La realización del estudio parte del cálculo de la carga térmica del espacio por refrigerar, con el objetivo de realizar una selección correcta de la instalación de refrigeración. Esta carga térmica se define como el fenómeno que tiende a modificar tanto la temperatura como la humedad absoluta dentro de un recinto; es decir, la cantidad de calor que debe ser retirada del sitio por refrigerar para obtener la temperatura deseada.

El aire impulsado hacia el espacio acondicionado debe tener las condiciones necesarias para satisfacer las cargas de calor sensible y latente que han sido estimados. Las transmisiones de calor por conducción al interior de un espacio acondicionado a través de las paredes, techos, y suelos son raras veces procesos en régimen permanente. El concepto de un régimen permanente es que no considere el

factor de tiempo en la conducción, y por tanto se considera el sistema como un sistema estático.

También nombrada como 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 (Definición de cargas térmicas, 2005). 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. Por lo tanto se debe comenzar por determinar las cargas térmicas interiores y exteriores:

- ✓ Cargas Exteriores: Cargas a través de paredes, techos y suelos: Existe un tipo de carga sensible, producto de la transferencia de calor que se da a través de las superficies de la edificación. Esta situación aportará un calor que hará que se aumente la temperatura del aire.
 - Cargas a través de superficies acristaladas y ventanales: Es en su totalidad carga sensible. Se da una transmisión de calor a través de superficies semitransparentes, lo que induce en gran parte una transferencia de calor por radiación.
 - Cargas por ventilación: En muchas edificaciones se toma el aire externo, ya sea para mantener la pureza en el aire o para facilitar la respiración. Debido a que este aire se encuentra a diferente temperatura, y que tiene un porcentaje diferente de vapor de agua; se puede hablar de carga latente y carga sensible.
 - Carga por infiltración: Las edificaciones cuentan con puertas y ventanas por medio de las cuales entra una cierta cantidad de aire del exterior que no es controlada; e induce en una cierta cantidad de carga latente y sensible.
- ✓ Cargas Interiores: Cargas por ocupantes: Los seres humanos, teniendo en cuenta la actividad que ejecuten y la temperatura ambiente a la que se encuentren, disipan una cierta cantidad de calor. Esta carga se da bajo forma sensible y latente.
 - Cargas por Iluminación: La iluminación sustenta cierto consumo de energía, la cual se transformara en energía térmica. Esta incide en la edificación bajo la forma de carga sensible.

- Carga debido a máquinas y motores: La cantidad de calor que disipen depende de la naturaleza de la máquina. Sin embargo, son capaces de aportar tanto carga sensible como latente.
- ✓ Cargas por infiltración y ventilación: son ocasionadas por las infiltraciones de aire o por la necesidad de ventilación y renovación del aire interior de los locales a climatizar.

2.3.1 Evaluación de las condiciones climatológicas, dimensionales e internas del local, para realizar el estimado de la carga de enfriamiento.

El cálculo de las cargas térmicas se inicia con la búsqueda de información evaluación en relación a los siguientes datos:

- ✓ 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 personas en el local.
- ✓ Las fuentes de calor internas.
- ✓ La cantidad de ventilación requerida.

2.3.2 Cálculo de la carga térmica para climatización.

A continuación se detallan los métodos de cálculo empleados para la determinación de las cargas térmicas de los locales. Los métodos descritos son ampliamente empleados, demostrando la experiencia que ofrecen resultados adecuados. La metodología está dirigida al cálculo de las cargas térmicas para satisfacer las necesidades de refrigeración de un edificio, dependencia o local.

El cálculo de la carga térmica de refrigeración (Q_r) es necesario para saber la capacidad de refrigeración de los aparatos de aire acondicionado que se deben utilizar, y en última instancia de su potencia eléctrica de consumo.

La carga térmica total de refrigeración (Q_r) de un local se obtiene de la siguiente expresión:

$$Q_T = Q_s + Q_l \quad (2.1)$$

Donde,

Q_T : carga térmica total de refrigeración [W]

Q_s : carga térmica sensible [W];

Q_l : carga térmica latente [W].

Calculo de las cargas térmicas sensible y latente que se transmiten al local, con objeto de sumarlas y obtener de esta forma la carga térmica total.

2.3.2.1- Cálculo de la carga térmica sensible.

Para el cálculo de la carga térmica sensible (Q_s) se emplea la siguiente expresión:

$$Q_s = Q_{sr} + Q_{str} + Q_{st} + Q_{si} + Q_{sai} \quad (2.2)$$

Donde,

Q_{sr} : valor de la carga sensible debida a 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 y puertas interiores [W];

Q_{si} : carga sensible transmitida por infiltraciones de aire exterior [W];

Q_{sai} : carga sensible debida a aportaciones internas [W].

Por lo tanto, el cálculo de la carga sensible se basa en calcular cada una de las diferentes cargas anteriores y sumarlas, obteniéndose así el valor de la carga sensible total.

2.3.2.1.1 Carga por radiación solar a través de cristal "Qsr".

La radiación solar atraviesa las superficies traslúcidas y transparentes e incide sobre las superficies interiores del local, calentándolas, lo que a su vez incrementa la temperatura del ambiente interior.

La carga térmica por radiación a través de cristales y superficies traslúcidas (Qsr) se calcula como sigue:

$$Q_{sr(N-O)} = A * R * F_{(N-O)} \quad (2.3)$$

Donde,

Q_{sr}: carga térmica por radiación solar a través de cristal, en [W].

A: superficie traslúcida o acristalada expuesta a la radiación, en m².

R: radiación solar que atraviesa la superficie, en [W/m²], correspondiente a la orientación, mes y latitud del lugar considerado.

F: es el factor de corrección de la radiación en función del tipo de vidrio empleado en la ventana, efectos de sombras que pueda existir, etc.

$$F = F_s[(1 - FM) * g_t + FM * 0,04 * U_M * \alpha] \quad (2.4)$$

Donde:

F_s Factor de sombra del hueco o lucernario obtenido en función del dispositivo de sombra.

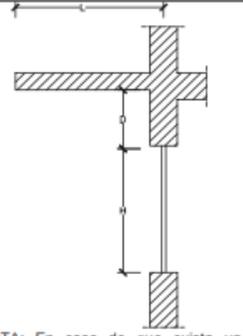
FM -Fracción del hueco ocupada por el marco en el caso de ventanas o la fracción de parte maciza en el caso de puertas.

g_t -Factor solar de la parte semitransparente del hueco o lucernario.

U_m -Transmitancia térmica del marco del hueco o lucernario [W/m² K];

α -Absortividad del marco obtenida en función de su color

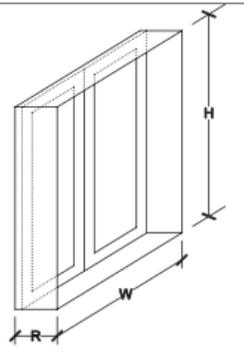
Tabla 2.1 Factor de sombra para obstáculos de fachada: Voladizo



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

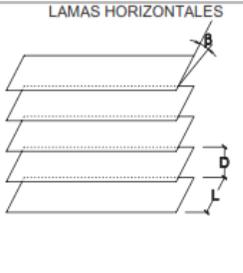
ORIENTACIONES DE FACHADAS		$0,2 < L/H \leq 0,5$	$0,5 < L/H \leq 1$	$1 < L/H \leq 2$	$L/H > 2$
		S	SE/SO	E/O	
S	$0 < D/H \leq 0,2$	0,82	0,50	0,28	0,16
	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,87	0,64	0,39	0,22
	$D/H > 0,5$	0,93	0,82	0,60	0,39
SE/SO	$0 < D/H \leq 0,2$	0,90	0,71	0,43	0,16
	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,94	0,82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

Tabla 2.2 factor de sombra para obstáculos de fachada: Retranqueo

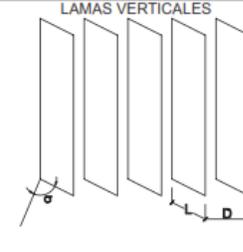


ORIENTACIONES DE FACHADAS		$0,05 < R/W \leq 0,1$	$0,1 < R/W \leq 0,2$	$0,2 < R/W \leq 0,5$	$R/W > 0,5$
		S	SE/SO	E/O	
S	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,82	0,74	0,62	0,39
	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,76	0,67	0,56	0,35
	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,56	0,51	0,39	0,27
	$R/H > 0,5$	0,35	0,32	0,27	0,17
SE/SO	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,86	0,81	0,72	0,51
	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,79	0,74	0,66	0,47
	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,59	0,56	0,47	0,36
	$R/H > 0,5$	0,38	0,36	0,32	0,23
E/O	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,91	0,87	0,81	0,65
	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,86	0,82	0,76	0,61
	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,71	0,68	0,61	0,51
	$R/H > 0,5$	0,53	0,51	0,48	0,39

Tabla 2.3 factor de sombra para obstáculos de fachada: Lamas



ORIENTACIÓN		ANGULO DE INCLINACIÓN (β)		
		0	30	60
SUR	SUR	0,49	0,42	0,26
	SURESTE/SUROESTE	0,54	0,44	0,26
	ESTE/OESTE	0,57	0,45	0,27



ORIENTACIÓN		ANGULO DE INCLINACIÓN (σ)						
		-60	-45	-30	0	30	45	60
SUR	SUR	0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32
	SURESTE	0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,40	0,30
	ESTE	0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32
	OESTE	0,44	0,52	0,58	0,63	0,50	0,41	0,29
	SUROESTE	0,38	0,44	0,50	0,56	0,53	0,48	0,38

NOTAS Los valores de factor de sombra que se indican en estas tablas han sido calculados para una relación D/L igual o inferior a 1. El ángulo σ debe ser medido desde la normal a la fachada hacia el plano de las lamas, considerándose positivo en dirección horaria.

