

República de Cuba  
Ministerio de Educación Superior  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”  
Departamento de Metalurgia Electromecánica

# Trabajo de Diploma

En opción al Título de Ingeniero Mecánico

*Título: Evaluación de la carga térmica de climatización de la instalación  
hotelera Villa Cromita.*

*Autora: Lisbet Argüelles Cobas.*

*Tutores: M. Sc. Ing. Ever Góngora Leyva.*

*Moa /2008*

*“Año 50 de la Revolución”*



*Tesis en Opción al Título de Ingeniero Mecánico*

***Declaración de autoridad***

Yo: Lisbet Argüelles Cobas.

Autor de este Trabajo de Diploma, certifico su propiedad a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez", el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

*Autor:*

*Firma:* \_\_\_\_\_

Lisbet Argüelles Cobas

*Tutor:*

*Firma:* \_\_\_\_\_  
*M. Sc. Ever Góngora Leyva*

*Lisbet Argüelles Cobas*



## **RESUMEN**

En la presente investigación se desarrolló un estudio sobre la situación actual de las instalaciones hoteleras de la Empresa de Servicio a la Unión del Níquel “Camilo Cienfuegos Gorriaran” con el objetivo de evaluar el consumo energético por concepto de climatización.

Durante el desarrollo de la misma se analizaron los trabajos precedentes relacionados con la temática tratada, se describieron los locales objeto de estudio y quedó establecido el procedimiento de cálculo para la estimación de la carga térmica sobre la batería de enfriamiento.

Los resultados obtenidos confirman que el 31 % de los locales estudiados requieren de equipos de mayor capacidad de enfriamiento y en los casos en que la carga instalada es superior a la de cálculo, se pudo apreciar que solo en algunas habitaciones se justifica la sustitución del instalado por uno de menor capacidad debido a que la diferencia supera la media tonelada de refrigeración.

Finalmente se evalúa el impacto ambiental del refrigerante utilizado por los equipos de acondicionamiento de aire y se emiten cuatro conclusiones y dos recomendaciones.



## **SUMMARY**

This investigation developed an studied about the current situation of the hotel industries facilities from the Empresa de Servicio a la Unión del Níquel "Camilo Cienfuegos Gorriaran" with the objective of evaluating the energy consumption for air conditioning concept.

During the development of the same one the treated precedent works related with the thematic one were analyzed, the local study object were described and it was established the calculation procedure for the estimate of the thermal load on the cooling battery.

The obtained results confirm that the 31% of the local requires of teams of more cooling capacity and in the cases in that the installed load is superior to the calculation, in some rooms is justified the substitution of the conditioner of air installed by one of smaller capacity because the difference overcomes the middle ton of refrigeration.

Finally the environmental impact of the coolant one is evaluated used by the teams of conditioner of air and four conclusions and two recommendations are emitted.



## DEDICATORIA

*Hoy ha llegado el momento final y si acaso algún mérito me puedo adjudicar con este trabajo, es el de haber concentrado todas las emociones y valores que me produjo este sacrificio, y junto con ello a todas esas personas que con todo su cariño, apoyo y dedicación, contribuyeron al logro de este éxito.*

*Aprovechando entonces para dedicar desde el infinito de mi corazón:*

*A: Estela Coba Sosa, mi madre y Adolfo Argüelles Grimon mi padre por mi existencia, por todo lo que he llegado a ser gracias a ellos y por todo el amor y respeto que les tengo.*

*A: Ever Góngora Leyva, mi tutor por su orientación, apoyo, consejo y capacidad profesional.*

*A: Lorena Sablón Argüelles, mi pequeña florecita por ser mi mayor debilidad y mi mayor felicidad.*

*A: Ediban Sablón Lafita, mi esposo por todos estos años a mi lado, por su sublime ayuda, su comprensión y por todo el cariño, amistad y amor que siento por él.*

*A: Liset Argüelles Cobas, mi hermana querida por todo el amor que le tengo por la dicha de tener una hermana como ella.*

*A: Estela Sosa Rodríguez, mi abuela por todo el amor que ha dedicado a mi y a mi hija, por la ayuda infinita que día a día me proporciona.*

*A: Neti, Ale, Negro, todos mis tíos queridos que me han ayudado mucho, principalmente el negro.*

*A: Eduardo Terrero Matos, que ha sido como un padre para mi por su ayuda en estos 6 años de la carrera, por sus consejos amor y dedicación.*

*Una dedicatoria muy especial a mi madre querida que con su amor, paciencia y dedicación ha sabido apoyarme en todo, a ella le concedo este título desde lo mas profundo de mi corazón.*

*Lisbet Argüelles Cobas*



## *AGRADECIMIENTOS*

*A los que saben dar sin recordarlo y recibir sin olvidarlo. Agradezco la culminación de este trabajo y los resultados obtenidos en él.*

*A Dios por no desampararme nunca y mantener mi fe y espíritu en el logro de esta meta.*

*Ever Góngora Leyva, mi tutor por su orientación y apoyo incondicional, por sus consejos y confianza depositada en mi a lo largo de esta trayectoria y por su capacidad profesional y muestras de afecto.*

*A mis padres por toda la confianza que han depositado en mi, por el amor que nunca me ha faltado para que pueda realizar mis sueños.*

*A mi hija por existir y ser mi mayor felicidad.*

*A mi esposo por muchas mas cosas que las palabras puedan expresar.*

*A Eduardo que me ha apoyado incondicionalmente.*

*A Anarita y Alejandro mis suegros queridos.*



## **PENSAMIENTOS**

*“Vivid en la serena paz de los laboratorios y las bibliotecas. Preguntaos ante todo: ¿qué he hecho para saber más? y cuando hayáis adelantado en vuestro camino, interrogaos nuevamente: ¿qué he hecho por mi patria? hasta el día que podáis sentir la dicha infinita de pensar que habéis contribuido en algo al progreso y al bien de la humanidad”.*

*Louis Pasteur.  
Reflexiones de un destacado líder religioso*

*“ ... Mirad, en la vida no hay soluciones, sino fuerzas en marcha. Es preciso crearlas, y las soluciones vienen...”*

*Antoine de Saint - Exupéry*

*“Creo en el milagro de lo que puede hacer el trabajo, de lo que puede hacer la ciencia y de lo que pueden hacer los hombres”.*

*Fidel Castro Ruz*

| <b>ÍNDICE</b>                                                                                                          | <b>Pág</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Introducción</b>                                                                                                    | <b>1</b>   |
| <b>Capítulo I. Marco teórico- metodológico de la investigación</b>                                                     |            |
| 1.1 Introducción                                                                                                       | 9          |
| 1.2 Estado del arte sobre la climatización                                                                             | 9          |
| 1.3 Estimación de las cargas térmicas de los locales                                                                   | 12         |
| 1.4 Consideraciones de diseño                                                                                          | 16         |
| 1.5 Consideraciones adicionales.                                                                                       | 17         |
| 1.6 Métodos de cálculos                                                                                                | 18         |
| 1.7 Conclusiones del Capítulo I                                                                                        | 18         |
| <b>Capítulo II. Materiales y métodos</b>                                                                               |            |
| 2.1 Introducción                                                                                                       | 19         |
| 2.2 Métodos para el diagnóstico energético en procesos industriales.                                                   |            |
| 2.2.1 Principales errores que se cometen durante la planificación y ejecución de la solución de un problema energético | 21         |
| 2.2.2 Herramientas de trabajo                                                                                          | 24         |
| 2.3 Desarrollo del método                                                                                              | 28         |
| 2.3.1 Condiciones de evaluación                                                                                        | 29         |
| 2.3.2 Condiciones exteriores de diseño                                                                                 | 29         |
| 2.3.3 Momento del día con carga pico de enfriamiento                                                                   | 30         |
| 2.3.4 Ganancia de calor por radiación solar a través de vidrios                                                        | 31         |
| 2.3.5 Ganancia de calor a través de componentes estructurales                                                          | 32         |
| 2.3.6 Concentración de personas como base de diseño                                                                    | 33         |
| 2.3.7 Ganancias de calor originadas por equipos instalados                                                             | 34         |
| 2.3.8 Ganancia de calor por infiltración y ventilación                                                                 | 35         |
| 2.3.9 Formas de controlar los niveles de contaminación en los locales                                                  | 40         |
| 2.3.10 Mecanismo de funcionamiento.                                                                                    | 41         |
| 2.4 Ciclo básico de aire acondicionado                                                                                 | 42         |
| 2.5- Conclusiones del Capítulo II                                                                                      | 45         |
| <b>Capítulo III. Análisis de los resultados</b>                                                                        |            |
| 3.1 Introducción                                                                                                       | 46         |
| 3.2 Caracterización energética de la Empresa                                                                           | 46         |
| 3.3 Calculo de la carga térmica                                                                                        | 49         |
| 3.3.1 Ganancia de calor por radiación solar a través de vidrios                                                        | 50         |
| 3.3.2 Transmisión de calor y vapor por estructuras.                                                                    | 51         |
| 3.3.3 Infiltraciones.                                                                                                  | 53         |
| 3.3.4 Ventilación exterior.                                                                                            | 54         |
| 3.3.5 Ocupantes                                                                                                        | 54         |
| 3.3.6 Iluminación y equipos o motores eléctricos.                                                                      | 54         |
| 3.4 Valoración económica                                                                                               | 58         |
| 3.4.1 Selección de los equipos                                                                                         | 58         |
| 3.4.2 Análisis económico.                                                                                              | 58         |
| 3.5 Estudio de la contaminación ambiental.                                                                             | 59         |
| 3.6 Conclusiones del Capítulo III.                                                                                     | 61         |
| <b>Conclusiones</b>                                                                                                    | <b>62</b>  |
| <b>Recomendaciones</b>                                                                                                 | <b>63</b>  |
| <b>Bibliografía</b>                                                                                                    | <b>64</b>  |
| <b>Anexos</b>                                                                                                          | <b>66</b>  |



## **INTRODUCCIÓN**

Desde hace varios años se viene trabajando en el país en la introducción de nuevas técnicas en la rama de la refrigeración y climatización con el objetivo de lograr ahorro de combustible, disminuir los consumos de energía eléctrica, sustituir importaciones e introducir mejoras en la calidad de los diferentes sistemas que componen una instalación.

La necesidad de hacer frente al déficit energético originado por el incesante aumento del consumo de energía debe ser ampliamente difundido porque es indispensable crear una conciencia colectiva sobre su uso racional. Desde este punto de vista, este artículo pretende fijar los criterios básicos de eficiencia energética en el diseño de los sistemas de aire acondicionado que generalmente constituyen el principal consumidor de energía en los edificios.

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 aislaciones 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 es 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 manutención, 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 distintas técnicas, 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 mas 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 de las necesidades de energía
- Utilización de energías gratuitas
- Incremento de la eficiencia energética
- Correcta regulación del sistema

#### DISMINUCIÓN DE 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 primer 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 aventanamientos para reducir ganancias de calor e infiltraciones, ya que ello implica equipos de aire acondicionado y calefacción 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.

Entre las muchas formas de lograr ahorro energético en instalaciones de aire acondicionado se puede mencionar como la más simple su propio aislamiento térmico y la disminución o aumento de la temperatura de diseño o set-point de los locales según sea invierno o verano respectivamente, que puede suponer un ahorro anual, siempre que ello no implique una reducción substancial de las condiciones de confort.

Al diseñar una instalación térmica, lo primero que hay que conocer, es la función principal del acondicionamiento de aire, la cual es mantener dentro de un espacio determinado ciertas condiciones necesarias para la conservación de un producto, para la realización de un proceso de fabricación bajo condiciones específicas y para las condiciones de confort humano.

Entonces, se establece como misión del aire acondicionado, proporcionar durante todo el año, el confort y la calidad del aire en el interior de un local para la vida de las personas o el mejoramiento de los diferentes procesos industriales.

Para conseguir que el aire de un ambiente esté acondicionado, se dispone de múltiples opciones que permiten responder a esta exigencia básica.

El escoger la mejor opción para cada instalación depende de múltiples factores y criterios relacionados entre sí, que el proyectista debe saber conjugar para satisfacer los objetivos expuestos, explícitos e implícitos.



Cuba está situada en el hemisferio Norte, dentro y próxima al límite del trópico de cáncer con una temperatura media anual de 24°C y una humedad relativa que oscila entre los valores de 60% y 70%. Se encuentra casi continuamente bajo la acción del anticiclón Norte, dentro del régimen de sus vientos alisios y de las calmas tropicales. Está situada muy próximo a la trayectoria de máxima frecuencia e intensidad de los huracanes en su recurva por los senos del mar Caribe.

Todos estos factores climáticos le dan a Cuba características generales para el desarrollo de la actividad humana muy superiores a la de otros climas, situados en igual latitud, lo cual se explica fundamentalmente por:

- El efecto de los vientos alisios del noreste que soplan todo el año, pues estos constituyen la causa principal de los cambios del tiempo distribuyendo la temperatura y aumentando la evapotranspiración.
- Los ciclones tropicales y el efecto anticiclón del Atlántico Norte.
- El efecto de las montañas principales en Cuba, que actúan como barreras al paso de los vientos y provocan que las precipitaciones se descarguen en la vertiente norte, mientras que al sur se ha creado una vegetación de desierto.

Es así como surge la necesidad primordial de estudiar las propiedades termodinámicas del aire húmedo y del efecto de la humedad sobre los materiales y el confort humano, los cuales incluyen el control de las propiedades térmicas del mismo.

Otro aspecto a destacar en el clima de zona es el alto nivel de contaminación ambiental, a causa de la gran cantidad de gases y polvos que se vierten al medio como resultado del proceso de extracción y fabricación de Níquel en las plantas niquelíferas del territorio. En ocasiones se observa como llegan los desechos del proceso de producción en forma de polvo y arrastrado por el viento hasta la zona residencial del municipio, causando molestias en la población y deterioro de los equipos electrodomésticos y de otro tipo.



La Empresa de Servicios a la Unión del Níquel “Cmdte. Camilo Cienfuegos Gorriarán”, tiene dentro de sus funciones garantizar el servicio de hotelería a las empresas del ramo, por lo que acoge en su seno a la gran mayoría de los hombres de negocio que llegan a este territorio en busca de nuevos contratos, también acoge en sus instalaciones a trabajadores y especialistas extranjeros que vienen a prestar servicios en las diferentes empresas de la zona.

Por los motivos antes expuestos y por las características del clima, se considera que es de vital importancia ofrecer un servicio de climatización con calidad a los visitantes para que se sientan satisfechos durante su estancia en las instalaciones de la Empresa de Servicios a la Unión del Níquel.

En la ESUNI se prestan una gran variedad de servicios a la UNI. Esta empresa se encuentra enfrascada dentro del perfeccionamiento empresarial y en sus prioridades está garantizar la Eficiencia Energética y la disminución de los costos de producción.

De investigaciones y trabajos realizados en años anteriores se ha comprobado que existe un elevado consumo de energía, manifestándose en los portadores energéticos de la empresa, como el Combustible, Electricidad y Agua por solo mencionar algunos.

En la actualidad se han detectado que debido a la escasez de recursos materiales, presupuestos para gastos de reparación y mantenimiento, se han presentado dificultades a la hora de hacer una correcta selección e instalación de los equipos de clima, la empresa no cuenta con el personal que controle la instalación de esos equipos y solo la empresa suministradora es quien lleva a cabo esa tarea desde su selección, montaje y mantenimiento desde su instalación, puesta en marcha y explotación, durante el periodo de garantía. Trayendo todo esto aparejado que los equipos estén por debajo o por encima de la carga térmica requerida en los locales, la mala posición y exposición de los mismos al medio, la no evaluación de los sistemas más ventajosos en cuanto al tipo y características de los equipos y el déficit de piezas de repuestos traen consigo elevados costos por concepto de mantenimiento y que no se garanticen los parámetros climatológicos en la instalación ni las condiciones de confort.



Todas estas problemáticas imponen la necesidad de realizar una evaluación del consumo energético por concepto de climatización en las instalaciones hoteleras de la ESUNI aspecto que ha dado origen al presente trabajo.

A partir de los elementos antes mencionados se declara como **problema**:

***La incorrecta climatización de los locales climatizados en la ESUNI, impiden el eficiente desarrollo de la empresa y no garantizan un racional aprovechamiento de los recursos energéticos del país.***

Como **objeto de estudio de la investigación** se plantea:

**Los locales de Villa Coral.**

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **hipótesis**:

***Con la estimación de la carga térmica en las instalaciones hoteleras de la ESUNI se pueden seleccionar los equipos de acondicionamiento de aire que garanticen el confort en las habitaciones con un racional aprovechamiento de los recursos energéticos.***

En correspondencia con la hipótesis planteada, se define como **objetivo del trabajo**:

***Realizar la evaluación del consumo energético por concepto de climatización que permita la selección de los equipos de acondicionamiento de aire mediante la estimación de la carga térmica en los locales analizados.***

Para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto, se plantean las siguientes **tareas de trabajo**:

1. Realizar un análisis bibliográfico que permita el establecimiento del estado del arte sobre la temática tratada.
2. Describir los locales teniendo en cuenta las especificaciones técnicas para la climatización.
3. Establecer el procedimiento de cálculo adecuado para la estimación de la carga térmica en los locales estudiados.



4. Estimar la carga térmica total sobre la batería de enfriamiento en cada local analizado.
5. Comparar los consumos energéticos por concepto de climatización real y estimada en los locales de la empresa.
6. Seleccionar los equipos a instalar en los locales que garanticen un consumo racional de energía eléctrica.
7. Valorar económicamente la propuesta efectuada considerando el impacto ambiental asociado a la misma.



## **CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1- Introducción**

En las instalaciones de climatización o acondicionamiento de aire es de gran importancia evaluar el comportamiento del mismo, ya que la función de estas instalaciones es el control de los parámetros de dicho aire en el ambiente de los locales, lo que tiene una repercusión considerable en el consumo energético de las mismas, en tal sentido el **objetivo** del capítulo es:

Establecer los aspectos teóricos sobre la climatización que permitan su evaluación energética.

### **1.2 Estado del arte sobre la climatización**

Para el desarrollo de la investigación fue de obligatoria necesidad la revisión de los trabajos y estudios relacionados con el tema de evaluación de sistemas de climatización y estimación de la carga térmica. La exploración bibliográfica estuvo dirigida a la información relacionada con la parte teórica y metodológica de la temática tratada.

Polaino et al. (1987), Es un libro de texto de consulta obligatoria para la temática relacionada con la teoría en general de los sistemas de climatización. Aunque existen otros libros que abordan la temática en éste se recoge de forma clara y amena todo lo necesario para llevar a cabo un proyecto de climatización con la calidad requerida.

García (1998) Realiza el estudio de la carga térmica sobre la batería de enfriamiento, para ello emplea el procedimiento de cálculo para los ciclos con enfriamiento y deshumectación. En el trabajo el autor realiza además el dimensionamiento de los conductos y determina la pérdida de presión en los mismos. De manera significativa expone la selección del equipamiento con las ventajas y desventajas asociadas a los mismos. Otro aporte importante de la investigación es que sintetiza el impacto ambiental asociado a instalaciones de climatización.

Torres (1999) establece los aspectos teóricos fundamentales sobre la climatización y desarrolla su estudio con el objetivo de estimar la carga térmica en los locales del Centro de Proyecto. El método empleado por el autor consiste en determinar las



ganancias sensibles y latentes presente en los locales objeto de estudio y posteriormente evalúa el ciclo de evolución del aire con enfriamiento y deshumectación. Luego realiza la selección del equipamiento necesario para los locales basado en criterios técnicos y económicos para lo cual consultó las ofertas de precios de dos firmas especializadas con lo cual establece la variante racional para la climatización, las recomendaciones expuestas por el autor se basan en criterios técnicos y contribuyen al ahorro en el consumo de potencia de los equipos instalados.

Soriano (2002) dedica su trabajo al cálculo de la carga térmica del local de Servidores de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba y determina en función de la misma la capacidad de refrigeración necesaria para mantener las condiciones propicias dentro del mismo, tanto desde el punto de vista del confort humano, como para evitar la corrosión. Además selecciona y diseña el sistema de conductos que garantiza una correcta distribución del aire dentro del local, una máxima eficiencia económica y una operación tranquila y sin ruidos. Propone el equipamiento y los dispositivos de refrigeración a instalar, así como el refrigerante a utilizar.

Al cálculo verificativo de la carga térmica de climatización del Centro Comercial de Moa dedica su trabajo Durán (2004). En el mismo se evalúa la carga térmica real que se requiere vencer en los locales para lograr las condiciones de confort adecuadas.

Por su parte Valdespino (2004) en su trabajo determina las cargas térmicas y el balance energético de los locales del Sistema de Viviendas en Moa, el cual permite una adecuada selección del equipamiento para la climatización a partir del método de cálculo empleado.

Ruiz (2004) aborda en su estudio las particularidades técnicas que permiten estimar las cargas sobre la batería de enfriamiento en diferentes locales (Politrauma, Laboratorio de Urgencia, Cuerpo de Guardia, Consulta de Cirugía, entre otros) para ello calcula las ganancias sensibles y latentes en cada uno de ellos. De acuerdo con los cálculos realizados por el autor en la instalación existe una capacidad instalada igual a 697 kW y la estimada es de 617.84 kW lo que demuestra que las principales



deficiencias existentes en el confort se deben a la mala distribución del aire, debido a que la capacidad instalada es suficiente para satisfacer las demandas. El autor expone además las características del sistema central de climatización y realiza el cálculo de las ganancias de calor en el conducto de distribución.

A la evaluación de los sistemas de climatización de dos oficinas del Grupo Empresarial de la Construcción de la ciudad de Santi Spíritus se dedica Cabrera et al. (2005), el autor realiza un acomodo de carga térmica y recomienda un reordenamiento de las capacidades de climatización instaladas, con el objetivo de disminuir los consumos eléctricos y adecuar las capacidades instaladas.

Hernández (2005), Realiza el estudio de la climatización de la dirección municipal del trabajo social y educacional del municipio Moa. Hace una caracterización de los equipos instalados, determinando la potencia de los mismos, compara la carga térmica instalada con la de cálculo, haciendo una nueva propuesta para la instalación de nuevos equipos que garanticen el confort en la instalación estudiada.

Abella (2005), Realiza el estudio de la climatización de las instalaciones hoteleras de Villa Coral y Villa Vigía pertenecientes a la empresa de servicio de la Unión del Níquel. Determinó las cargas térmicas de estas instalaciones, pero solo se limitó a hacer una propuesta de sustitución de los equipos que no satisficieran la carga térmica estimada en su investigación.

Lamoth (2005), Realiza un análisis de las condiciones de diseño a las cuales está expuesto el edificio del Centro de Proyecto de la Unión del Níquel, el cálculo verificativo de todos los locales que abarca los cuatro pisos de la edificación, teniendo en cuenta todos los principios de climatización.

Mariño (2005), Realizó el estudio de la climatización del cine de Moa, calculó las diferentes ganancias térmicas que existen en el mismo. Hace una propuesta de los equipos que pueden ser utilizados, para lograr un mayor confort y una estancia agradable de los clientes en la instalación, con la mayor eficiencia posible.

Méndez (2006), evalúa la carga térmica real que se debe vencer en la Sala de video del Instituto Superior Minero Metalúrgico para lograr las condiciones de confort adecuadas.



Pérez (2006), Realizó un estudio sobre la situación de los locales climatizados del Edificio Administrativo de la ECRIN con el objetivo de evaluar el consumo energético por concepto de climatización. En los resultados obtenidos mostró la existencia de equipos sub-utilizados y sobredimensionados. Determinó los costos por concepto de compra y el consumo de energía en la climatización.

Tamayo (2007), desarrolló un estudio en instalaciones hoteleras de la Empresa de Servicio a la Unión del Níquel “Camilo Cienfuegos Gorriaran”, confirmando que el 43% de los equipos están sobredimensionados en alguna medida, el otro 57% se considera correctamente instalado. Los gastos por concepto de consumo de energía eléctrica en la climatización de los locales estudiados es de 126472,5 CUC/año.

Maresma (2007), hizo un estudio de la climatización de las Instalaciones Hoteleras de la ESUNI (Hotel Caribe, Villa Blanca, La Llanira), determinó las condiciones de diseño exterior y las condiciones de diseño para el interior de los locales, he hizo una propuesta de los diferentes equipos que pueden adquirirse para lograr un mayor confort y una estancia agradable los clientes de la instalación.

Los trabajos consultados muestran la aplicación del método de cálculo para la estimación de la carga térmica, pero el análisis mostrado por los diferentes autores se limita a la selección del equipamiento, solo Pérez (2006), Tamayo (2007) y Maresma (2007), hacen comparaciones acertadas para determinar el estado técnico de los equipos instalados y su impacto sobre los consumos energéticos, aspectos similares a estos serán abordados en esta investigación pero partiendo de un diagnóstico energético y se tendrá en cuenta el mantenimiento aplicado a estos equipos.

### **1.3 ESTIMACIÓN DE LAS CARGAS TERMICAS DE LOS LOCALES**

Para la estimación real de las cargas térmicas se realizó un estudio riguroso y detallado de los elementos que aportan carga térmica en el espacio a acondicionar, sin subestimar su importancia con la ventaja principal de lograrse un sistema económico de funcionamiento uniforme y excepto de averías. Ésta sirve de base para seleccionar el equipo de acondicionamiento de aire, se tuvo en cuenta el calor



procedente del exterior en un día de proyecto. En Cuba las condiciones promedio son  $t_{bs} = 32^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa de 60 a 70%. Polaino (1987)

***La composición de la magnitud de la carga térmica está dada en:***

***Calor Sensible y Latente***

- Cuando se aplica calor a una sustancia y ésta responde aumentando la temperatura se está aplicando calor sensible.
- Cuando se aplica calor a una sustancia y esta no aumenta la temperatura pero si cambia de estado se está aplicando calor latente.
- Para cambiar el estado de un fluido evaporándolo se necesita suministrarle, este calor se llama calor latente de evaporación.

La carga térmica, es la cantidad de energía que se requiere vencer en un área para mantener determinadas condiciones de temperatura y humedad para una aplicación específica (confort humano). Es la cantidad de calor que se retira de un espacio definido, se expresa en kW , kcal/h , BTU/h o TR .

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

Para estimar la carga de enfriamiento requerida con la mayor exactitud posible en espacios y edificios, se evaluaron las siguientes condiciones:

Datos atmosféricos del sitio.

1. La característica de la edificación, dimensiones físicas.
2. La orientación del edificio y de las paredes del espacio a acondicionar.
3. El momento del día en que la carga llega a su pico.
4. Espesor y características de los aislamientos.
5. La cantidad de sombra en los vidrios.
6. Concentración de personas en el local.



7. Las fuentes de calor internas.

8. La cantidad de ventilación requerida.

Existen diferentes métodos para calcular la carga de enfriamiento en un área determinada, en cualquier caso es necesario evaluar diversas características como las condiciones del lugar (condiciones atmosféricas), tipo de construcción y aplicación del espacio a acondicionar.

Las variables que afectan el cálculo de carga térmica son numerosas, frecuentemente difíciles para definir en forma precisa y no siempre están en cada momento mutuamente relacionadas.

Muchas variables de cargas de enfriamiento cambian extensamente en magnitud durante un período de 24 horas. Los cambios de estas variables pueden producirse en momentos diferentes unos de otros, por ello se analizó detalladamente para establecer la carga de enfriamiento necesaria para una instalación o dividirse ésta en zonas.

La necesidad de dividir un sistema en zonas, origina mayor capacidad de carga de enfriamiento que un sistema total; pero permite manejar la carga para cada zona en su hora pico.

En el cálculo de carga de enfriamiento se determina el uso de valores adecuados para aplicarlos en un procedimiento determinado.

La variación en los coeficientes de transmisión de calor de los materiales y montajes compuestos en edificio típicos, la forma de construcción, orientación del edificio y la manera en el cual el edificio opera son algunas de las variables que imposibilitan un cálculo numéricamente preciso.

### ***Carga del serpentín***

La ganancia de Calor Espacial (tasa instantánea de aumento de calor) es la tasa a la cual el calor entra y es generado internamente en un espacio en un momento determinado. Esta es clasificada por:

- El modo en el cual entra en el espacio.



- Si es una ganancia sensible o latente.



**Los modos de ganancia de calor pueden ser por:**

- Radiación solar a través de fuentes transparentes.
  - Conducción de calor a través de paredes exteriores y techos.
  - Conducción de calor a través de divisiones internas, techos y pisos.
  - Calor generado en el espacio por los ocupantes, luces y aplicaciones.
  - Energía transferida como resultado de ventilación e infiltración de aire del exterior.
- Aumentos de calor misceláneos.

La ganancia de calor es directamente agregada a espacios acondicionados por conducción, convección, radiación y eventualmente el factor de acumulación.

#### **1.4 CONSIDERACIONES DE DISEÑO**

Para calcular la carga de enfriamiento de un espacio, se requiere información de diseño detallada de la edificación e información climática de las condiciones de diseño seleccionadas. Se tuvieron en cuenta los siguientes pasos:

➤ **Características de la edificación**

Se verificaron las características de la edificación, materiales de construcción, tamaño de los componentes, colores externos de fuentes y formas las cuales son normalmente determinados a partir de los planos de la edificación y especificaciones. Ver anexo 2.