Tabla 2.4 Factor solar de la parte semitransparente (g_t)

Tipo de vidrio		Factor
Vidrio ordinario simple		1
Vidrio de 6 mm		0.94
Vidrio absorbente (% de absorción)	40-48	0.80
	48-56	0.73
	56-70	0.62
Vidrio doble ordinario		0.90
Vidrio triple		0.83
Vidrio de color:		
ámbar		0.70
rojo oscuro		0.56
azul oscuro		0.60
verde oscuro		0.32
verde grisáceo		0.46
opalescente claro		0.43
opalescente oscuro		0.37

Tabla 2.5 Absorbidad del marco en función del color

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	---
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	---
Negro	---	0,96	---

$$FM = A_{PARED} - A_{VENTANA} \quad (2.5)$$

2.3.2.1.2- 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 opacos que limitan con el exterior, se calcula como sigue:

$$Q_{str} = U * A * (T_{ec} - T_i) \quad (2.6)$$

Donde,

Q_{str}: carga por transmisión a través de paredes y techos exteriores, en W.

U: coeficiente global de transmisión térmica del cerramiento, también llamado transmitancia térmica, [W/m²C].

A: superficie del muro expuesta a la diferencia de temperaturas, en [m²].

T_i: temperatura interior de diseño del local [°C]

T_{ec}: temperatura exterior de cálculo al otro lado del local [°C]

Como temperatura interior de diseño (T_i) se pueden tomar los valores de la siguiente tabla, que recoge las condiciones de diseño para la temperatura y humedad relativa del aire interior, según las estaciones del año:

Tabla 2.6. Condiciones interiores de diseño

Estación del año	Temperatura °C	Humedad relativa %
Verano	26 ... 28	45 ... 60
Invierno	21 ... 23	40 ... 50

Por último, 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).

La temperatura exterior de diseño (T_e) 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 la siguiente expresión:

$$T_e = 0,4 \cdot T_{me} + 0,6 \cdot T_{máx} \quad (2.7)$$

La temperatura exterior de cálculo (T_{ec}) se calculará finalmente a partir de la temperatura exterior de diseño (T_e) y de la orientación que tenga el cerramiento que se está considerando, a partir de la siguiente tabla:

Tabla 2.7 Temperatura exterior de cálculo (T_{ec})

Orientación	Temperatura °C
Norte	0,6 · T _e
Sur	T _e
Este	0,8 · T _e
Oeste	0,9 · T _e
Cubierta	T _e +12
Suelo	(T _e +15)/2
Paredes interiores	T _e ·0,75

Los valores de la temperatura media del mes más cálido (T_{me}) y la temperatura máxima del mes más cálido ($T_{m\acute{a}x}$) pueden obtenerse de datos de estaciones meteorológicas cercanas al lugar.

La Norma Cubana NC 220-1/2000 establece los requisitos de diseño para la eficiencia energética con la finalidad de minimizar esta ganancia solar sin afectaciones en el confort establecido por la climatización artificial. En uno de sus acápites establece los valores del coeficiente global de transferencia de calor (U) para algunos valores para los materiales de construcción.

Tabla 2.8 Coeficiente global de transferencia de calor para algunos valores para los materiales de construcción.

Elemento constructivo	Espesor	U
Elementos de pared	(mm)	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
Ladrillo revestido por ambos lados	100	3.24
Ladrillos revestidos por ambos lados	150	2.50
Ladrillos revestidos por ambos lados	200	2.00
Bloque hueco de cerámica roja	150	1.90
Hormigón armado denso	150	3.55
Hormigón armado denso	200	3.18
Bloque hueco de hormigón ligero revestido por ambos lados	200	2.30
Dry Wall		0.60

2.3.2.1.3- Carga por transmisión a través de paredes, techos, suelos y puertas interiores " Q_{st} ".

La carga por transmisión a través de los cerramientos interiores del local que lo limitan con otras estancias del edificio (Q_{st}) se calcula aplicando la expresión siguiente:

$$Q_{st} = U \cdot A \cdot (T_{ec} - T_i) \quad (2.8)$$

Donde,

Q_{st} : carga por transmisión a través de los cerramientos interiores, en [W].

U: coeficiente global de transmisión térmica del cerramiento, también llamado transmitancia térmica, expresado en [$W/m^2 \cdot ^\circ C$].

A: superficie del cerramiento interior, en [m²].

T_{ec}: temperatura de diseño al otro lado del cerramiento [°C]

T_i es la temperatura interior de diseño del local [°C]

Para obtener el valor de la temperatura exterior de cálculo (T_{ec}) se parte de la llamada temperatura del local que se encuentra encima de este y que se encuentra climatizado (T_e). Esta se calcula teniendo en cuenta la temperatura media del local (T_{me}) y la temperatura máxima (T_{máx}) del lugar, a partir de la expresión 2.7

2.3.2.1.4- Carga transmitida por infiltraciones de aire exterior "Q_{si}".

La carga transmitida por infiltraciones y ventilación de aire exterior (Q_{si}) se determina mediante la siguiente expresión:

$$Q_{si} = V \cdot \rho \cdot C_{e,aire} \cdot \Delta T \quad (2.8)$$

Donde,

Q_{si}: carga térmica por infiltración y ventilación de aire exterior [W];

V: caudal de aire infiltrado y de ventilación [m³/s];

ρ: densidad del aire, (1,18 kg/m³);

C_{e,aire} : calor específico del aire, (1012 J/kg°C);

ΔT: diferencia de temperaturas entre el ambiente exterior e interior.

El caudal de aire de infiltrado y de ventilación se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V = v \cdot N \quad (2.9)$$

Donde,

V: volumen del local [m³];

N: número de renovaciones por hora

Tabla 2.9. Número de renovaciones a la hora, para cada tipo de establecimiento o local, según la norma DIN 1946.

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
Tintorerías		5-15
Cabinas de pintura		25-50
Garajes y parkings		5
Salas de decapado		5-15
Locales de acumuladores		5-10
Armarios roperos		4-6
Restaurantes y casinos		8-12
Industrias de Fundiciones		8-15
Remojos		70-80
Auditorios		6-8
Salas de cines y de teatros		5-8
Aulas		5-7
Salas de conferencias		6-8
Cocinas	Privadas	15-25
	Colectivas	15-30
Laboratorios		8-15
Locales de aerografías		10-20
Salas de fotocopias		10-15
Cuartos de máquinas		10-40
Talleres de montaje		4-8
Salas de laminación		8-12
Talleres de soldadura		20-30
Piscinas cubiertas		3-4
Despachos de reuniones		6-8
Cámaras blindadas		3-6
Vestuarios		6-8
Gimnasios		4-6
Tiendas y comercios		4-8
Salas de reuniones		5-10
Salas de espera		4-6
Lavanderías		10-20
Talleres	Alta alteración	10-20
	Poca alteración	3-6
Habitaciones (hoteles...)		3-8
Iglesias modernas (techos bajos)		1-2
Oficinas de bancos		3-4
Cantinas (de industrias, militares)		4-6
Hospitales		5-6
Fábricas en general		5-10
Discotecas		10-12
Cafés		10-12
Restaurantes de comida rápida		15-18
Obradores de panadería		25-35

De esta manera, una vez obtenido el caudal de ventilación de aire del exterior que entra en el local y aplicando la formulación anterior se puede obtener la carga térmica debida a ventilación e infiltración.

2.3.2.1.5- 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 las siguientes tipos de cargas que se generan dentro del mismo:

$$Q_{sai} = Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{se} \quad (2.10)$$

Donde,

Q_{sil}: valor de la ganancia interna de carga sensible debida a la iluminación interior del local [W];

Q_{sp}: ganancia interna de carga sensible debida a los ocupantes del local [W];

Q_{se}: ganancia interna de carga sensible debida a los diversos aparatos existentes en el local, como aparatos eléctricos, ordenadores, etc. [W].

✓ Carga sensible por iluminación (Q_{sil}):

Para el cálculo de la carga térmica sensible aportada por la iluminación interior del establecimiento se considerará que la potencia íntegra de las lámparas de iluminación se transformará en calor sensible. En el caso de las lámparas de tipo fluorescente se multiplicará la potencia total de todas las lámparas por 1,25 para considerar el consumo complementario de las reactancias.

$$Q_{sil,inc} = 1.25 * n * W \quad (2.11)$$

Donde;

n: número de lámparas fluorescentes colocadas.

W: potencia disipada [W]

✓ Carga sensible por ocupantes (Q_{sp}):

Para calcular la carga sensible que aporta cada persona, es necesario conocer previamente las distintas cargas térmicas que origina:

1. Radiación: debido a que la temperatura media del cuerpo es superior a la de los objetos que le rodean.

2. Convección: ya que la superficie de la piel se encuentra a mayor temperatura que el aire que la rodea, creándose pequeñas corrientes de convección que aportan calor al aire.
3. Conducción: originada a partir del contacto del cuerpo con otros elementos que le rodeen.
4. Respiración: lo que origina un aporte de calor por el aire exhalado, que se encuentra a mayor temperatura. Aquí se produce también un aporte de vapor de agua que aumentará la humedad relativa del aire.
5. 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 ésta última tanto a la respiración como a la transpiración. En ambos casos habrá que tener en cuenta el número de ocupantes de la estancia.

En la tabla siguiente se indican los valores de calor latente y sensible, en kcal/h, desprendido por una persona según la actividad y la temperatura existente en el local:

Tabla 2.10. Calor latente y sensible desprendido por persona

Actividad realizada	28 °C		27 °C		26 °C		24 °C	
	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente
Sentado en reposo	45	45	50	40	55	35	60	30
Sentado trabajo ligero	45	55	50	50	55	45	60	40
Oficinas o actividad ligera	45	70	50	65	55	60	60	50
Perona de pie	45	70	50	75	55	70	65	60
Persona que pasea	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

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

$$Q_{sp} = n \cdot C_{\text{sensible, persona}} \quad (2.12)$$

Donde,

n : número de personas que se espera que ocupen el local;

$C_{\text{sensible, persona}}$: calor sensible por persona y actividad que realice, según la tabla anterior.

✓ Carga sensible por aparatos eléctricos (Q_{se}):

Para el cálculo de la carga térmica aportada por la maquinaria, equipos presentes en el espacio climatizado del local se considerará que la potencia integra de funcionamiento de las máquinas y equipos presente en ese recinto se transformará en calor sensible.

$$Q_{se} = 0,9 \cdot W \quad (2.13)$$

2.3.2.2 Cálculo de la carga térmica latente.

Para el cálculo de la carga térmica latente (Q_l) se emplea la siguiente expresión:

$$Q_l = Q_{li} + Q_{lp} \quad (2.14)$$

Donde,

Q_{li} es la carga latente transmitida por infiltraciones de aire exterior [W];

Q_{lp} es la carga latente debida a la ocupación del local [W].

Por lo tanto, el cálculo de la carga latente se basa en calcular cada una de las diferentes cargas anteriores y sumarlas, obteniéndose así el valor de la carga latente total. Y esto es precisamente lo que se va a realizar en los próximos apartados.

2.3.2.2.1- Carga latente transmitida por infiltraciones de aire exterior " Q_{li} ".

La carga latente transmitida por infiltraciones y ventilación de aire exterior (Q_{li}) se determina mediante la siguiente expresión:

$$Q_{li} = V \cdot \rho \cdot C_{l, \text{agua}} \cdot \Delta H \quad (2.15)$$

Donde,

Q_{li} es la carga térmica latente por ventilación de aire exterior [W]

V: es el caudal de aire infiltrado y ventilación [m^3/s];

ρ : densidad del aire, de valor 1,18 kg/ m^3 ;

$C_{l,agua}$: calor específico del agua, de valor 2257 kJ/kg;

ΔH : diferencia de humedad absoluta entre el ambiente exterior e interior.

2.3.2.2.2 Carga latente por personas (Q_{lp}):

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.

En la tabla 2.10 se indican los valores de calor latente y sensible, en kcal/h, desprendido por una persona según la actividad y la temperatura existente en el local.

$$Q_{lp} = N * C_l \quad (2.16)$$

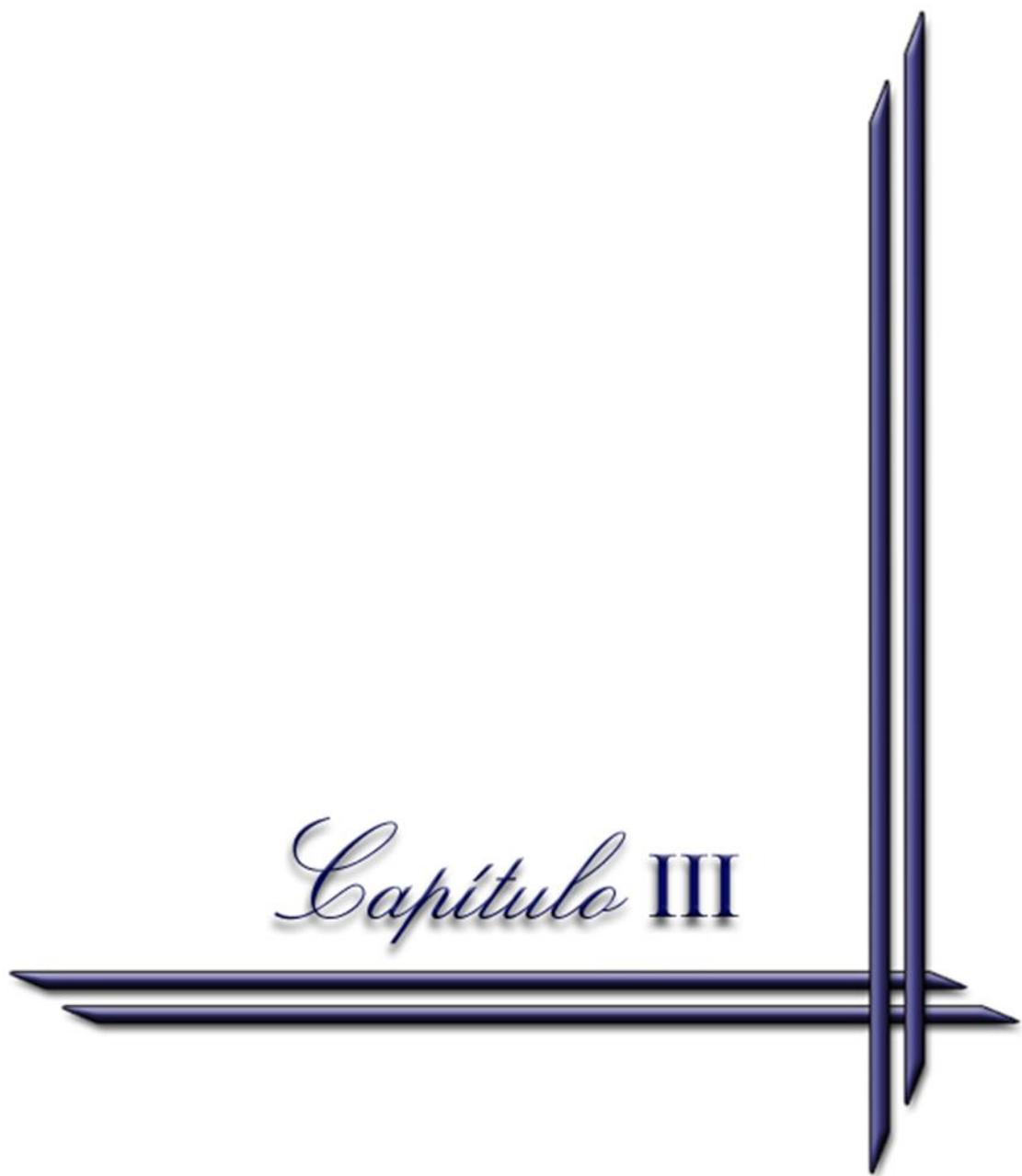
Donde

n: número de personas que se espera que ocupen el local;

$C_{l,atente,persona}$: calor latente por persona y actividad que realice, según la tabla 2.10.