➤ **Configuración**

Se determinó la ubicación, orientación y sombra externa de la edificación a partir de los planos y especificaciones. La sombra de edificaciones adyacentes pueden ser determinadas por un plano del sitio o visitando el sitio propuesto. Su permanencia probable debe ser cuidadosamente evaluada de ser incluida en los cálculos. Ver anexo 2.



➤ **Condiciones Exteriores de Diseño**

Se verificaron las condiciones climáticas apropiadas y seleccionando las condiciones de diseño exterior. La condición climática puede ser obtenida de la estación meteorológica local o del centro climático nacional.

➤ **Condiciones de Diseño Interior**

Se seleccionaron las condiciones de diseño interior tales como temperatura de bulbo seco interior, temperatura interior de bulbo húmedo y tasa de ventilación, incluyendo variaciones permisibles y límites de control.

➤ **Rutina de Operación:**

Se determinó la cantidad de iluminación, ocupantes, equipos internos, aplicaciones y procesos que contribuyan a incrementar la carga térmica interna. Se determinó la probabilidad de que el equipo de refrigeración sea operado continuamente o apagado durante períodos de no ocupación (Ej. Noches o fines de semana).

➤ **Fecha y Tiempo**

Se eligió el tiempo del día y el mes para realizar los cálculos de la carga de enfriamiento. Frecuentemente son requeridos varias horas del día y varios meses.

### **1.5 CONSIDERACIONES ADICIONALES**

El diseño apropiado y el tamaño de los sistemas de aire acondicionado central requieren más que el cálculo de la carga de enfriamiento en el espacio a ser acondicionado.

El tipo de sistema de acondicionamiento de aire, energía de ventilación, ubicación del ventilador, pérdida de calor de los ductos y ganancia, filtración de los ductos, sistemas de iluminación por extracción de calor y tipo de sistema de retorno de aire, afectan la carga del sistema y el tamaño de los componentes.



## **1.6 MÉTODOS DE CÁLCULOS**

### **Método de Función de Transferencia**

Este método tiene como fundamento el estimar las cargas de enfriamiento hora por hora, predecir las condiciones del espacio para varios sistemas, establecer programas de control y programas de operación. El mismo es aplicado para el cálculo de flujo unidimensional de transferencia de calor en paredes y techos soleados. Los resultados debido a las variaciones de construcción se consideran insignificantes si se toma en cuenta la carga de los componentes normalmente dominantes.

### **Método de Cálculo de Cargas por Temperatura Diferencial y Factores de Carga de Enfriamiento**

Es el método que debe ser aplicado al considerarse como la primera alternativa de procedimiento de cálculo manual. El método es simplificado, por utilizar un factor "K" para calcular la carga de enfriamiento para techos y paredes, presentando resultados equivalentes. Así, la ecuación básica para carga de enfriamiento en superficies exteriores es:  $q = K \cdot A (\Delta T)$ . Este método se basa en la suposición de que el flujo de calor a través de un techo o pared puede ser obtenido por multiplicar la temperatura diferencial (exterior - interior) por los valores tabulados "K" de techos y paredes, respectivamente.

## **1.7 Conclusiones del Capítulo I**

- El análisis bibliográfico demostró la existencia de varios trabajos dedicados a la evaluación de la carga térmica en instalaciones de climatizadas y por climatizar, pero en ninguno de los casos se realiza un análisis integral de las mismas. En sentido general el estudio de los locales se realiza de forma aislada y no se tienen en cuenta todos los factores contenidos en la evaluación térmica para la climatización.
- Solo en el caso de Pérez (2005) se enfoca el estudio de la climatización sobre la base del diagnóstico energético.



## **CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Introducción**

La utilización eficiente de la energía requiere de métodos racionales que enfoquen la solución de los sobreconsumos y excesos de pérdidas en la explotación de las instalaciones desde el punto de vista técnico-económico y ambiental. Por otra parte las diferentes soluciones y medidas a implantar han de estar basadas en un análisis integral que se corresponda con las características específicas del consumidor.

Hoy en día la búsqueda del ahorro de energía se centra fundamentalmente en la mejora de aislamiento, técnicas de recuperación de energía residuales, empleo de energías alternativa y otras técnicas que permiten mejorar la eficiencia de los equipos instalados. Sin embargo no se debe olvidar que, desde el comienzo de la era industrial, los ahorros de energía más espectaculares se han conseguido por modificación de los procesos.

En este capítulo se plantea como **objetivo**: establecer los criterios para la evaluación de los principales portadores energéticos y los procedimientos de cálculos para la estimación de la carga térmica en los locales seleccionados.

### **2.2 Métodos para el diagnóstico energético en procesos industriales**

El progresivo encarecimiento de los productos y servicios energéticos ha convertido la gestión de los mismos en una preocupación prioritaria de los responsables técnicos y económicos de los procesos industriales. La energía considerada como factor de producción, ha adquirido con ello un protagonismo decisivo que pretende mantener un nivel elevado de eficiencia y de competitividad en las industrias.

Un eficiente uso de la energía no beneficia solamente a las empresas, tiene además, una proyección social y macroeconómica evidente porque ayuda a hacer mas operativa la estrategia global del país frente a la crisis energética.

La conversión y conservación energética se inscribe en el marco del análisis detallado de los métodos que permiten un uso más eficiente de la energía en los procesos básicos de la industria, así como la aplicación práctica de tales métodos



para aumentar o perfeccionar el rendimiento energético de los procesos, mediante cambios sencillos a introducir en los mismos.

El diagnóstico y la evaluación tecnológica de una gran parte de los procesos en la industria, han reflejado que para lograr la competitividad, es necesaria la introducción de nuevas tecnologías asociadas a las técnicas modernas de modelación y simulación que permitan una mayor eficiencia tecnológica y reducir costos mediante el uso eficiente de los portadores energéticos.

Para la aplicación de las técnicas de conservación energética en procesos es necesario conocimientos mínimos sobre los fundamentos térmicos, transmisión de calor, transporte de fluidos, combustión, generación de vapor, hornos, intercambiadores de calor, secado, motores eléctricos, aislamientos y refractarios, frío industrial, turbinas e instrumentación y control.

Todo programa de ahorro de energía tiene como punto de partida el conocimiento de los consumos y el estado energético de los equipos consumidores de energía. Así pues como base para su elaboración, es necesario disponer de un sistema de diagnóstico de la situación energética de los procesos, operaciones básicas y equipos.

La eficiencia energética es la optimización de los recursos energéticos para alcanzar los objetivos económicos de la empresa. Se mide a través de indicadores de eficiencia energética.

- ✓ Indicadores que se usan para medir el desempeño de la Eficiencia Energética
- ✓ Indicadores energéticos a nivel de empresa
- ✓ Índice de Consumo

El consumo equivalente de energía asociada a los productos o servicios realizados por la empresa se expresa en toneladas de petróleo equivalentes. Las toneladas equivalentes de petróleo se determinan mediante factores de conversión que relacionan el valor calórico real del portador energético con el valor calórico convencional asumido. Ver ejemplo que aparece en la tabla 2.1.



**Tabla 2.1. Factores de Conversión**

| Toneladas de: | por factor de conversión: | = Toneladas equivalentes<br>de petróleo |
|---------------|---------------------------|-----------------------------------------|
| Diesel        | 1.0534                    |                                         |
| Gasolina      | 1.0971                    |                                         |
| Fuel oil      | 0.9903                    |                                         |
| Gas licuado   | 1.163                     |                                         |
| MW            | 0.3817                    |                                         |

Estos factores pueden variar en dependencia del valor calórico real del portador energético, la actualización de los mismos puede obtenerse con los especialistas de energía del gobierno municipal o provincial. (Se pueden calcular)

### **2.2.1 Principales errores que se cometen durante la planificación y ejecución de la solución de un problema energético**

- **Se atacan los efectos y no las causas de los problemas**

Este error ocurre fundamentalmente donde hay una cultura de administración por reacción a los problemas y no se profundiza en la causa real que provocó los mismos. En este caso los proyectos, si es que se realizan, se enfocan a la solución de la causa aparente o síntomas y sus resultados son temporales e inestables.

- **Los esfuerzos son aislados, no hay mejora en todo el sistema.**

Este error es muy común aún en empresas que se preocupan por reducir sus consumos energéticos y consiste en que lejos de realizar un análisis integral de la producción, distribución y uso de la energía, concentran toda su atención en un elemento del sistema desarrollando inversiones que mejoran los indicadores de este, pero en detrimento de los indicadores generales, de otros equipos o de instalaciones. En resultado no se aprecian las mejoras esperadas. La simulación termodinámica de sistemas es una de las herramientas más útiles para evitar este error ya que permite evaluar posibles efectos antes de aplicar alguna política de mejoras.



- **No se atacan los puntos vitales.**

En los sistemas energéticos de las empresas no saltan a la vista los puntos vitales que determinan los altos consumos, su detección requiere de la aplicación de herramientas estadísticas en diferentes regímenes de trabajo y de herramientas especiales para establecer prioridades en políticas de ahorro y control de la energía. Dentro de los métodos más usados están Diagramas de Pareto, Histogramas, Estratificaciones, Análisis exergéticos, Análisis entrópicos, Balances termoeconómicos.

- **No se detectan potenciales.**

La identificación de los potenciales de incremento de la eficiencia energética caracteriza la alta gerencia energética en empresas donde se actúa en un 80 % o más por planeación y un 20 % por reacción. Un potencial consiste en aquel elemento del sistema donde los costos de pérdidas de energía que ocurren en él o por él en otras partes del sistema, superan los costos propios referidos a inversión inicial, tasa de retorno y mantenimiento. En este caso se justifica tanto energética como económicamente invertir para disminuir los costos totales. Las herramientas más utilizadas para identificar potencialidades son generalmente combinaciones de diagramas de Pareto, Estratificación, diagramas causas y efectos y análisis termoeconómico.

- **Se cree en soluciones definitivas.**

Los procesos energéticos se caracterizan por ser significativamente afectados por un número relativamente alto de variables. Lo que es eficiente en un régimen de trabajo, productivo o de servicios dados puede no serlo en otro ya que los equipos están diseñados para una capacidad dada donde su eficiencia es máxima. En instalaciones de servicio índices tales como: nivel ocupacional, época del año, procedencia del turismo (costumbres) son variables que pueden hacer variar una solución dada. Para eliminar este error es necesario establecer ciclos continuos de control que permitan adoptar medidas preventivas.



- **Creencias erróneas sobre cómo resolver los problemas.**

Estas creencias erróneas se basan en absolutizar el papel de la concientización de los empleados o su habilidad profesional en la solución de problemas de la empresa, en particular de los relacionados con altos consumos de energéticos. En realidad un alto porcentaje del éxito o fracaso en la solución de estos problemas se debe a causas objetivas (materiales, máquinas) y subjetivas relacionadas con la dirección de las empresas (métodos de trabajo, organización, diseño de productos o servicios). Establecer un camino seguro en la solución de un problema requiere la aplicación de una secuencia de mejoramiento y las herramientas de diagnóstico, evaluación y control que estudiaremos más adelante.

Es esencial la capacitación de los empleados en metodologías y herramientas y exigirles su aplicación con el apoyo de las direcciones de las empresas.

**Secuencias de mejoras.**

Disponer de una secuencia de mejoras que sea aceptable y entendida por todos aquellos responsables de entender un problema o implantar un control o una mejora, facilita la comunicación y normalizar los criterios.

Las secuencias de manera general abordan 4 etapas fundamentales: Planear, Hacer, Verificar, y Actuar.

**Planear** implica la definición de objetivos y establecimiento de los planes y procedimientos para alcanzarlos. Requiere de un diagnóstico y análisis utilizando las herramientas básicas y de avanzada, para conocer las verdaderas causas de lo que se considera desviado del comportamiento esperado o deseado.

**Hacer** significa ejecutar las acciones que, a partir del diagnóstico, consideramos resuelvan el problema, esta etapa involucra la recopilación de datos, su análisis, búsqueda de soluciones alternativas y probar soluciones.

**Verificar** consiste en comparar el objetivo y metas planteados con datos reales, con el propósito de saber si avanzamos por el camino correcto, o bien, hay que aplicar medidas correctivas.



**Actuar** involucra ajustar lo planeado en función de la verificación o introducción en la práctica de los resultados satisfactorios, en este último caso se establece un mecanismo de control de lo introducido para garantizar la normalización del nuevo procedimiento.

### **2.2.2 Herramientas de trabajo**

Las herramientas de trabajo son aquellas que permiten implementar las secuencias de mejora. Por su nivel de complejidad generalmente se clasifican en básicas, medias y avanzadas. Las básicas son aquellas que debe conocer todo miembro de un círculo o grupo de calidad y se basan en métodos estadísticos que permiten desarrollar un proceso deductivo que va de lo general a lo particular detectando las causas de los problemas. También permiten realizar una serie de observaciones de un mismo problema - como diferentes ángulos fotográficos - que crea una visión más completa del mismo. Las medias y de avanzada deben ser conocidas por los equipos y grupos de gestión de mejora ya que requieren un nivel académico y grado de especialización técnica para su comprensión, aplicación e interpretación.

La selección de las herramientas de trabajo para abordar un determinado problema de mejora puede ser determinante en el éxito de su solución, por ello hay que prestar especial cuidado en esto para no invertir tiempo y recursos en obtener resultados erróneos por mala selección o utilización de las herramientas.

#### **Herramientas básicas.**

El empleo de estas herramientas sigue el principio de Pareto, de ahí que unas pocas de ellas (herramientas básicas) permiten resolver la mayor parte de los problemas.

Las herramientas básicas fundamentalmente son las siguientes:

- Diagrama de Pareto.
- Histogramas.
- Selección ponderada.
- Diagrama causa y efecto.



- Diagrama de dispersión
- Estratificación.
- Gráficos de control.
- Hoja de verificación.

### **Diagrama de Pareto.**

El Diagrama de Pareto es una gráfica en forma de barras que clasifica en forma descendente factores que se analizan en función de su frecuencia, importancia absoluta o relativa. Adicionalmente permite observar en forma acumulada la incidencia total del factor en estudio.

Está inspirado en el principio conocido como pocos vitales y muchos útiles o Ley 80-20, que reconoce que en los procesos hay unos pocos elementos o causas realmente importantes (20%) que generan la mayor parte del efecto (80%). En otras palabras, del total de problemas que causan la baja o no deseada eficiencia energética de una empresa, sólo unos cuantos de ellos afectan de manera vital su competitividad; y del total de causas de un problema, sólo pocas de ellas son determinantes de gran parte del mismo.

Aplicando el principio de Pareto para resolver el problema del ahorro de energía, el primer paso que se debe dar es localizar prioridades, es decir, en qué energético (electricidad, gas, combustóleos, agua) se genera un mayor gasto. Esta localización se hace estratificando el consumo de energía por tipo de energético y representándolo a través del diagrama de Pareto.

### **Histograma.**

El Histograma es una representación gráfica de la distribución de uno o varios factores que se confecciona mediante la representación de las medidas u observaciones agrupadas en una escala sobre el eje vertical. Generalmente se presenta en forma de barras o rectángulos cuyas bases son dadas por los intervalos de clases y las alturas por las frecuencias de aparición de las mismas. Las marcas en la escala horizontal pueden ser los valores límites reales o valores arbitrarios



claves. Para que sea más legible, generalmente es mejor indicar los valores límites de las anotaciones aunque las bases de los rectángulos se extienden en realidad desde un valor limite real al siguiente más próximo.

El Histograma se usa para:

- Obtener una comunicación clara y efectiva de la variabilidad del sistema.
- Mostrar el resultado de un cambio del sistema.
- Identificar anomalías examinando la forma.
- Comparar la variabilidad con los límites de especificación.

### **Selección ponderada.**

Es un método que permite a un grupo determinar una escala de prioridad en una lista de elementos no cuantificados, cuya importancia relativa es mensurable solamente a través de las opiniones de distintas personas experimentadas.

Los procesos de producción de energía por lo general son procesos estacionarios en el tiempo y con parámetros de control medibles que se ajustan a un comportamiento normal, por lo que los gráficos de control son muy útiles para evaluar el comportamiento de los consumos, eficiencias, índices de consumo y otros indicadores, estableciendo policías energéticas en todas las etapas posibles del proceso.

### **Diagnóstico energético**

Para conocer la situación energética de las instalaciones, es necesario establecer, con cierta periodicidad, una teoría que permita diagnosticar el estado de los diferentes equipos. Como primer paso, cabe establecer una auditoria en profundidad, consistente en un análisis técnico de los componentes o grupos de componentes de cada proceso aislado. Se basa en los datos de operación existentes o estimados e identifica la energía consumida en un equipo, en una parte del proceso o en el proceso total.



Para su determinación se realiza un “**balance de material**” y un “**balance de energía**”. Se representan los flujos y la transformación de energía en la parte del sistema objeto del estudio. Se obtiene el consumo energético determinado de un equipo, una operación básica o un proceso. Además de emplear los propios medios de la instalación, en este nivel se requieren las consultas a personal específico, a los fabricantes de equipos y a la documentación técnica. Cuando se dispone de toda esta información organizada, se recalculan los balances de material y energía, si es necesario, y se determinan las pérdidas en cada fase del proceso. Se realiza un análisis más exhaustivo en los primeros equipos y operaciones que consumen energía de una forma más continua e intensiva.

El paso siguiente consiste en determinar el ahorro potencial de energía. Puede incluir conceptos tales como: revisión de los procesos, aprovechamiento de los calores residuales, instalación de nuevos equipos y muchos otros.

Para la realización del diagnóstico energético es necesario tener presente las leyes de la termodinámica

### **Tipos de diagnósticos energéticos**

**Diagnóstico de primer grado:** Consiste en la inspección visual del estado de conservación de las instalaciones, en el análisis de los registros de operación y mantenimiento que rutinariamente se llevan en cada instalación, así como, el análisis de información estadística de consumos y pagos por concepto de energía eléctrica y combustible. Su objetivo fundamental es detectar medidas de ahorro o de incremento de eficiencia energética cuya aplicación es inmediata y con inversiones marginales. Se desarrolla un sistema de capacitación básica al personal de operación que les permita mantener y aplicar las medidas detectadas.

**Diagnóstico de segundo grado:** Consiste en el desarrollo del balance másico y térmico en condiciones reales de operación de áreas, equipos y sistemas con el objetivo de determinar su eficiencia energética e índices de consumos. Estos valores se comparan con el análisis detallado de los registros históricos y con los valores de diseño. A partir de la comparación se establecen las desviaciones y se buscan sus causas (condiciones de operación de equipos, estado técnico, variación de



regímenes de trabajo, etc.). Finalmente se deben evaluar desde el punto de vista económico, las medidas que se recomiendan llevar a cabo; se deben establecer los indicadores de consumo y de eficiencia de control en cada área y equipo, así como presentar recomendaciones de un programa de mejoramiento continuo de estos indicadores. Se desarrolla un sistema de capacitación básica al personal de operación y dirigente que les permita mantener y aplicar las medidas detectadas.

**Diagnóstico de tercer grado:** Comienza con un diagnóstico de segundo grado. Consiste en determinar no solo el uso eficiente de la cantidad de la energía sino también de su disponibilidad total o calidad. Se desarrolla el balance másico, térmico, exergético, entrópico y termoeconómico de cada equipo y del sistema en las condiciones reales de operación; se determinan las pérdidas de calidad y cantidad de la energía, sus causas y los sobreconsumos de energía primaria (combustible o energía eléctrica) que provocan las mismas.

**Diagnóstico de cuarto grado:** En este diagnóstico se utilizan técnicas de simulación de procesos con la finalidad de estudiar no sólo las condiciones de operación nominales sino diferentes esquemas de interrelación de equipos y procesos.

Las recomendaciones derivadas de este diagnóstico se dividen en: de corto, mediano y largo plazo, algunas implican modificaciones de tipo tecnológico e inversiones importantes, como puede ser lograr el autoabastecimiento energético.

Es imprescindible la capacitación del personal a todos los niveles y la especialización de algunos en uso de los sistemas de simulación y su interpretación.

## **2.3 DESARROLLO DEL MÉTODO**

### ***Carga de diseño***

Carga impuesta en el equipo mientras mantiene las condiciones interiores de diseño y cuando las condiciones exteriores de temperatura y humedad están dentro de lo especificado.



### **Condiciones interiores de diseño**

Son la temperatura interior de bulbo seco y la humedad relativa interior, especificadas para el cálculo de una carga de diseño.

#### **2.3.1 CONDICIONES DE EVALUACIÓN**

##### **2.3.2 Condiciones exteriores de diseño**

Son la temperatura exterior de bulbo seco y la humedad relativa exterior del ambiente donde se requiere calcular la carga de diseño.

Los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, deben contrarrestar las fuerzas del tiempo cuando la temperatura al aire libre (temperatura del ambiente exterior) o humedad se mueven en un rango aceptable en favor de la seguridad y comodidad (confort). Por consiguiente, un entendimiento claro del comportamiento del tiempo es útil para diseñadores y operadores de estos sistemas. Limitaciones en esa comprensión son a menudo la raíz de problemas, que envuelve calidad del aire interior pobre y deterioro prematuro de la edificación y del equipo.

Uno de los desafíos más grandes para un diseñador consiste en la total comprensión del clima en una localidad desconocida, el conocimiento acerca del comportamiento del clima local está menos disponible para el diseñador en localidades remotas, a veces con consecuencias costosas. Como información general, este dato puede tomarse de observatorios climatológicos locales que contengan esta información como base de datos a lo largo de los años.

### **Extremos de Humedad Correctos**

Algo sorprendente (quizá a causa del énfasis en controlar temperatura en lugar de humedad). La temperatura pico de bulbo seco es 34.4°C con un promedio de temperatura de bulbo húmedo de 23.9°C .

Esos valores pico de bulbo seco producen la impresión que la relación de la humedad extrema es 14.3 g/kg . De hecho, la humedad del pico real es muy superior a 19.3 g/kg , por tener un 0.4% en las columnas del punto de rocío. Estas columnas también muestran que la humedad pico ocurre a un promedio de temperatura de bulbo seco de 28.3°C en lugar de a 35°C . Esto representa una reducción significativa



en la relación del calor sensible para un espiral refrescante del aire externo y probablemente sugiere una selección del equipo diferente para tales aplicaciones. [4]

Contar con datos correctos de la humedad pico debe significar mejoras en los equipos y sistemas para la deshumidificación.

### **2.3.3 Momento del día con carga pico de enfriamiento**

Este momento no se detecta fácilmente, ya que los componentes principales de la carga de enfriamiento no se dan al mismo tiempo. La carga máxima de temperatura exterior se toma como las 3:00 p.m., la máxima ganancia solar a través de vidrios llega a cualquier hora desde la 7:00 a.m. hasta las 5:00 p.m., dependiendo de la orientación geográfica. Las ganancias de calor internas pueden llegar a su pico en cualquier momento. Se hace necesario entonces efectuar un cálculo de las ganancias de calor en varios puntos a lo largo del día para poder determinar el pico máximo de la carga de enfriamiento.

Debido a la variedad de factores que influyen en el cálculo de la carga pico, es recomendable que en los casos en que haya alguna duda; se calcula la carga para varias horas.

Un aspecto importante del cálculo de cargas de enfriamiento a horas diferentes de las 3:00 p.m. y que algunas veces es obviado, es la corrección que debe hacerse a la temperatura exterior de diseño de bulbo seco para cada momento del día en particular. Obviamente si la máxima temperatura exterior de bulbo seco se presenta todos los días a las 3:00 p.m., en cualquier otro momento debe ser menor. Por consiguiente, la temperatura interior y la exterior de bulbo seco a otras horas distintas de las 3:00 p.m. será menor que en las condiciones de diseño que se presentan a las 3:00 p.m.

Las correcciones no solamente afectan la diferencia de temperatura de exterior a interior, sino también las diferencias totales equivalentes en las temperaturas de paredes y techos.



### **2.3.4 Ganancia de calor por radiación solar a través de vidrios**

La cantidad de calor entra a un local a través de superficies acristaladas por radiación se determina por la ecuación 2.1.

$Q_{RS}$ : Ganancia térmica sensible ( $W$ ).

$$Q_{RS} = I_T \cdot A \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \quad (2.1)$$

—  $I_T$ : Valor de la intensidad de la radiación solar total ( $W/m^2$ ).

—  $A$  : Área soleada de la ventana ( $m^2$ ).

—  $f_{\#}$  : Factores de corrección.

Fenestraje o ventanaje se refiere a cualquier abertura vidriada en la envoltura de la edificación. Los componentes del fenestraje incluyen:

- Material vidriado ya sea vidrio o plástico.
- Marcos, divisiones, etc.
- Dispositivos externos de sombreado.
- Dispositivos internos de sombreado.
- Sistemas integrales de sombreado (entre vidrios).

El diseñador debe considerar los siguientes factores a la hora de seleccionar ventanas:

**Arquitectónicas:** Identificando las opciones de diseño y su capacidad de lograr conservación de energía, incluyendo el posible uso de iluminación eléctrica y luz del día con controles para reducir la luz eléctrica automáticamente cuando la luz del día esté disponible.

**Térmico:** Diseñando para pérdidas de calor y ganancia para el confort de los ocupantes y conservación de la energía.



**Económico:** Evaluando los costos y ciclos de vida de los diseños de ventanas alternativas.

La necesidad humana ha determinado el deseo psicológico o la necesidad física para ventanas y los estándares de iluminación apropiada para el proyecto de uso del espacio, para el confort de los ocupantes y aceptación.

### **Sombreado de ventanas con aleros.**

Cuando una ventana está sombreada con un alero, la porción del vidrio que no recibe el sol está sujeta a la mínima ganancia de calor solar que recibe una ventana.

### **2.3.5 Ganancia de calor a través de componentes estructurales**

La conducción es el modo de transferencia de calor por el cual se verifica un intercambio de energía desde una región de alta temperatura hacia otra de baja temperatura, debido al impacto cinético o directo de moléculas.

La ley de Fourier de la conducción de calor establece que la rapidez de flujo por conducción en un sentido dado es proporcional al gradiente de temperatura en ese sentido y al área normal a la dirección del flujo de calor, ecuación 2.2.

$Q_a$  : Flujo de calor ( $kW$ ). (2.2)

$$Q_a = k \cdot A \cdot (t_e - t_l)$$

—  $K$  : Coeficiente global de transferencia de calor  $\left[ \frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)} \right]$ .

—  $A$  : Área ( $m^2$ ).

—  $t_e$  : Temperatura del aire exterior ( $^\circ C$ ).

—  $t_l$  : Temperatura del aire en el interior del local ( $^\circ C$ ).

Para el cálculo son utilizadas las tablas que contienen los *Factores de transmisión de calor* (valores  $K$ ) para vidrios, paredes, techos y pisos comúnmente utilizados en construcción. Polaino (1987).



### Diferencias equivalentes de temperaturas

Es muy importante tener en cuenta las diferencias de temperaturas equivalentes, que se aplican a paredes y techos; efectos de la radiación solar, efecto de retardo o efecto de almacenamiento y diferencias en la temperatura del aire, ecuación 2.3.

Esta diferencia de temperatura se produce realmente por la acción simultánea de la Conducción, Radiación y Convección, se muestran en las tablas "*Diferencias de temperaturas equivalentes para paredes sombreadas y soleadas*" y "*Diferencias de temperaturas equivalentes para ganancias de calor a través de techos planos*". Estos factores dan las diferencias de temperaturas equivalentes para varios tipos de construcciones en distintos momentos del día.

$$\Delta t_e = a + \Delta t_{es} + b \cdot \frac{R_s}{R_m} (\Delta t_{em} - \Delta t_{es}) \quad (2.3)$$

*a :* Corrección a la diferencia equivalente de temperatura.

*b :* Coeficiente que toma en cuenta el color de la cara exterior de la pared.

*Rs:* Máxima insolación para el mes y latitud supuesta a través de la superficie acristalada de igual orientación a la estructura considerada.

*Rm :* Máxima insolación en el mes de julio 40° latitud norte a través de la superficie acristalada de igual orientación a la estructura considerada.

*Tem:* Diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada para la estructura soleada.

*Tes:* Diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada para la estructura en sombra.

### **2.3.6 Concentración de personas como base de diseño**

Las personas que ocupan el espacio que debe ser acondicionado contribuyen con cantidades importantes de calor sensible y calor latente, que aumenta la carga total de enfriamiento de dicho espacio. El cálculo debe basarse en el número promedio de personas dentro del espacio durante el periodo de la máxima carga de enfriamiento de diseño y se determina a través de las ecuaciones 2.4 y 2.5. La cantidad de calor debida a las personas, que va a aumentar la carga total de



enfriamiento, debe estar de acuerdo a la actividad desarrollada por estas personas como indica la Tabla "Ganancias de calor por persona" Polaino (1987).

**Ganancia por ocupantes.**

$$Q_{s.o.cup} = \eta \cdot I_{cs} \quad (2.4)$$

$$Q_{l.o.cup} = \eta \cdot I_{sl} \quad (2.5)$$

- \_  $\eta$ : Número de ocupantes
- \_  $I_{cs}$ : Índice de carga sensible (W/h ocup.)
- \_  $I_{sl}$ : Índice de carga latente (W/h ocup.)

**2.3.7 Ganancias de calor originadas por equipos instalados en el interior de un espacio a acondicionar**

Entre las fuentes de calor dentro del espacio que será acondicionado están las luces, las máquinas de oficina, equipos de computación, los electrodomésticos y los motores eléctricos.