Una vez calcula la carga térmica total del local se procede a la selección del equipo de climatización en función de las características de consumo eléctrico, precio, tipo de gas refrigerante, dimensiones, entre otras. Finalmente se realiza el cálculo económico financiero para justificar la inversión para ello podrá utilizarse las variables de financiación VAN (valor actual neto), TIR (Tasa Interna de Retorno) y PRI (Período de Recuperación de la Inversión), que se encuentran en la Tesis de Grado "Estudio de factibilidad de inversión del electrofiltro con los beneficios arancelarios en Cementos Cienfuegos S.A. autor Benito López Turiño realizada en la Universidad Técnica de Cienfuegos en el año 2012.

Capitula III



Capítulo III: Dimensionado del sistema de climatización en el Centro de Control de Motores (CCM) en la Fábrica de Cemento Cienfuegos SA.

En este capítulo, se aplica el procedimiento descrito en el anterior capítulo para la determinación de las cargas térmicas del local de los CCM del área de piroproceso en la Fábrica de Cemento Cienfuegos SA a partir de un grupo de mediciones representativas, con el objetivo de buscar la demanda de frío del local. Para su procedimiento se utiliza un Excel como principal herramienta, posteriormente se selecciona el equipamiento adecuado a utilizar ante las demandas de cargas reales que impone la instalación y se realiza el cálculo económico financiero de la inversión

3.1 Parámetros climatológicos del local de los CCM.

En la tabla 3.1 se muestran los valores de las variables climatológicas de la región donde se encuentra ubicado el local

Tabla 3.1 Variables climatológicas

VARIABLES CLIMATOLÓGICAS	
Coordenadas Globales	22°.09' Lat. & 80°.19' Long.
Temperatura Max. y Min.	34 °C Y 20 °C
Temperatura media del mes más cálido del año	30°C
Temperatura máxima del mes más cálido del año	34°C
Humedad Relativa	80%
Altura sobre el nivel del mar	105m

Los parámetros de diseño para la climatización, para garantizar las condiciones de trabajo de la automática instalada en los CCM son los siguientes: Temperatura interior: 22 °C y Humedad relativa: 50 %.

3.2 Cálculos de las cargas térmicas para climatización.

3.2.1 Cálculo de la temperatura exterior.

Para el cálculo de la temperatura exterior primero se determina la T_e , utilizando la expresión 2.7 para las temperaturas media y máximas del mes más cálido según los datos de la tabla 3.1.

$$T_e = 0.4 \cdot 30.0 + 0.6 \cdot 34.0$$

$$T_e = 32.4^\circ\text{C}$$

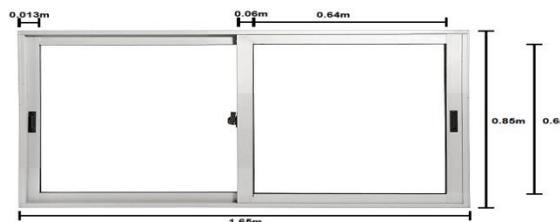
Para la determinación de las temperaturas exterior de cálculo para las cargas térmicas sensibles se utiliza la expresión 2.7.

Tabla 3.2 Resultado de las temperaturas exterior de cálculo para las cargas térmicas sensibles.

Ubicación	T_{ec} [$^\circ\text{C}$]
Norte	19.44
Sur	32.4
Este	25.92
Oeste	29.16
Interior	24.3
Suelo	23.7
paredes interiores	24.3

El cálculo de las cargas sensibles por radiación solar Q_{sr} para las distintas paredes del local se realiza utilizando las expresiones 2.3, 2.4 y 2.5, para las siguientes condiciones:

- ✓ Ventana de vidrio ordinario simple ($g_i=1$ obtenido de la tabla 2.4)
- ✓ Marco de color blanco medio ($\alpha=0.3$ obtenido de la tabla 2.5)
- ✓ La geometría de las ventanas son las que se muestran en la siguiente figura.



- ✓ Fig. 3.1 Geometría y dimensiones de las ventanas del local de los CCM.

- ✓ El valor de radiación solar que atraviesa la superficie considerado en los cálculos es de 200 W/m^2 (valor medio), correspondiente a la orientación, mes y latitud de la región donde se ubica Cementos Cienfuegos S.A. según los datos que aparecen en el estudio ambiental previo realizado por el CITMA y que se muestra en la figura 3.2.
- ✓ Según la NC 220-1 $U_{\text{MARCO}}=2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ para marco de aluminio.

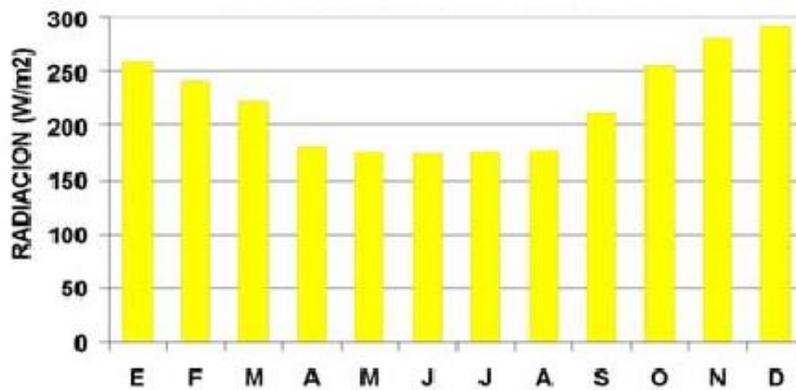


Fig. 3.2 Valores de radiación solar [W/m^2] en la región de emplazamiento de Cementos Cienfuegos S.A.

Tabla 3.3 Resultados del cálculo de área y fracción del hueco ocupada por ventana.

Orientación	Área [m^2]	
oeste	Área pared	108
	Área ventana	1.8
	FM	106.2
norte	Área pared	40
	Área ventana	0
	FM	40
sur	Área pared	40
	Área ventana	0
	FM	40
este	Área pared	108
	Área ventana	0.9
	FM	107.1

Los resultados aparecen en la siguiente tabla.

Tabla 3.4 Resultados del cálculo de las cargas sensibles por radiación solar Q_{sr} a través de cristal.

Q_{sr}		VENTANAS				
		Largo [m]	Ancho [m]	Cantidad	Área de ventana [m ²]	
		Pared este	1.2	0.75	1	0.9
		Pared oeste	1.2	0.75	2	1.8
		F norte	Fsur	Feste	F oeste	R
		32.9472	32.9472	90.148608	89.381376	200
Este	16226.7 W					
Oeste	32177.3 W					
QsrTotal	48404.0 W					

Para la determinación de las cargas térmicas sensibles Q_{str} el valor del coeficiente global de transmisión térmica del cerramiento se toma de la tabla 2.8 para hormigón denso de 150 mm: $U = 3.55 \text{ W/m}^2\text{°C}$ (pared) y hormigón denso 200 mm: $U = 3.18 \text{ W/m}^2\text{°C}$ (techo).

Tabla 3.5 Resultados del cálculo de las cargas sensibles por radiación y trasmisión a través de paredes y techos exterior "Qstr"

Q_{str}		PAREDES					
		Largo [m]	Ancho [m]	Stotal [m ²]	Área de Ventanas [m ²]	Atotal-Área de Ventanas [m ²]	
		Pared norte	10	4	40	0	40
		Pared sur	10	4	40	0	40
		Pared este	27	4	108	0.84	107.16
		Pared oeste	27	4	108	1.68	106.32
Norte	363.52 W	U_{muro}	3.55				
Sur	1476.80 W	U_{techo}	3.18				
Este	1491.24 W						
Oeste	9171.69 W						
Techo	0 W						
Qstr (Total)	12503.25 W						

Para la determinación de Q_{st} es necesario calcular el valor de U para la puerta de entrada al local, para ello se utiliza la expresión siguiente:

$$U_{puerta} = U_{lamina} * [(1 - FM) + FM * U_{marco}] \quad (3.1)$$

Donde:

U_{lamina} : Transmitancia térmica de la zona acristalada [W/ m² K].

FM: Fracción de parte maciza en el caso de puertas.

U_{marco} : Transmitancia térmica del marco de la puerta [W/ m² K].

En el caso de las puertas utilizadas en esta instalación el marco es de aluminio mientras que los paños son de PVC ($U_{marco} = 0,17$ W/m²K). Para conocer la fracción del hueco ocupada por el marco se tiene que:

$$A_{totalpuerta} = 1,03 * 2,08 = 2,14 \text{ m}^2$$

$$A_{marco puerta} = 0,075 * (2,08 * 4) + 0,075 * (0,73 * 4) = 0,84 \text{ m}^2$$

$$U_{puerta} = 1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tabla 3.6 Carga por transmisión a través de paredes, suelos, puertas y ventanas interiores "Q_{st}".

TECHO –PISO-PUERTA						
		Largo [m]	ancho [m]	Stotal [m ²]	Cantidad	Stotal- Puerta [m ²]
Q_{st}	Techo	27	10	270	1	270.00
	Piso	27	10	270	1	270.00
	Puerta	0.75	1.7	1.275	1	1.28

<i>techo interior</i>	2060.64	W
<i>piso</i>	3262.680	W
<i>puerta</i>	3.52	W

Q_{st} (Total)	5326.8	W
-------------------------------	---------------	----------

U_{muro}	3.55
U_{puerta}	1.2

La temperatura exterior de cálculo (T_{ec}) para el techo, se toma como la temperatura del local que se encuentra encima del local del CCM en este caso por encontrarse climatizado (T_e) se toman los valores que por medición. Se determina la temperatura media del local (T_{me}) y la temperatura máxima ($T_{m\acute{a}x}$) del lugar, a partir de la expresión 2.7:

$$T_{me} = 22.0^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ax} = 26.0^{\circ}\text{C}$$

$$T_e = 24.4^{\circ}\text{C}$$

Para obtener el valor de la temperatura exterior de cálculo (T_{ec}) para el piso, se parte de la llamada temperatura del local que se encuentra por debajo del local del CCM y que se encuentra climatizado (T_e). Esta se calcula teniendo en cuenta la temperatura media del local (T_{me}) y la temperatura máxima ($T_{m\acute{a}x}$) del lugar, a partir de la expresión 2.7:

$$T_{me} = 24.0^{\circ}\text{C}$$

$$T_{max} = 27.0^{\circ}\text{C}$$

$$T_e = 25.8^{\circ}\text{C}$$

Tabla 3.7 Carga transmitida por infiltraciones de aire exterior " Q_{si} ".

	Caudal	Densidad	[kg/m ³]	1.18
	3136	[m ³ h ⁻¹]	Calor específico aire [J/kg°C]	1012
	0.87	[m ³ s ⁻¹]	Volumen habitación [m ³]	392
			Cantidad de renovaciones [h ⁻¹]	8
	$Q_{si}(Total)$	4077.76	W	

Tabla 3.8 Calor sensible por aportaciones internas " Q_{sal} ".

				Cantidad
		Potencia instalada [W]	240	
Q_{se}	216	Potencia instalada luminaria [W]	40	10
Q_{si} (iluminación)	200	Calor desprendido personas [W]	60	5
Q_{sp} (personas)	300			
	Q_{sal}	716.00	W	

La carga térmica sensible total calculado a partir de la expresión 2.2 tiene un valor de:

$$Q_s = Q_{sr} + Q_{str} + Q_{st} + Q_{si} + Q_{sai} \quad \mathbf{71027.90 \text{ W}}$$

242205.14 BTU

3.3 Determinación de la carga latente.

3.3.1 Carga latente transmitida por infiltraciones y ventilación de aire exterior "Q_{si}".

Para la determinación de la carga latente por infiltración del aire exterior se toman las humedades absolutas en función de las temperaturas y humedades relativas interiores y exteriores tomados de la tabla 1 del anexo.

Para:

- ✓ Humedad 50% y T=22 °C **H=8.22**
- ✓ Humedad 80% y T=33 °C **H=25.7**

Tabla 3.9 carga latente por infiltración de aire exterior.

Caudal	Densidad	[kg/m ³]	1.18
3136	[m ³ h ⁻¹]	Calor específico agua[J/kg°C]	2.257
0.87	[m ³ s ⁻¹]	Volumen habitación	[m ³]
		Variación de humedad	17.48
Q_{ii}(Total)			40.55 W

El valor del calor latente de las personas se extrae de la tabla 2.10 para una temperatura de 24 °C, aunque la temperatura de diseño de la climatización es 22 °C, esto se traduce en una sobreestimación aceptable del valor final de la carga latente por ocupación. Para la cantidad de personas se toma un valor promedio de 5 ya que es la cantidad normal de trabajadores en un turno de trabajo con acceso al local de los CCM

Tabla 3.10 Carga latente por ocupación.

	cantidad de personas	5
	Calor latente[W/h]	60
Q_p(Total)		300 W

El valor del calor latente total es de 340.55 W.

El valor total de la carga térmica del local de los CCM es de 71368.46 W. Para la determinación de la capacidad del equipo de climatización se toma el valor calculado más un 5% de reserva, por lo que el valor total a considerar es de 74936.87 W (255534.75 BTU; 21.29 t).

Según los resultados obtenidos en los cálculos de las cargas se puede concluir que la capacidad que se instalará en el local es de 22 t/h que satisface la demanda del local CCM ya que en los cálculos como mínimo se necesitan 21 t/h.

3.4 Análisis de sensibilidad.

Una vez concluido los cálculos para los valores de temperaturas máxima y mínima de diseño considerados, es necesario realizar un análisis de sensibilidad para valorar el comportamiento de los resultados al variar dichas temperaturas, ya que en este lugar la temperatura cambia a consecuencia de las operaciones tecnológicas de planta, pues su posición lo expone al calor generado por el horno de línea 1, que se encuentra a pocos metros de este. En la tabla 3.11 y gráficos 3.3 y 3.4, se muestra como varían las cargas térmicas en consecuencia con la temperatura.

Tabla 3.11 Comportamiento de las cargas térmicas y toneladas de refrigeración con respecto a la variación de temperatura exterior.

Variación de temperatura °C	Carga Térmica total W	Toneladas de refrigeración T
27-31	70286.19	20
28-32	71836.42	20.4
29-33	73386.64	20.8
30-34	74936.87	21.3
31-35	76487.1	21.7
32-36	78037.33	22.17

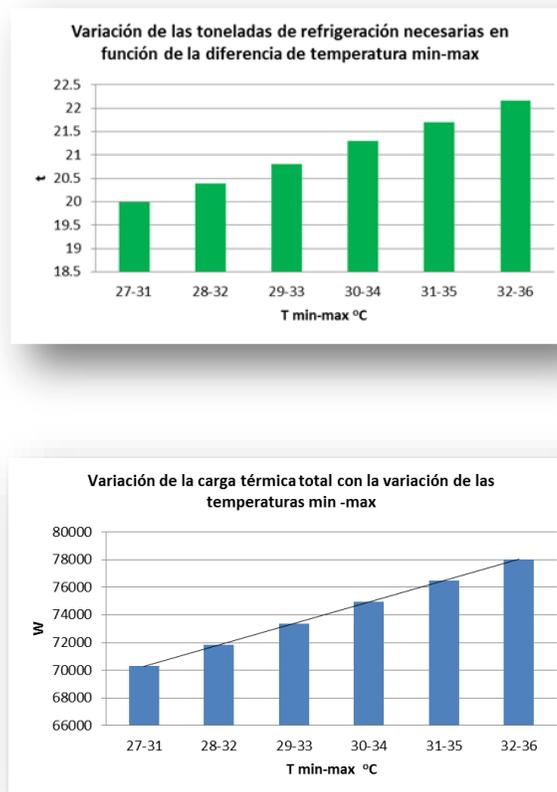


Fig. 3.3 Variación de la carga térmica y las toneladas de refrigeración con la variación de las temperaturas máximas y mínimas.

3.5 Estudio económico.

Para la realización del estudio económico ambiental de la inversión fueron analizados varios variantes de suministros de equipos de clima cotizados por suministradores a la gerencia de compras de la empresa, los que se muestran en la siguiente tabla:

La climatización de los locales de los CCM del área de piroproceso representa una mejora tecnología general en el área operaciones que producirá una sensible disminución de los costos de producción debido a la disminución de las pérdidas por fallos del sistema automático con afectaciones económicas debido al tiempo de parada de las instalaciones de producción y los mantenimientos.

Para la rehabilitación de los equipos de clima principal fueron licitadas varias firmas suministradoras de equipamiento, en el análisis para la selección de la oferta final se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos técnicos y económicos:

- Costo del equipamiento.
- Forma de pago
- Tiempo de entrega
- Garantías.
- Procedencia.
- Modificaciones civiles
- Piezas de repuestos
- Costos de mantenimiento.
- Tasa de fallo.

Finalmente fueron licitadas las firmas Hitachi y Goodman.

Tabla 3.12 Relación de equipos licitados

Equipo	Capacidad	Suministrador	Costo [USD]
consola Hitachi	10 t	CTS	7000.00
consola Goodman	1 t	Gonio	500.00

En general la inversión consta de 2 equipos de 10 t y 2 de 1 t.