Cuando los equipos que producen calor están cubiertos por una campana de extracción, debe calcularse la carga adicional debida al aire fresco que se debe introducir para compensar el aire extraído por la campana. Esto se calcula en la secuencia de Ganancias de calor por infiltración y ventilación.

Con respecto al alumbrado, el mismo constituye una fuente de calor sensible. Este calor se emite por radiación, convección y conducción. Un porcentaje del calor emitido por radiación es absorbido por los materiales que rodean el local, pudiendo también producirse estratificación del calor emitido por convección.

Las lámparas incandescentes transforman en luz un 10% de la energía absorbida, mientras el resto la transforman en calor que se disipa por radiación, convección y conducción. Un 80% de la potencia absorbida se disipa por radiación y solo el 10% restante por conducción y convección Polaino (1987).



Los tubos fluorescentes transforman un 25% de la energía absorbida en luz, mientras que otro 25% se disipa por radiación hacia las paredes que rodean el local y el resto por conducción y convección. Debe tenerse en cuenta, además, el calor emitido por la reactancia o resistencia limitadora, que representa un 25% de la energía absorbida por la lámpara.

Generalmente la placa de identificación de los equipos, darán la información necesaria para obtener el dato aproximado del calor generado por el aparato. En las placas que se especifique la potencia consumida, esta se puede tratar del mismo modo que las luces incandescentes. Si solo se especifican el voltaje y los amperios consumidos a plena carga, se multiplica el voltaje por el amperaje por un factor de utilización razonable (se recomienda 0,6 para motores pequeños y 0,9 para motores grandes). Las ganancias por equipos e iluminación se determinan por las ecuaciones 2.6 y 2.7.

#### **Ganancia por Equipos o Motores eléctricos.**

Cuando la máquina y el motor están dentro.

$$Q_{s.Mot} = N_m \quad (2.6)$$

—  $N_m$ : Potencia del motor (W)

#### **Ganancia por iluminación.**

$$Q_{silum} = 1,25 \cdot N_{ilum}. \quad (2.7)$$

—  $N$ : Potencia de Iluminación Instalada (W)

#### **2.3.8 Ganancia de calor por infiltración y ventilación**

El aire del exterior que fluye a través de una edificación, ya sea como aire de ventilación, o no intencionalmente como infiltración es importante por dos razones. El aire del exterior es utilizado muchas veces para diluir contaminantes en el aire del interior y la energía asociada con calentamiento o enfriamiento de este aire exterior es una significativa carga de relación espacio - acondicionamiento. La magnitud de estos valores de flujo de aire debe ser conocida a máxima carga para calcular



adecuadamente el tamaño de equipo y en condiciones promedio, estimar adecuadamente el consumo de energía promedio y estacionario.

Deben conocerse también los valores de intercambio de aire para asegurar un adecuado control de los niveles de contaminantes en el interior. En grandes edificaciones deben ser determinados el efecto de infiltración y ventilación en distribución y los patrones de flujo de aire interzonal, los cuales incluyen patrones de circulación de humo en caso de incendio. El calor aportado por las infiltraciones se determina a través de las ecuaciones 2.8 y 2.9.

El intercambio de aire entre el interior y las afueras está dividido en: ventilación (intencional e idealmente controlada) e infiltración (no intencional y descontrolada).

#### **Ganancia por Infiltraciones. (kW)**

$$Q_{s.inf} = 1,2 \cdot V_{inf} \cdot (t_e - t_i) \quad (2.8)$$

$$Q_{l.inf} = 2970 \cdot V_{inf} \cdot (w_e - w_i) \quad (2.9)$$

—  $V_{inf}$ : Volumen de aire infiltrado ( $m^3/s$ )

—  $w_e$ : Humedad específica exterior (kg/kgas)

—  $w_i$ : Humedad específica interior (kg/kgas)

#### **La ventilación puede ser natural y forzada.**

**La ventilación natural:** Es un flujo de aire sin energía a través de ventanas abiertas, puertas y otras aberturas intencionales de una edificación.

**La ventilación forzada:** Es intencional, es un intercambio de aire propulsado por un ventilador y con ventanillas de toma y descarga o escapes que son especialmente designadas e instaladas para ventilación.

**La infiltración:** Es un flujo de aire no controlado a través de grietas y otras aberturas no intencionales. Infiltración y flujo de ventilación natural son causados por diferencias de presión debido al viento, diferencia de temperatura interior – exterior y operaciones de aplicaciones o dispositivos.



Este trabajo, se enfoca en residencias y pequeñas edificaciones comerciales en las cuales el intercambio de aire es debido primeramente a la infiltración. Los principios físicos también son discutidos en relación a grandes edificaciones en las cuales el intercambio de aire depende más de ventilación mecánica que en el rendimiento de la envoltura de la edificación.

### **Tipos de intercambio de aire.**

Los edificios tienen tres modos diferentes de intercambio de aire:

- Ventilación forzada.
- Ventilación natural
- Infiltración.

Estos modos difieren significativamente en como ellos afectan la energía, la calidad del aire y el confort térmico. También ellos difieren en la habilidad de mantener una cuota de intercambio deseada. La cuota de intercambio de aire de una edificación en un momento dado generalmente incluye los 3 modos y todos ellos deben ser considerados aunque uno de ellos sea el predominante.

La cuota de intercambio de aire asociada con sistemas de ventilación forzada depende en la tasa de flujo de aire en los sistemas de ventilación, de la resistencia al flujo de aire asociada con los sistemas de distribución, de la resistencia del flujo de aire entre las zonas del edificio y el hermetismo de la envoltura del edificio. Si alguno de estos factores no está a nivel de diseño o no está propiamente calculado, la tasa o cuota de intercambio de aire del edificio puede resultar diferente de sus valores de diseño.

La ventilación forzada proporciona el mayor potencial para el control de la cuota de intercambio de aire y la distribución de aire dentro de una edificación a través de un diseño adecuado. Un sistema de ventilación forzada ideal tiene una cuota suficiente de ventilación para controlar los niveles de contaminantes en el interior y a la misma vez evita la sobreventilación, adicionalmente mantiene un buen confort térmico.



La ventilación forzada es generalmente obligatoria en grandes edificaciones, donde una mínima cantidad de aire exterior es requerida para la salud y confort de los ocupantes y donde los sistemas mecánicos de expulsión aconsejables son necesarios. La ventilación forzada generalmente no es utilizada en residencias o en otro tipo de estructuras con envolturas. Sin embargo, edificaciones más herméticas requieren mayores sistemas de ventilación para asegurar una adecuada cantidad de aire exterior para mantener una aceptable calidad de aire interior.

La ventilación natural a través de aberturas intencionales es causada por presiones del viento y diferencias de temperaturas interior – exterior.

Flujo de aire a través de ventanas y puertas u otras aberturas de diseño pueden ser utilizadas para proveer una ventilación adecuada para diluir contaminantes y controlar temperaturas. Aperturas no intencionales en la envoltura de la edificación y la infiltración asociada puede interferir con los patrones de distribución de aire de ventilación natural deseada y cargas mayores que la tasa de diseño de flujo de aire.

***La ventilación natural algunas veces incluye infiltración.***

Infiltración es flujo de aire descontrolado a través de aberturas no intencionales producidas por vientos, diferencia de temperaturas y presiones inducidas de aplicación. Infiltración es menos confiable de proveer ventilación adecuada y distribución, ya que este depende de condiciones climáticas y la distribución de aberturas no intencionales.

Es la fuente principal de distribución, en edificios de envolturas dominante y también es un factor importante en edificaciones ventiladas mecánicamente.

***Ventilación y Cargas Térmicas***

El aire exterior introducido en una edificación forma parte de la carga de acondicionamiento del espacio, la cual es una razón para limitar la cuota de intercambio de aire en las edificaciones a un mínimo requerido. El intercambio de aire típicamente representa de un 20% a un 40% de la carga térmica de la edificación. El calor aportado por la ventilación exterior se determina por las ecuaciones 2.10 y 2.11.



El intercambio de aire incrementa la carga térmica de una edificación de 3 maneras:

La primera, el aire entrante debe ser calentado o enfriado desde la temperatura del aire exterior a la temperatura del aire interior. La tasa de consumo de energía está dada por:

**Ventilación Exterior.**

$$Q_{s.v} = 1,2 V_v \cdot (t_e - t_i) \quad (2.10)$$

—  $V_v$ : Volumen de ventilación ( $m^3/s$ )

—  $t_e$ : Temperatura del aire exterior ( $^{\circ}C$ )

—  $t_i$ : Temperatura del aire en el interior del local ( $^{\circ}C$ )

Segundo, el intercambio de aire incrementa el contenido de humedad, particularmente en verano y en algunas áreas cuando el aire húmedo del exterior debe ser deshumidificado. El consumo de energía asociada con estas cargas está dado por:

$$Q_{l.v} = 2970 V_v \cdot (w_e - w_i) \quad (2.11)$$

—  $V_v$ : Volumen de ventilación ( $m^3/s$ )

—  $w_e$ : Humedad específica exterior (kga/kgas)

—  $w_i$ : Humedad específica interior (kga/kgas)

Finalmente el intercambio de aire puede incrementar la carga en una edificación, disminuyendo el rendimiento del sistema de envoltura o aislamiento. El aire fluyendo alrededor y a través del aislamiento puede incrementar la tasa de transferencia sobre las tasas de diseño. El efecto de dicho flujo de aire en el rendimiento del sistema de aislamiento es difícil de cuantificar, pero debe ser considerado. El flujo de aire en el sistema de aislamiento puede disminuir también el rendimiento del sistema debido a la humedad condensada dentro y sobre el aislamiento.



### **Ventilación y calidad de aire**

Los requerimientos del aire exterior han sido discutidos por más de un siglo, y diferentes estudiosos han producido estándares de ventilación radicalmente diferentes. Las consideraciones han incluido la cantidad de aire requerida para remover aire exhalado y para controlar la humedad interior, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y olor.

El mantenimiento de los niveles de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es un criterio común para determinar la cuota de ventilación. Una concentración típica exterior del  $\text{CO}_2$  es 0.03 %.

Mientras una persona de salud normal tolera 0.5 % de  $\text{CO}_2$  sin síntomas desagradables y los submarinos algunas veces operan con 1% de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera a nivel de 0.1 % provee un factor de seguridad para actividad continua, carga de ocupación inusual, ventilación reducida y control de olores. [14]

Alternativamente la norma 62 puede ser completada manteniendo la concentración de ciertos contaminantes dentro de los límites prescritos por la norma, por medio de la combinación de control de fuentes, tratamiento del aire y ventilación.

En caso de fuentes contaminantes de alto nivel, se requieren altos niveles de ventilación para controlar los niveles de contaminación, ya que otros métodos de control son más efectivos.

#### **2.3.9 Formas de controlar los niveles de contaminación en los locales:**

- La remoción o reducción de fuentes contaminantes.
- Especificar materiales de construcción con bajas cuotas de emisión de contaminantes.
- Selladores pueden ser utilizados en algunas situaciones para prevenir entrada de gases.
- Ventilación del lugar como ventanillas del baño, rejillas para controlar una fuente determinada.
- Las partículas pueden ser removidas por medio de filtros de aire.



- Gases contaminantes con mayor peso molecular pueden ser controladas con carbón activado, con pelotillas de alúmina impregnadas con sustancias como permanganato de potasio.

La cuota de circulación debe incrementarse pero debe haber ahorro de energía al acondicionar aire del exterior. Cada contaminante y un método apropiado de limpieza deben ser considerados.

### **2.3.10 Mecanismo de funcionamiento.**

La ventilación natural y la infiltración son producidas por diferencias de presión causadas por viento, diferencias de temperatura entre el aire del interior y el aire del exterior (efecto de chimenea) y la operación de equipos como dispositivos de combustión y sistemas de ventilación mecánica.

Las diferencias de presión en una zona, depresión de la magnitud de estos mecanismos de funcionamiento, así también como de las características de las aberturas en el diseño de la edificación, su ubicación y la relación entre las diferencias de presión y el flujo de aire para cada abertura.

Las diferencias de presión a lo largo de la estructura de la edificación están basadas en los requerimientos de que el flujo de la masa de aire que entra en la edificación son iguales a las masas que fluyen hacia fuera.

En general la diferencia de densidad entre las interiores y las exteriores pueden ser descartadas, tal que la tasa de flujo de aire volumétrico que entra al edificio se iguala a la tasa de aire volumétrico que sale. Asumiendo que las diferencias de presión de la envoltura puedan ser determinadas siempre, tal determinación requiere una gran cantidad de información detallada que sencillamente es imposible de obtener.

Cuando el viento choca contra una edificación produce una distribución de presiones estáticas sobre la superficie exterior de la edificación, la cual depende de la dirección del viento y de la ubicación en el exterior de la edificación.

Cuando existe una diferencia de temperatura interior – exterior, se impone un gradiente en la diferencia de presión. Esta diferencia de presión es una función de la altura y la diferencia de temperatura. [15; 17]



## **2.4 CICLO BASICO DE AIRE ACONDICIONADO**

El caudal de aire tratado en el climatizador y los parámetros bajo los cuales es necesario suministrarlos a un local para su acondicionamiento, dependen de las características de la carga térmica del mismo, así como también de las condiciones de diseño interior y exterior, caudal de ventilación y otros factores.

Una vez estimada la carga térmica del local, según lo establecido anteriormente, el paso siguiente es determinar el ciclo de evolución del aire tratado en los equipos suministrado al local, con el objetivo de determinar los parámetros de trabajo de la instalación y seleccionar los equipos componentes de la misma.

### **Metodología de cálculo**

**FCSL:** Es la razón entre la carga total sensible y latente del local. La pendiente de esta recta depende de la relación entre el calor sensible y latente del local; las condiciones de suministro del local pueden estar sobre cualquier punto de ella al que corresponde un determinado  $V_{SL}$ . El FCSL se determina a través de la ecuación 2.12.

$$FCSL = \frac{Q_{SL}}{Q_{SL} + Q_{LL}} \quad (2.12)$$

**FCST:** Es la relación entre el  $\sum Q_{SB}$  y la carga térmica total de la instalación, incluyendo todas las cargas sensibles y latentes que procedan del aire exterior. Conocidas las condiciones de la mezcla  $M$  puede ser trazada la recta FCST, se determina a través de la ecuación 2.13.