Para predeterminar el costo de la se tuvieron en cuenta los siguientes elementos:

- ✓ Costo del equipamiento, aranceles a la importación, cargo por almacenaje en puerto, acondicionamiento necesario para los trabajos de desmontajes de la instalación vieja y el montaje de la nueva instalación, rehabilitación del interior del local donde será instalado, alquiler de mano de obra y equipos y el monto de imprevistos. los montos para cada concepto son relacionados en la tabla 3.13.
- ✓ La vida útil del proyecto es de 5 años ya que es el tiempo establecido por el fabricante. la depreciación se hace por el método lineal con una tasa del 6% anual.
- ✓ La tasa de descuento es del 10% según se establece en la empresa.

En el pronóstico de los flujos de caja del proyecto se consideraron los siguientes aspectos:

- ✓ Los niveles de consumo eléctrico previstos en el futuro del nuevo y viejo equipamiento.
- ✓ Proyección anual de los flujos de caja.
- ✓ La empresa dispone íntegramente de la depreciación ya que es propiedad de los activos.
- ✓ El cargo anual por concepto de depreciación
- ✓ Se proyectaron las entradas por concepto de disminución de los costos asociados a las pérdidas, al consumo de energía en la instalación y a los mantenimientos sin la inversión.

Para la realización de los análisis de la inversión se tomó la tasa de descuento del 10% establecido por la junta de accionistas de Cementos Cienfuegos S.A. para las inversiones y se realizó una proyección hasta un 15% según se establece en nuestro país, para la determinación de los perfiles del VAN.

Las entradas están asociadas a los ahorros por concepto de eliminación de las pérdidas con y sin la instalación de los nuevos climas, Las salidas están dadas por concepto de gastos de mantenimiento, depreciación, fuerza de trabajo y energéticos

En su totalidad los flujos de caja son positivos, lo que evidencia la eficiencia y eficacia del nuevo equipamiento a instalar. Los resultados de los indicadores principales de presupuesto para la inversión analizada en este trabajo, aparece en la tabla 3.14.

Tabla 3.13 Montos financieros de la inversión.

COSTOS COSTOS DE PRODUCCION VARIABLES	USD					
CONSUMO ENERGIA TOTAL		10713.1	10713.1	10713.1	10713.1	10713.1
TOTAL COST. PROD. VAR.		10713.1	10713.1	10713.1	10713.1	10713.1
COSTOS DE PRODUCCION FIJOS MANTENIMIENTO		240.0	240.0	240.0	240.0	240.0

SALARIOS						
DIRECTOS		41.8	41.8	41.8	41.8	41.8
IMP. SALAR + SEG. SOC	0.25%	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
GASTOS ADMINIST.		2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
TOTAL COST. PROD. FIJOS		283.9	283.9	283.9	283.9	283.9
DEPRECIACION		270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
TOTAL COSTOS NUEVO	USD	11267.0	11267.0	11267.0	11267.0	11267.0
TOTAL COSTOS ACTUAL		18867.8	18867.8	18867.8	18867.8	18867.8
FLUJO DESPUES DE IMPUESTOS		2600.7	2600.7	2600.7	2600.7	2600.7
BONIFICACION	100.0%	130.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FLUJO DE CAJA	a	1	2	3	4	5
GANANCIA NETA		7100.7	7600.7	7600.7	7600.7	7600.7
- INVERSION	-15000.00					
+ VALOR RESID ACT FIJOS						
= FLUJO NET CAPITAL	-15000.0	7100.7	7600.7	7600.7	7600.7	7600.7
FC DESCONTADO		6455.2	6281.6	5710.6	5191.4	4719.5

Tabla 3.14 Resultados del cálculo de los indicadores de financiación

VALOR ACTUAL NETO

Año	Flujo Caja	PRI real	FC descontados	PRI desc	Fc descontado 15%
0	-15,000.00	-15,000.00	-15,000.00	-15,000.00	-15,000.00
1	7,100.74	-7,899.26	6,455.22	-8,544.78	6,174.56
2	7,600.74	-298.51	6,281.61	-2,263.17	5,747.25
3	7,600.74		5,710.55		4,997.61
4	7,600.74	1.04	5,191.41	1.36	4,345.75
5	7,600.74	2.04	4,719.46	2.36	3,778.91
		VAN	13,358.25	VAN	10,044.09

TIR 40.4%

Tabla 3.14 Evaluación costo beneficio

INVERSIÓN = 15,000.00 USD

BENEFICIO = 28,358.25 USD

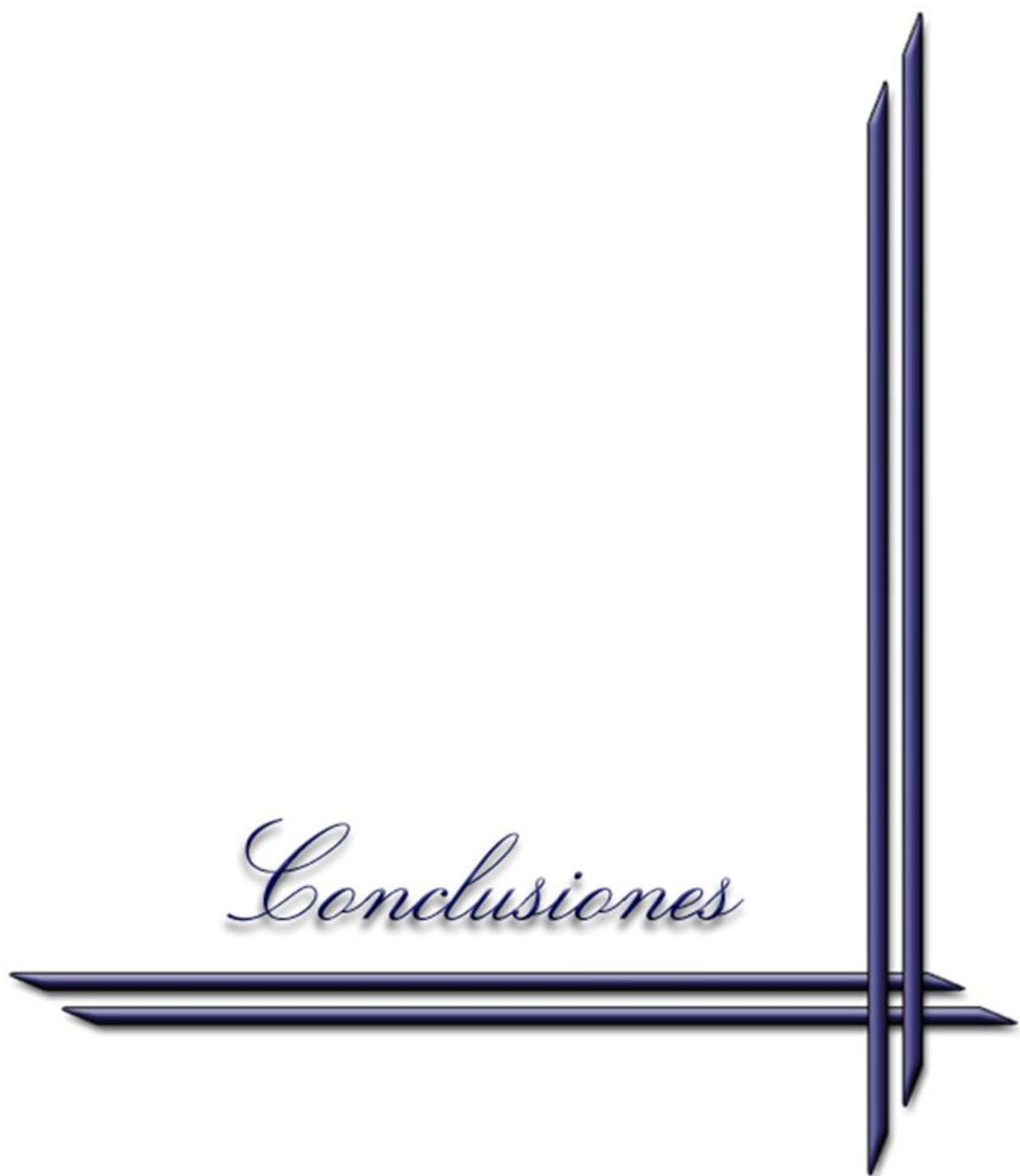
OC/B = 1.89 USD

3.6 Impacto Ambiental.

La sustitución del equipamiento de climatización del local de los CCM constituye una acción de producción más limpia ejecutada en la empresa por cuanto la nueva tecnología instalada no emplea gases agotadoras de la capa de ozono de los tipos CFC con Potencial de Destrucción de la Capa de Ozono ODP=1, al utilizar R-407A con ODP =0.05

Al propio tiempo la sensible disminución del consumo energético (30%) del nuevo equipamiento respecto al anterior produce además una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero asociada al proceso de combustión en las plantas de generación de la red nacional la que en la actualidad mantiene una tasa de emisión de 0.87 tCO₂/MWe.

Conclusiones



CONCLUSIONES.

Al culminar esta investigación se arriba a las siguientes conclusiones:

1. Se dimensionó el sistema de climatización para la sala de CCM de la Fábrica de Cemento Cienfuegos SA, siendo necesario suplir una capacidad de enfriamiento de 22 toneladas de refrigeración.
2. A partir de la disponibilidad en el mercado y siguiendo criterios ambientales se seleccionaron dos unidades de 10 toneladas y dos de 1 tonelada ambas con refrigerante R-407A de un bajo impacto ambiental comparado con los tradicionales sistemas de R-22.
3. Los indicadores de rentabilidad VAN (13358.25 USD), TIR (40.4%), demuestran su factibilidad económica. El período de recuperación de la inversión es aproximadamente de 2 años y 6 meses, lo que representa un 31 % del tiempo que como máximo se establece en el país para la recuperación del desembolso inicial de la inversión (8.02 años).
4. La instalación del equipamiento de climatización del local de los CCM constituye una acción de producción más limpia ejecutada en la empresa por cuanto la nueva tecnología instalada no emplea gases agotadores de la capa de ozono de los tipos CFC.

Recomendaciones



Recomendaciones

Una vez concluido este trabajo recomendamos que:

1. Sugerir a la dirección de la empresa Cementos Cienfuegos S.A llevara cabo la ejecución del proyecto de climatización a partir de los resultados de este trabajo.
2. La metodología descrita en este trabajo se aplique por la Dirección Técnica de la empresa para determinar las necesidades de climatización del resto de los locales que aún mantienen equipos de climatización de tecnología obsoleta para la justificación de nuevas inversiones de sustitución.

Bibliografia



Bibliografía

- Autores, C. d. (s.f.). *El Instalador Diseño de un Sistema de Climatización que Consiga la Convivencia entre Fumadores y No Fumadores.*
- Autores, C. d. (s.f.). *Temas avanzados de refrigeración y acondicionamiento del aire.* Cienfuegos. Cuba: *Universo Sur.*
- Autores, P. G. (1994). *Energía y desarrollo sostenible.* La Habana.Cuba: Política.
- Clasificación.* (2006). Retrieved from <http://www.maquinariapro.com/sistemas/>
- Climatización Industrial .* (2011).
- Cómo evitar la corrosión en salas eléctricas.* (2011).
- Definición de Cargas Térmicas.* (2005).
- Granados, J. (2003). *Manual de Cálculo de Cargas Térmicas.*
- Group, C. (s.f.). *Manual de Aire Acondicionado.*
- Historia del aire acondicionado.* (2011). Retrieved from <http://www.elaireacondicionado.com/>
- J., F. (s.f.). *Análisis y selección de sistemas de aire acondicionado.* York: Clima Roca.
- Martínez, O. D. (2011). *Cálculos Verificativos del Sistema de Climatización del Teatro de Actos de la Empresa Termoeléctrica.Cienfuegos.*
- Mora García, D. (2010). *Aplicación de un procedimiento para la evaluación de inversiones dirigidas a la rehabilitación del sistema de tratamiento de residuales líquidos en la Empresa Azucarera 5 de Septiembre.* (Tesis de Diploma), Universidad, Cienfuegos.Cienfuegos.
- Moreno, J. (2007). *Las Finanzas en la Empresa. Información, análisis, recursos y planeación,* La Habana.Cuba. Félix Varela.
- Paredes, Pochuanca, D. (2006). *La evaluación de proyectos y los principales estados financieros.* Retrieved from www.monografias.com.
- Pérez Mayedo, H. Pérez Molina,G. y Bruzeta Segura,J. (2010). *Evaluación financiera de un proyecto de inversión en la Empresa Nacional de Software Desoft División Las Tunas.* Retrieved from <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/cu/2010/mms.htm>.

- Realey, R and Myers, S, (2006). *Fundamentos de Financiación Empresarial en tres partes*. La Habana. Cuba. Félix Varela.
- Reid, M. A. (2009). *Análisis De La Carga Térmica En Las Edificaciones Con Herramientas De Simulación Computacional*.
- Rodríguez Sandías, A. (2004). *Análisis y Valoración de Proyectos*
- Stocker, W. (1985). *Refrigeración y acondicionamiento de aire* .
- Stocker, W. (1987). *Refrigeración y acondicionamiento de aire*. LA Habana.Cuba: Edición Revolucionaria.
- Torres, M. (2008). *Análisis del Aislamiento Térmico de un Edificio mediante el uso de Sistemas Dinámicos*.
- .

Anexos

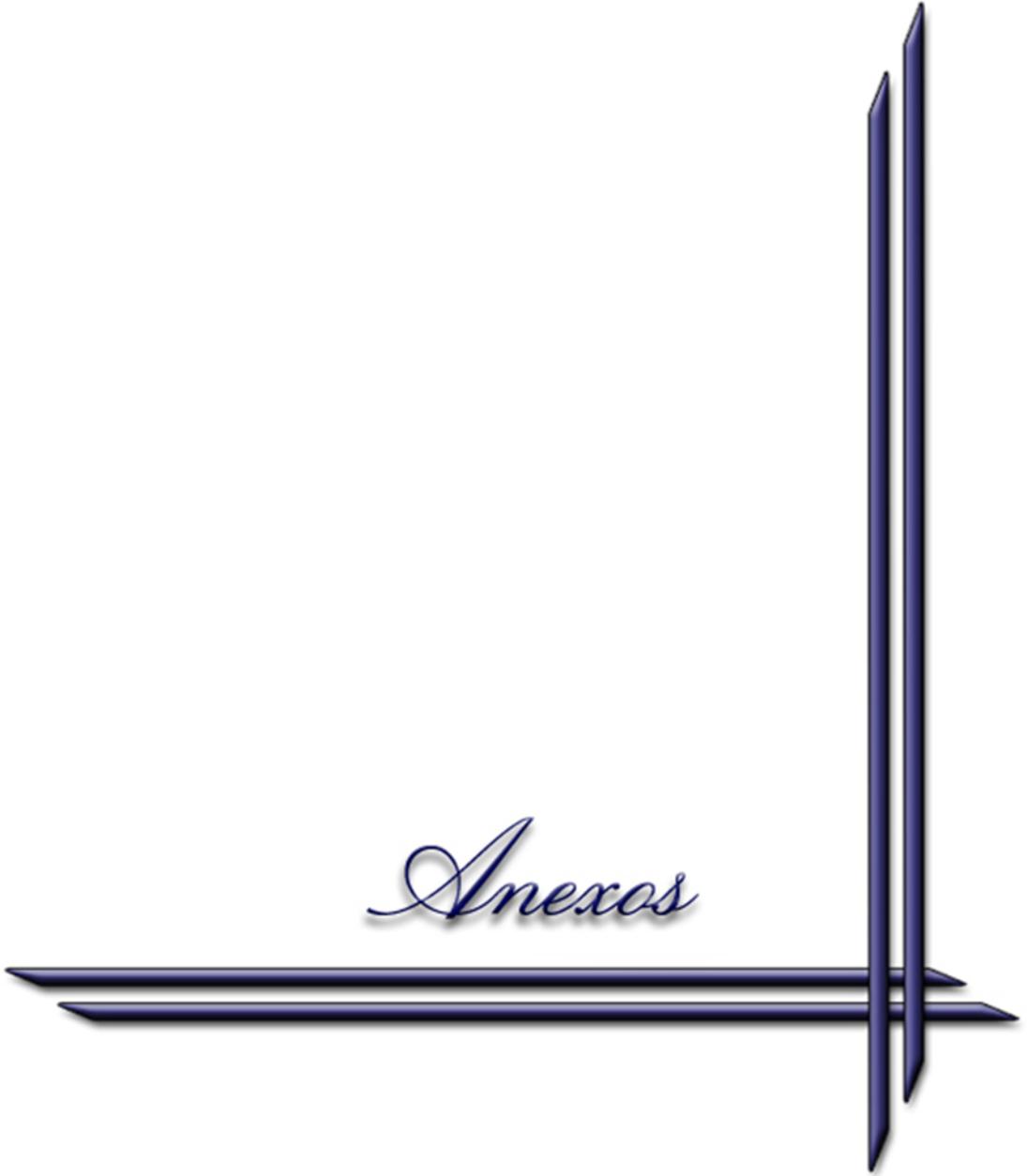


Tabla 1. Humedad relativa.