Es evidente que las condiciones de salida del aire de la batería (S) se encontrarán sobre esta recta. Dependiendo del Factor de Desvío (FD) del equipo y su Aparato de Punto de Roció (APR) y que corresponden a las condiciones de suministro del local ( $S_L$ ) siempre que se desprecien las ganancias adicionales en los conductos y ventiladores.

$$FCST = \frac{Q_{SB}}{Q_{TB}} \quad (2.13)$$

Las ganancias sensibles de la batería y total de la batería se determinan por las ecuaciones 2.14 y 2.15.



$$Q_{SB} = Q_{SL} + Q_{SV} + Q_{SGA} \quad (2.14)$$

$$Q_{TB} = Q_{SL} + Q_{LL} + Q_{SV} + Q_{LV} + Q_{SGA} + Q_{LGA} \quad (2.15)$$

Se puede decir que las condiciones de suministro del local ( $S_L$ ) se encuentran donde se corten las rectas de FCSL y FCST.

$$FCSE = \frac{\text{Carga Sensible Efectiva del Local}}{\text{Calor Total Efectivo del Local}}$$

$$FCSE = \frac{Q_{SL} + Q_{SV^I}}{Q_{TL} + Q_{TV^I}} \quad (2.16)$$

$$Q_{SV^I} = Q_{SV} \cdot FD \quad (2.17)$$

$$Q_{LV^I} = Q_{LV} \cdot FD \quad (2.18)$$

**FCSE:** Se considera como la carga sensible efectiva del local, a la carga sensible del local más la carga sensible del aire exterior (que durante el proceso de enfriamiento pasa por esta sin sufrir cambio alguno) determinada por el factor de desvío de la batería **FD**. La carga total efectiva incluye además las cargas latentes del aire de ventilación desviado.

Hacer esta suposición permite determinar un **APR** mediante la intersección del **FCSE** trazado, a partir de las condiciones del local L con la curva de saturación. El **FCSE** no corresponde a ningún proceso real del aire, es solo un método para determinar de forma más sencilla el ciclo.

**FCSL > FCSE > FCST.** La diferencia entre estos tres factores depende del menor o mayor caudal de ventilación y para el caso en que éste sea cero, éstos serán iguales, es decir coincidirán sobre una misma recta.

**APR:** Temperatura media efectiva de la batería. Como se dijo anteriormente este se determina en la intersección del FCSE trazado, a partir de las condiciones del local con la curva de saturación. Éste depende de varios factores como son: flujo paralelo y contra flujo, velocidad del agente de enfriamiento y del aire, características constructivas de la batería y otros.



Éste también se determina con la intersección de la recta del FCST con la curva de saturación pasando por las condiciones de la mezcla (M).

$V_{SL}$ : El cálculo de éste no es tan simple ya que es necesario trazar el FCST a partir de las condiciones de la mezcla M, los que a su vez solo podrán evaluarse si se conoce si el caudal de suministro de aire al local el cual depende de las condiciones de suministro sobre el FCSL. Se determina a través de la ecuación 2.19.

En tal caso esto puede resolverse mediante un método de tanteo que consta de 7 pasos y es muy engorroso el cual puede ser simplificado mediante ciertas suposiciones basadas en los conceptos de FD y APR.

$$V_{SL} = \frac{Q_{SL} + Q_{SV'}}{1.2(t_L - t_{APR})(1 - FD)}, \left( \frac{m^3}{s} \right) \quad (2.19)$$

$V_{SL}$ : Volumen de aire de suministro al local, ( $m^3/s$ )

$t_M$ : La temperatura de bulbo seco de la mezcla  $t_{bsM}$  ha de deducirse a partir de los valores de entalpía y contenido de humedad realizando un balance de masa y energía. Estas ecuaciones se utilizan en cálculos que se requiera gran exactitud, ecuación 2.20, donde:

$$i_M = \frac{i_E \cdot G_{Vv} + i_L \cdot G_R}{G_M} \quad (2.20)$$

$i_M; i_E; i_L$ : Entalpía del aire de la mezcla, exterior y del local respectivamente, (kJ/kg)

$G_{Vv}; G_M; G_R$ : Flujo de aire de ventilación, de la mezcla y de retorno respectivamente, (kg/s)

Cuando en lugar de la masa se conozca el volumen por unidad de tiempo ( $V$ ;  $m^3/s$ ) La ecuación 2.21 puede emplearse con suficiente aproximación en los cálculos, ya que en la mayoría de los procesos relacionados a la climatización para el confort las diferencias de densidades del aire son pequeñas.

$$t_m = \frac{V_R \cdot t_L + V_v \cdot t_E}{V_{SL}}, (^\circ C) \quad (2.21)$$



**Para la determinación del Ciclo se procede con los siguientes pasos.**

1. Cálculo del Factor de Calor Sensible del Local. FCSL
2. Cálculo del Factor de Calor Sensible Efectivo. FCSE
3. Determinación del *APR* mediante la intersección del *FCSE* y la curva de saturación.
4. Determinación del caudal de aire de suministro al local (tratado en batería) mediante la ecuación 2.19.
5. Determinación de las condiciones de mezcla a la entrada de la batería a partir de la ecuación 2.21.

Donde el volumen de retorno se determina por la ecuación 2.22.

$$V_R = V_{SL} - V_V \quad (2.22)$$

donde:

- $V_R$  : Caudal de retorno ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).
- $V_V$  : Caudal de aire exterior ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).
- $V_B$  : Caudal de aire tratado en la batería, si no hay fugas:

6. Conocidas  $t_M$  y *APR*, se determinará  $t_{SB}$  a partir de la ecuación 2.22.

$$t_{SL} = t_{SB} = APR + FD(t_M - APR) \quad (2.22)$$

## **2.5- Conclusiones del Capítulo II**

- Quedó establecido el procedimiento de cálculo para la estimación de la carga térmica en los locales. El mismo conjuga los aspectos teóricos metodológicos y las expresiones matemáticas propuestas en investigaciones anteriores.



## **CAPÍTULO III ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

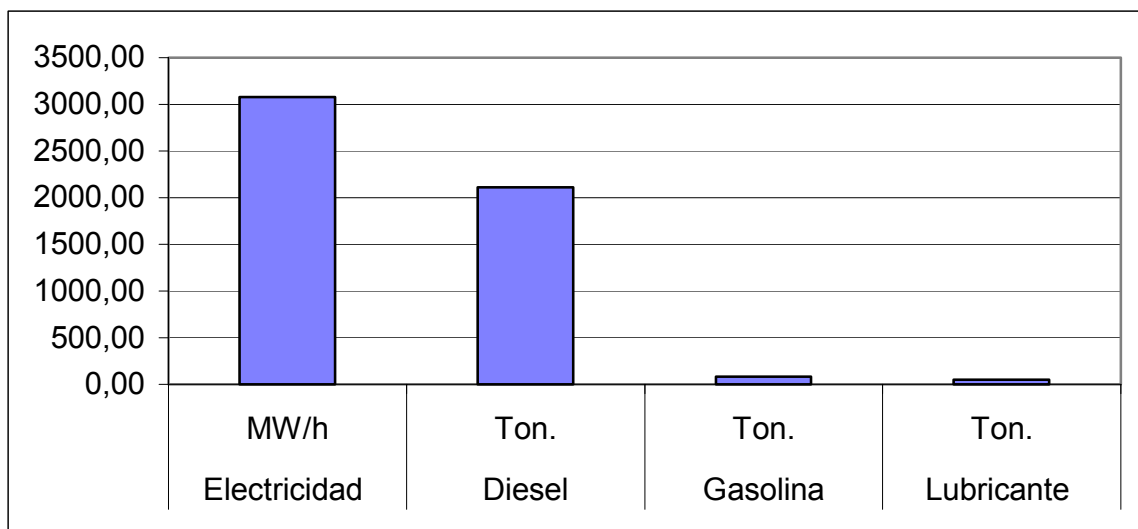
### **3.1 Introducción**

Una vez establecido en el Capítulo II los fundamentos básicos y los procedimientos de cálculos para realizar el diagnóstico energético y la estimación de la carga térmica en la instalación hotelera de la ESUN, Villa Cromita, se procede al análisis de los resultados obtenidos en el trabajo.

El presente capítulo tiene el objetivo de: Evaluar la carga térmica estimada en los locales de la instalación y el comportamiento de los portadores energéticos en la empresa.

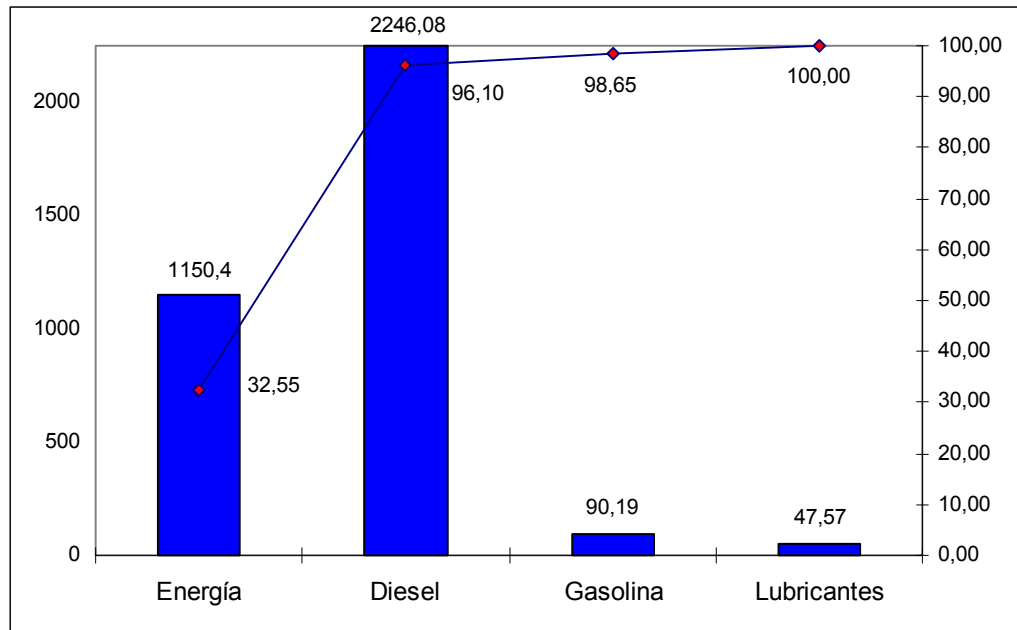
### **3.2 Caracterización energética de la Empresa**

Para dar solución al problema planteado, primeramente se identificaron los portadores energéticos en la empresa y su comportamiento en el año 2007 se muestran en la figura 3.1



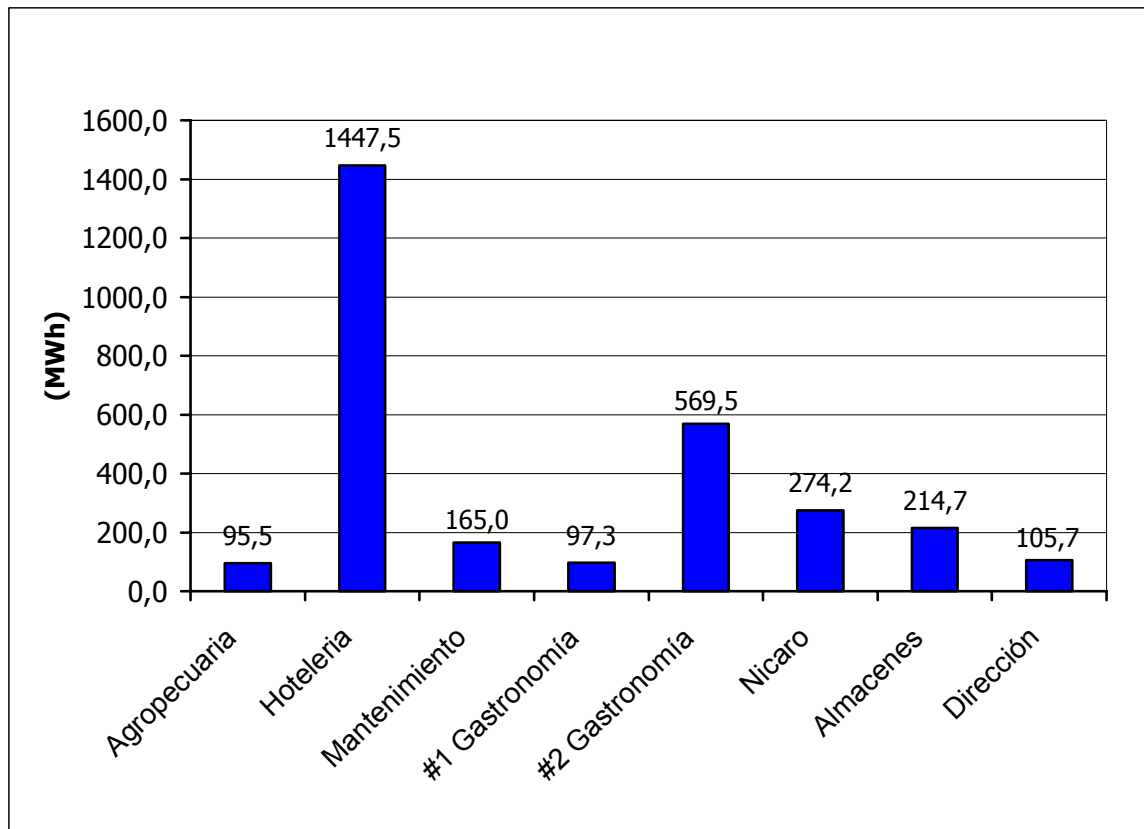
**Figura 3.1** Comportamiento real de los portadores energéticos en la ESUNI en el 2007.

Para determinar los principales portadores energéticos, se aplica el principio de Pareto, ver figura 3.2.



**Figura 3.2** Diagrama Pareto, que describe el comportamiento de los portadores energéticos en la ESUNI en el año 2007.

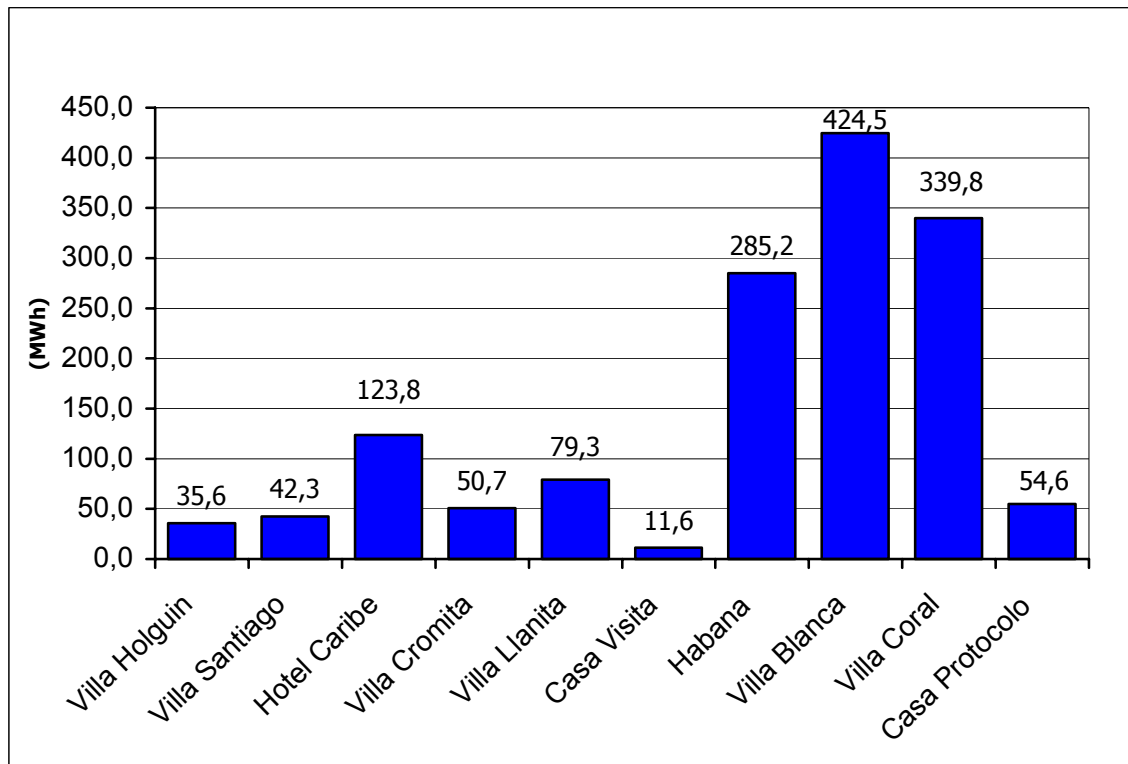
A partir de la gráfica de la figura 3.2 se aprecia que el energético Diesel es el principal responsable del consumo de energía, y representa el 63.55 % del gasto total de la empresa, la cual muestra comportamiento similar al del año 2006 que fue de un 64 %. El otro portador que tiene mayor incidencia es la Energía eléctrica y que significa el 32,55 % del total de la empresa, mostrando un incremento del 1,91 % con respecto al 2007. Por tal motivo es necesario evaluar que influencia tiene la climatización dentro del consumo de energía eléctrica en instalaciones de la empresa.



**Figura 3.3.** Comportamiento de la Energía Eléctrica por Unidad Empresarial de Bases (UEB) en la ESUNI en el año 2007.

En la figura 3.3 se observa que la Unidad Empresarial de Base de Hotelería es la más consumidora de Energía Eléctrica en la empresa. Es dentro de esa UEB que se encuentran instalados la mayoría de los equipos de climatización con que cuenta la empresa.

En la figura 3.4 se observa el comportamiento del consumo de energía eléctrica por unidad hotelera, en este trabajo se estudiará la instalación Villa Cromita, como parte de un trabajo más amplio que se desarrolla de forma conjunta entre los energéticos de la ESUNI y profesores del ISMM.



**Figura 3.4** comportamiento del consumo de energía eléctrica de las diferentes unidades de UEB de Hotelería en el año 2004.

De las instalaciones hoteleras que aparecen en la figura 3.4, solo faltan por evaluar Villa Holguín, Villa Santiago, Habana y Villa Cromita, se ha priorizado esta última ya que se encuentra en un periodo de remodelación para recibir personal extranjero que laborarán en la industria del níquel.

### **3.3 CALCULO DE LA CARGA TERMICA**

Para la estimación de la carga térmica en los locales ya identificados, se tuvieron en cuenta los datos que se resumen a continuación.



Condiciones de diseño interior y exterior.

| <b>Condiciones de diseño:</b>           | <b>Interior</b> | <b>Exterior</b> |
|-----------------------------------------|-----------------|-----------------|
| ✓ Temperatura de bulbo seco. Tbs (°C)   | 24              | 32.5            |
| ✓ Temperatura de bulbo húmedo. Tbh (°C) | 18              | 25.5            |
| ✓ Humedad relativa. (%)                 | 55              | 57              |
| ✓ Humedad específica. (kga/kgas)        | 0.0102          | 0.0177          |
| ✓ Variación de temperatura diaria (°C)  | 10              |                 |

Para la determinación de algunos de los valores resumidos se usó el Software Carta Psicrometrica.

### **3.3.1 Ganancia de calor por radiación solar a través de vidrios**

Para determinar las ganancias por insolación a través del vidrio se tuvieron en cuenta los siguientes factores según [17].

|                                        |      |
|----------------------------------------|------|
| Factores de corrección                 | f    |
| La niebla o contaminación atmosférica. | 0.9  |
| El tipo de marco de ventana.           | 1.17 |
| La altura sobre el nivel del mar.      | 1    |
| La variación del punto de rocío.       | 0.95 |
| El hemisferio terrestre.               | 1    |

Las instalaciones estudiadas poseen una orientación E – O, donde se pudo apreciar que la mayor radiación en estas paredes y ventanas ocurre en horas de la mañana (08:00 horas) para los meses de Agosto y Abril. Considerando que la paredes con orientación Este, están a la sombra (protegidas por árboles y edificaciones), además que a esa hora en los días laborables (lunes a sábado) los huéspedes se encuentran trabajando en las industrias. Por estas consideraciones se asume que mayor radiación solar con influencia en la carga térmica ocurre en horas de la tarde por la pared Oeste. Por lo tanto se asumen los valores de la intensidad de la radiación solar



para las 16:00 horas del día, en los meses de septiembre y marzo obteniéndose como aportaciones solares a través de vidrio sencillo para cada pared, los valores que se relacionan a continuación:

| Orientación | $I_T(W/m^2)$ |
|-------------|--------------|
| E           | 33.7         |
| O           | 514          |
| N           | 33.7         |
| S           | 68.6         |

Para el caso del restaurante que está sometido a la radiación solar en la pared Este y Oeste, se asume también que la mayor radiación es en hora de la tarde (16:00 horas), debido a que la superficie Este, expuesta a radiación solar a través de cristales y paredes es menor que la Oeste. Además el horario de desayuno es hasta las 09:00 horas, pero solo ocurriría los domingos, ya que los días laborables deben estar en las empresas alrededor de las 07:00 horas como promedio.

Las puertas y ventanas del restaurante son de cristales ordinarios con colores claros, y las habitaciones poseen cristales corrugados con un coeficiente de absorción entre 0.40 y 0.48 y colores claros, por lo tanto la carga por radiación solar a través de cristales será afectada por un coeficiente que posee un valor de 0,29 y 0.16 respectivamente.

### **3.3.2 Transmisión de calor y vapor por estructuras.**

Para la conducción y radiación a través de paredes y techos, soleados y a la sombra se toman los valores según los criterios de la tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Coeficiente de transmisión de calor para paredes ( $W/m^2\text{°C}$ ).

| Tipo de Construcción          | Espesor (m) | Peso ( $kg/m^2$ ) | K ( $W/m^2\text{°C}$ ) |
|-------------------------------|-------------|-------------------|------------------------|
| Bloque arena y gravilla hueco | <b>0.15</b> | <b>122</b>        | <b>1.81</b>            |
|                               | 0.2         | (210)             | 2.95                   |



**Tabla 3.2** Coeficientes de transmisión global K. Cubiertas planas de Fibrocemento ( $\text{W/m}^2$ ).

| Techumbre                     | Techo (cielo raso) |
|-------------------------------|--------------------|
| Cubierta                      | Grosfillex         |
| Cubierta de Fibrocemento (15) | 0,73               |

Partiendo del criterio de que todas las instalaciones están construidas del mismo material se asumen los valores de las tablas 3.1 y 3.2 para todos los cálculos.

En el caso que la pared reciba radiación solar se estima un diferencial de temperatura equivalente ( $\Delta T_{eq.}$ ), que depende de la diferencia de temperatura del aire exterior e interior, hora solar, latitud, orientación de la pared, tipo de construcción de la estructura y color de la cara exterior de la pared. Se seleccionan los valores según la tabla 3.3.

Para determinar la radiación solar a través de paredes y techos se deben determinar los valores de los parámetros que intervienen en la diferencia de temperatura equivalente, para ello se parte del peso, la orientación de la pared, el mes y la hora recomendada para los cálculos.

**Tabla 3.3** Diferencia equivalente de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ). Muros soleados o en sombra.

|             | Orientación      | Peso del muro<br>( $\text{kg/m}^2$ ) | Hora solar<br>16:00 |
|-------------|------------------|--------------------------------------|---------------------|
| <i>Tem:</i> | E                | 100                                  | 7.8                 |
|             | O                | 100                                  | 22.3                |
|             | S                | 100                                  | 14.4                |
| <i>Tes:</i> | N (en la sombra) | 100                                  | 7.8                 |

Para el caso de la corrección a la diferencia equivalente de temperatura se determina en la tabla 3.4 tomando una temperatura exterior de  $32^{\circ}\text{C}$  e interior de  $24^{\circ}\text{C}$  y la variación de la temperatura seca exterior en 24h .



**Tabla 3.4** Corrección a la diferencia equivalente de temperatura. a (°C).

| Temperatura exterior a las 15h<br>para el mes considerado, menos<br>la temperatura interior ( $t_E - t_L$ ) | Variación de la temperatura seca exterior en 24h. |      |            |      |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------|------------|------|------|
|                                                                                                             | 6                                                 | 8    | 10         | 12   | 14   |
| +6                                                                                                          | 0.6                                               | -0.8 | -1.7       | -2.7 | -3.6 |
| <b>+8</b>                                                                                                   | 2.3                                               | 1.2  | <b>0.3</b> | -0.7 | -1.6 |
| +10                                                                                                         | 4.2                                               | 3.1  | 2.2        | 1.2  | 0.3  |

Otro elemento que se debe tener en cuenta para calcular el diferencial de temperatura equivalente es el factor que relaciona la máxima insolación para el mes de cálculo y la orientación de la pared, ver tabla 3.5.

**Tabla 3.5** Factor  $R_s / R_M$  Para 20° de latitud Norte.

| Mes                       | Orientación |      |      |      |            |
|---------------------------|-------------|------|------|------|------------|
|                           | N           | E    | S    | O    | Horizontal |
| <b>Septiembre y Marzo</b> | 1.13        | 1.09 | 0.46 | 1.09 | 1.27       |

### 3.3.3 Infiltraciones.

Teniendo en cuenta que en un local acondicionado se infiltra aire exterior por el efecto de la presión del viento a través de las rendijas o ranuras de las ventanas y las puertas y por la entrada y salida de los ocupantes del local. En este caso en específico las ventanas están hechas a prueba de infiltraciones, pero teniendo en cuenta que algunas habitaciones no tienen sus puertas a pruebas de infiltraciones (las exteriores), se considera la infiltración por la acción del aire sobre las puertas exteriores de las habitaciones 12 a la 17, en el resto de las habitaciones no se tiene en cuenta la infiltraciones por que las paredes que están en la dirección del viento no tienen puertas y las ventanas que están en esas paredes están hechas a prueba de infiltraciones y son las de los baños. El volumen de infiltración en dependencia del tamaño de la rendija se observa en la tabla 3.6.



**Tabla 3.6** Volumen de infiltración en dependencia del tamaño de la rendija.

| Tipo de puerta y ancho de rendija | m <sup>3</sup> /(s*m) lineal de rendija |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                   | Velocidad del viento (m/s)              |                       |                       |                       |                       |
| <b>Puerta de vidrio</b>           | <b>2.2</b>                              | 4.4                   | 6.6                   | 8.9                   | 11.2                  |
| Rendija 3mm                       | 5*10 <sup>-3</sup>                      | 9.9*10 <sup>-3</sup>  | 15.1*10 <sup>-3</sup> | 20.1*10 <sup>-3</sup> | 24.7*10 <sup>-3</sup> |
| Rendija 5mm                       | 7.4*10 <sup>-3</sup>                    | 15.4*10 <sup>-3</sup> | 21.6*10 <sup>-3</sup> | 30.9*10 <sup>-3</sup> | 37.2*10 <sup>-3</sup> |
| <b>Rendija 6.5mm</b>              | <b>9.9*10<sup>-3</sup></b>              | 20*10 <sup>-3</sup>   | 29.4*10 <sup>-3</sup> | 40.3*10 <sup>-3</sup> | 40.3*10 <sup>-3</sup> |

### **3.3.4 Ventilación exterior.**

En todo local climatizado es necesario prever un cierto caudal de aire exterior para lograr la renovación de aire del local, para disminuir el contenido de CO<sub>2</sub>, para eliminar los olores generados por los ocupantes, así como para controlar la composición del aire cuando por algún determinado proceso se libere algún gas, polvo, etc. Se seleccionó un caudal de ventilación  $V_v = 0.0142 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{ocup}$  para una habitación de un hotel.

### **3.3.5- Ocupantes**

Los ocupantes constituyen otros de los elementos que aportan ganancias de calor tanto sensible como latente. Las habitaciones estarán ocupadas por una sola persona y la cantidad de calor generado por ésta en una habitación representa un índice de carga sensible  $I_{cs} = 70.76 \text{ W/h ocup}$  y un índice de carga latente  $I_{cl} = 60.84 \text{ W/h ocup}$ , según Polaino (1987).

### **3.3.6 Iluminación y equipos o motores eléctricos.**

La potencia y la cantidad de equipos eléctricos y de luminarias instalados, se pueden apreciar en las hojas de cálculo de Excel y en los dibujos del Anexo 2. Estos equipos aportan carga sensible.

### **Análisis de los resultados.**

Una vez seleccionados los valores según lo requiere la metodología a emplear, establecida en el Capítulo II, se procede a estimar la carga térmica con la ayuda de una hoja de cálculo en Excel que se muestra en el Anexo 1 y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.7.



**Tabla: 3.7** Resumen de las cargas térmicas por locales.

|                      | <b>Capacidad (kW)</b> |                  | <b>(kW)</b>       |
|----------------------|-----------------------|------------------|-------------------|
|                      | <b>Calculada</b>      | <b>Instalada</b> | <b>Diferencia</b> |
| <b>Villa Cromita</b> |                       |                  |                   |
| <b>Habitación 1</b>  | 4,14                  | 5,27             | 1,13              |
| <b>Habitación 2</b>  | 2,61                  | 3,51             | 0,90              |
| <b>Habitación 3</b>  | 2,81                  | 3,51             | 0,70              |
| <b>Habitación 4</b>  | 2,43                  | 1,76             | -0,67             |
| <b>Habitación 5</b>  | 2,39                  | 1,76             | -0,63             |
| <b>Habitación 6</b>  | 2,39                  | 3,51             | 1,12              |
| <b>Habitación 7</b>  | 2,39                  | 3,51             | 1,12              |
| <b>Habitación 8</b>  | 2,39                  | 1,76             | -0,63             |
| <b>Habitación 9</b>  | 2,54                  | 1,76             | -0,78             |
| <b>Habitación 10</b> | 4,42                  | 3,51             | -0,91             |
| <b>Habitación 11</b> | 4,44                  | 3,51             | -0,93             |
| <b>Habitación 12</b> | 1,68                  | 3,51             | 1,76              |
| <b>Habitación 13</b> | 1,56                  | 1,76             | 0,14              |
| <b>Habitación 14</b> | 1,55                  | 1,76             | 0,21              |
| <b>Habitación 15</b> | 1,55                  | 1,76             | 0,21              |
| <b>Habitación 16</b> | 1,55                  | 1,76             | 0,21              |
| <b>Habitación 17</b> | 1,75                  | 3,51             | 1,70              |
| <b>Restaurante</b>   | 16,27                 | 17,57            | 0,66              |
| <b>Carpeta</b>       | 4,43                  |                  |                   |

En la tabla 3.7 se observan los valores de la carga térmica en los locales evaluados, los signos negativos revelan que la carga instalada es menor que la de cálculo, lo que indica que el 31 % de los locales estudiados requieren de equipos de mayor capacidad de enfriamiento.