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																			
-25	63,29	1811,43	0,7023	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,17	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39
-20	103,26	1132,63	0,7165	0,03	0,06	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,63
-15	165,30	721,51	0,7308	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,36	0,41	0,46	0,51	0,56	0,61	0,66	0,71	0,76	0,81	0,86	0,91	0,97	1,02
-10	259,90	467,78	0,7450	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48	0,56	0,64	0,72	0,80	0,88	0,96	1,04	1,12	1,20	1,28	1,36	1,44	1,52	1,60
-9	283,93	429,81	0,7478	0,09	0,17	0,26	0,35	0,44	0,52	0,61	0,70	0,79	0,87	0,96	1,05	1,13	1,22	1,31	1,40	1,48	1,57	1,66	1,75
-8	309,98	395,18	0,7507	0,10	0,19	0,29	0,38	0,48	0,57	0,67	0,76	0,86	0,95	1,05	1,14	1,24	1,33	1,43	1,53	1,62	1,72	1,81	1,91
-7	338,19	363,59	0,7535	0,10	0,21	0,31	0,42	0,52	0,62	0,73	0,83	0,94	1,04	1,14	1,25	1,35	1,46	1,56	1,67	1,77	1,87	1,98	2,08
-6	368,74	334,72	0,7563	0,11	0,23	0,34	0,45	0,57	0,68	0,79	0,91	1,02	1,13	1,25	1,36	1,47	1,59	1,70	1,82	1,93	2,04	2,16	2,27
-5	401,76	308,36	0,7592	0,12	0,25	0,37	0,49	0,62	0,74	0,86	0,99	1,11	1,24	1,36	1,48	1,61	1,73	1,86	1,98	2,10	2,23	2,35	2,48
-4	437,47	284,24	0,7620	0,13	0,27	0,40	0,54	0,67	0,81	0,94	1,08	1,21	1,35	1,48	1,62	1,75	1,89	2,02	2,16	2,29	2,43	2,56	2,70
-3	476,06	262,17	0,7649	0,15	0,29	0,44	0,59	0,73	0,88	1,02	1,17	1,32	1,46	1,61	1,76	1,91	2,05	2,20	2,35	2,49	2,64	2,79	2,94
-2	517,73	241,97	0,7677	0,16	0,32	0,48	0,64	0,80	0,95	1,11	1,27	1,43	1,59	1,75	1,91	2,07	2,23	2,39	2,55	2,71	2,87	3,03	3,19
-1	562,67	223,46	0,7705	0,17	0,35	0,52	0,69	0,86	1,04	1,21	1,38	1,56	1,73	1,91	2,08	2,25	2,43	2,60	2,78	2,95	3,12	3,30	3,47
0	611,15	206,49	0,7734	0,19	0,38	0,56	0,75	0,94	1,13	1,32	1,50	1,69	1,88	2,07	2,26	2,45	2,64	2,83	3,02	3,21	3,39	3,58	3,77
1	657,10	192,75	0,7762	0,20	0,40	0,61	0,81	1,01	1,21	1,41	1,62	1,82	2,02	2,23	2,43	2,63	2,84	3,04	3,24	3,45	3,65	3,86	4,06
2	706,00	180,06	0,7791	0,22	0,43	0,65	0,87	1,09	1,30	1,52	1,74	1,96	2,17	2,39	2,61	2,83	3,05	3,27	3,49	3,71	3,92	4,14	4,36
3	758,00	168,31	0,7819	0,23	0,47	0,70	0,93	1,17	1,40	1,63	1,87	2,10	2,34	2,57	2,80	3,04	3,27	3,51	3,74	3,98	4,22	4,45	4,69
4	813,50	157,40	0,7848	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,26	2,51	2,76	3,01	3,26	3,52	3,77	4,02	4,27	4,53	4,78	5,03
5	872,50	147,28	0,7876	0,27	0,54	0,80	1,07	1,34	1,61	1,88	2,15	2,42	2,69	2,96	3,23	3,50	3,77	4,04	4,31	4,59	4,86	5,13	5,40
6	935,30	137,89	0,7904	0,29	0,57	0,86	1,15	1,44	1,73	2,02	2,31	2,59	2,88	3,17	3,46	3,75	4,05	4,34	4,63	4,92	5,21	5,50	5,79
7	1 002,0	129,17	0,7933	0,31	0,62	0,92	1,23	1,54	1,85	2,16	2,47	2,78	3,09	3,40	3,71	4,02	4,34	4,65	4,96	5,27	5,59	5,90	6,21
8	1 072,8	121,08	0,7961	0,33	0,66	0,99	1,32	1,65	1,98	2,31	2,65	2,98	3,31	3,64	3,98	4,31	4,64	4,98	5,31	5,65	5,98	6,32	6,66
9	1 148,1	113,54	0,7990	0,35	0,71	1,06	1,41	1,77	2,12	2,48	2,83	3,19	3,54	3,90	4,26	4,61	4,97	5,33	5,69	6,05	6,41	6,77	7,13
10	1 228,0	106,53	0,8018	0,38	0,75	1,13	1,51	1,89	2,27	2,65	3,03	3,41	3,79	4,17	4,56	4,94	5,32	5,71	6,09	6,47	6,86	7,24	7,63
11	1 312,7	100,01	0,8046	0,40	0,81	1,21	1,62	2,02	2,43	2,83	3,24	3,65	4,06	4,46	4,87	5,28	5,69	6,10	6,51	6,93	7,34	7,75	8,16
12	1 402,6	93,93	0,8075	0,43	0,86	1,29	1,73	2,16	2,59	3,03	3,46	3,90	4,33	4,77	5,21	5,65	6,09	6,53	6,96	7,41	7,85	8,29	8,73
13	1 497,8	88,26	0,8103	0,46	0,92	1,38	1,84	2,31	2,77	3,23	3,70	4,17	4,63	5,10	5,57	6,03	6,50	6,97	7,44	7,91	8,39	8,86	9,33
14	1 498,7	88,52	0,8132	0,46	0,92	1,38	1,85	2,31	2,77	3,24	3,70	4,17	4,63	5,10	5,57	6,04	6,51	6,98	7,45	7,92	8,39	8,86	9,34
15	1 705,5	78,06	0,8160	0,52	1,05	1,57	2,10	2,63	3,16	3,69	4,22	4,75	5,28	5,81	6,35	6,88	7,42	7,95	8,49	9,03	9,57	10,10	10,60
16	1 818,4	73,46	0,8188	0,56	1,12	1,68	2,24	2,80	3,37	3,93	4,50	5,06	5,63	6,20	6,77	7,34	7,91	8,49	9,06	9,63	10,20	10,80	11,40
17	1 938,0	69,17	0,8217	0,60	1,19	1,79	2,39	2,99	3,59	4,19	4,80	5,40	6,01	6,61	7,22	7,83	8,44	9,05	9,66	10,30	10,90	11,50	12,10
18	2 064,3	65,16	0,8245	0,63	1,27	1,91	2,54	3,18	3,82	4,47	5,11	5,75	6,40	7,05	7,70	8,35	9,00	9,65	10,30	11,00	11,60	12,30	12,90
19	2 197,8	61,41	0,8274	0,68	1,35	2,03	2,71	3,39	4,07	4,76	5,44	6,13	6,82	7,51	8,20	8,89	9,59	10,30	11,00	11,70	12,40	13,10	13,80
20	2 338,8	57,91	0,8302	0,72	1,44	2,16	2,88	3,61	4,34	5,07	5,80	6,53	7,26	8,00	8,73	9,47	10,20	11,00	11,70	12,40	13,20	13,90	14,70
21	2 487,7	54,63	0,8330	0,76	1,53	2,30	3,07	3,84	4,62	5,39	6,17	6,95	7,73	8,51	9,30	10,10	10,90	11,70	12,50	13,30	14,10	14,90	15,70
22	2 644,8	51,56	0,8359	0,81	1,63	2,44	3,26	4,09	4,91	5,73	6,56	7,39	8,22	9,06	9,90	10,70	11,60	12,40	13,30	14,10	15,00	15,80	16,70
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

Tabla1. Factor solar de la parte semitransparente (gt)

Tipo de vidrio		Factor
Vidrio ordinario simple		1
Vidrio de 6 mm		0.94
Vidrio absorbente (% de absorción)	40-48	0.80
	48-56	0.73
	56-70	0.62
Vidrio doble ordinario		0.90
Vidrio triple		0.83
Vidrio de color:		
ámbar		0.70
rojo oscuro		0.56
azul oscuro		0.60
verde oscuro		0.32
verde grisáceo		0.46
opalescente claro		0.43
opalescente oscuro		0.37

Vista interior del local.



Vista interior y equipamiento.



Equipamiento e iluminación.



Equipamiento.