En los casos en que la carga instalada es superior a la de cálculo, se puede apreciar que solo en las Habitaciones 1, 2, 3, 6, 7, 12 y 17 se justifica la sustitución del instalado por uno de menor capacidad debido a que la diferencia supera los 1,76 kW (6000 BTU/h). En los demás casos no se justifica la sustitución ya que la diferencia es muy pequeña y si se sustituye por uno menor, la capacidad instalada sería menor que la necesaria.



Se debe destacar que los cálculos se realizaron considerando la radiación solar a través de cristales sin cortinas o apantallamiento, otro elemento que incide en la ganancia térmica, es la ausencia de juntas a prueba de infiltraciones en las puertas.

Para realizar los cálculos nuevamente se despreció el volumen de infiltración a través de la rendija de las puertas y se afectó la radiación solar a través de cristales por un coeficiente, considerando que las ventanas están protegidas por cortinas de tela de colores claros. Los valores del coeficiente se pueden observar en la tabla 3.8.

**Tabla: 3.8** Coeficiente para las ganancias por radiación solar en vidrios.

| Tipo de vidrio                                 | Cortina de tela                               |       |        |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------|--------|
|                                                | Listones horizontales o verticales inclinados |       |        |
|                                                | Color                                         |       |        |
| Vidrio absorbente:<br>Coeficiente de absorción | claro                                         | medio | oscuro |
| 0.40 a 0.48                                    | 0.56                                          | 0.62  | 0.72   |
| 0.48 a 0.56                                    | 0.53                                          | 0.59  | 0.62   |
| 0.56 a 0.70                                    | 0.51                                          | 0.54  | 0.56   |

Una vez que se solucionen estas deficiencias el comportamiento de la carga térmica será según se muestra en la tabla 3.9.

**Tabla: 3.8** Resumen de las cargas térmicas por locales.

|                      | Capacidad (kW)   |                  | (kW)              |
|----------------------|------------------|------------------|-------------------|
| <i>Villa Cromita</i> | <i>Calculada</i> | <i>Instalada</i> | <i>Diferencia</i> |
| <b>Habitación 1</b>  | 3,84             | 5,27             | 1,43              |
| <b>Habitación 2</b>  | 2,32             | 3,51             | 1,19              |
| <b>Habitación 3</b>  | 2,50             | 3,51             | 1,02              |
| <b>Habitación 4</b>  | 2,12             | 1,76             | -0,36             |
| <b>Habitación 5</b>  | 2,39             | 1,76             | -0,63             |
| <b>Habitación 6</b>  | 2,39             | 3,51             | 1,12              |
| <b>Habitación 7</b>  | 2,39             | 3,51             | 1,12              |
| <b>Habitación 8</b>  | 2,39             | 1,76             | -0,63             |
| <b>Habitación 9</b>  | 2,22             | 1,76             | -0,47             |
| <b>Habitación 10</b> | 4,11             | 3,51             | -0,59             |

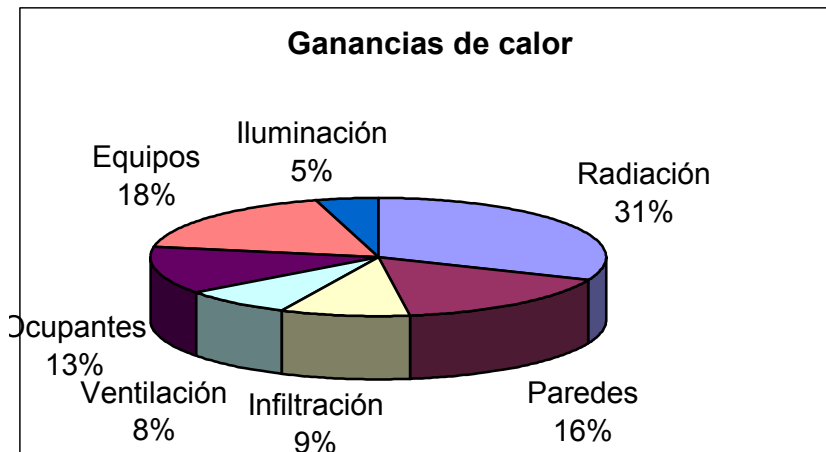


**Tabla: 3.8** Resumen de las cargas térmicas por locales. (continuación)

| <b>Villa Cromita</b> | <b>Capacidad (kW)</b> |                  | <b>(kW)</b>       |
|----------------------|-----------------------|------------------|-------------------|
|                      | <b>Calculada</b>      | <b>Instalada</b> | <b>Diferencia</b> |
| <b>Habitación 11</b> | <b>4,12</b>           | <b>3,51</b>      | <b>-0,61</b>      |
| <b>Habitación 12</b> | <b>1,47</b>           | <b>3,51</b>      | <b>2,04</b>       |
| <b>Habitación 13</b> | <b>1,35</b>           | <b>1,76</b>      | <b>0,41</b>       |
| <b>Habitación 14</b> | <b>1,55</b>           | <b>1,76</b>      | <b>0,21</b>       |
| <b>Habitación 15</b> | <b>1,55</b>           | <b>1,76</b>      | <b>0,21</b>       |
| <b>Habitación 16</b> | <b>1,55</b>           | <b>1,76</b>      | <b>0,21</b>       |
| <b>Habitación 17</b> | <b>1,54</b>           | <b>3,51</b>      | <b>1,97</b>       |
| <b>Restaurante</b>   | <b>16,23</b>          | <b>17,57</b>     | <b>1,34</b>       |
| <b>Carpeta</b>       | <b>4,35</b>           |                  |                   |

En la tabla 3.8 se observa que una vez que se tomen las medidas para disminuir las ganancias de calor por radiación e infiltración las ganancias térmicas disminuyen pero no al punto de que se puedan tomar decisiones, como la de sustituir los equipos instalados por otros que se correspondan con la carga térmica calculada.

La figura 3.5 muestra el comportamiento de las diferentes ganancias térmicas de los locales climatizados. Se puede observar que de forma general la que mayor incidencia tiene es la radiación solar a través de superficies acristaladas con un 31 %, seguida por los equipos con un 18 % y por la transmisión de calor a través de paredes, techo y piso con 16 % . La carga térmica por equipos se puede disminuir, logrando que no todos los equipos estén energizados a la vez. Mientras que las otras dos se pueden disminuir usando estructuras que impidan la radiación solar directa sobre la instalación, usando colores claros en las superficies exteriores, sembrando árboles, instalando cortinas en los interiores de las superficies acristaladas, por solo mencionar algunas.



**Figura 3.5** Distribución de la carga térmica de la instalación.

### **3.4 VALORACIÓN ECONOMICA**

Los resultados obtenidos muestran una carga instalada mayor a la demanda pero no lo suficiente como para proponer la sustitución inmediata de los equipos instalados. Considerando que el mayor ahorro en la energía eléctrica puede verse reflejado en el uso eficiente de los equipos de climatización.

#### **3.4.1 Selección de los equipos**

En el trabajo se demostró que la carga de refrigeración instalada es mucho mayor que la carga térmica estimada en los cálculos, por lo que se considera que se debe hacer un rediseño de la distribución del aire en los locales para de esta forma aprovechar la capacidad calorífica de los mismos y disminuir el consumo de energía eléctrica.

#### **3.4.2 Análisis económico.**

El análisis económico representa un método de dirección planificada de la economía, basada en la utilización de las leyes de la economía del estado que crea las premisas para el cumplimiento exitoso de todos los indicadores del plan con menos gastos de recursos laborales, materiales y monetarios. En toda sociedad no se concibe un desarrollo tecnológico fuera de un profundo análisis o valoración económica.



Considerando que la empresa a partir de este trabajo sustituya los equipos según la propuesta, se puede estimar el ahorro de energía eléctrica que se lograría a partir de la realización del trabajo.

Se debe destacar que la instalación estudiada se encuentra en fase de terminación y que existen algunos aspectos a considerar ante de la entrega definitiva de la entidad. Actualmente no se conocen los consumos de energía eléctrica por concepto de climatización, debido a las modificaciones realizadas y este trabajo debe de servir de base a los directivos de la empresa para la correcta selección de los equipos de clima.

### **3.5 Estudio de la contaminación ambiental.**

De conformidad con el Protocolo de Montreal, que reconoce los efectos adversos en la capa de ozono de las emisiones de Fluorocarbonos que contienen cloro, en 1995 se inició la eliminación progresiva de los Clorofluorocarbonos (CFC). En la actualidad, el uso de Hidroclorofluorocarbonos (HCFC) como el Freón 22 (R-22) utilizado por los equipos seleccionados y también regulado por este acuerdo internacional, se está reduciendo progresivamente hasta su futura eliminación.

El factor de destrucción de la capa de ozono depende directamente del contenido de cloro del refrigerante. Para evaluar la capacidad de destrucción de ozono en términos cuantitativos se recurre a un índice adimensional denominado Potencial de Destrucción de Ozono (PDO). Expresa el grado máximo en que un gas dado puede provocar la disminución de la capa de ozono. Por convención se toma el valor 1 a la capacidad del R-11 para destruir ozono.

En la tabla 3.9 se hace una comparación entre diferentes refrigerantes en relación con el contenido de cloro, DPO y vida media estimada.



**Tabla 3.9** Comparación de los diferentes refrigerantes respecto a varios criterios

| Refrigerante  | Contenido en cloro (%) | Potencial de destrucción ozono | Vida media estimada (años) |
|---------------|------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| R-11 (CFC)    | 77.4                   | 1                              | 60                         |
| R-12 (CFC)    | 58.6                   | 0.95                           | 130                        |
| R-22 (HCFC)   | 41                     | 0.05                           | 15                         |
| R-134-a (HFC) | 0                      | 0                              | 16                         |

**Fuente:** [www.enebc.org/Castellano/bomba/cap4/capitulo.htm](http://www.enebc.org/Castellano/bomba/cap4/capitulo.htm), Junio de 2006.

Como se puede apreciar los CFC tienen una vida media atmosférica muy larga lo que les permite conservar su estructura molecular intacta hasta que alcanzan la estratosfera al cabo de 3 a 5 años después de su emisión. Los HCFC tienen una vida media atmosférica más corta que los CFC, por lo que su capacidad de destrucción es menor. Sólo una pequeña parte de las moléculas de HCFC descargadas a la atmósfera alcanzan la estratosfera y contribuyen a la destrucción del ozono de la misma manera que lo hacen los CFC.

Estas implicaciones de los refrigerantes con cloro como destructores del medio ambiente, han provocado su eliminación a nivel mundial y la sustitución por otros de tipo HFC (Hidro-fluor-carbonos, sin cloro) semejantes en seguridad y prestaciones pero inocuos para la capa de ozono.

En sentido general se puede afirmar que el refrigerante R-22 empleado cumple las exigencias medioambientales impuestas y tiene una incidencia 20 veces menor que el R-11.



### **3.5 Conclusiones del Capítulo III.**

- √ Quedó demostrado que el 31 % de los equipos instalados están por debajo de la carga térmica real y que los que satisfacen la demanda, en algunos casos están sobre dimensionados al punto que se incurren en consumos energéticos adicionales, sino se regula la temperatura en los locales.
- √ Se observó que la mayor ganancia de calor es a través de la radiación solar a través de cristales.
- √ El incremento de los consumos de energía eléctrica en 1,91 % y el diesel en 0,45 %, se deben a los incrementos de solicitudes de servicios durante el año 2007, valores que deben incrementarse para el año 2008.



## **CONCLUSIONES**

- √ Se comprobó que en Villa Cromita existen altas temperaturas en la Cocina y que el sistema de evacuación de gases es deficiente, que aunque estos gases no llegan hasta el restaurante si dificultan el desempeño de los que allí laboran.
- √ Los elevados consumos e energía eléctrica en Villa Cromita puede ser causa de los equipos instalados por los huéspedes en las habitaciones.
- √ La carga térmica de las habitaciones en general oscila por debajo de los 3,52 kW (1 TR).
- √ La empresa lleva un control global de los portadores energéticos por Unidades Empresariales de Base y no lo diferencian por conceptos lo que dificulta identificar los puestos claves dentro de un portador.
- √ Las instalaciones aún no están adecuadamente protegidas de la radiación directa del Sol.



## **RECOMENDACIONES**

- √ Instalar en las instalaciones hoteleras una línea independiente para los equipos de climatización y un metro contador para registrar el consumo eléctrico por este concepto.
- √ Hacer un estudio más detallado de las instalaciones de clima y ventilación en la ESUNI con el apoyo de los directivos de la misma.
- √ Reforestar los alrededores de las instalaciones Villa Cromita con el objetivo de disminuir el impacto de los gases nocivos, el polvo y la radiación solar.
- √ Crear una cultura energética en la empresa.
- √ Capacitar al personal técnico encargado de la compra e instalación del los aires acondicionados.
- √ Garantizar que los equipos instalados en el exterior de la instalación estén protegidos de la acción de la lluvia y el medio como agente erosivo.



## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Abella Cuba, E. Estimación de la carga térmica de climatización de las instalaciones de Villa Coral y Villa Vigía Páginas 41. 2005. Instituto Superior Minero Metalúrgico
2. Cabrera, O. Evaluación de dos sistemas de climatización en el Grupo Empresarial de la Construcción de la ciudad de Santi Spiritus, 2005.
3. Diccionarios Técnicos: Técnica de la refrigeración y de la climatización, Editorial Ciencia y Técnica, Habana, 1988. P-56
4. Durán Ramírez, Y. Cálculo verificativo de la carga térmica de Climatización del Centro Comercial Moa, 2004. Departamento de Mecánica.
5. García Sánchez, A.P. Estudio de la Climatización en el Hospital Pediátrico de Moa, 1998. Departamento de Mecánica.
6. Hernández Barallobre, D. Proyecto técnico para la climatización de la dirección del trabajo social y educacional en Moa pág. 95. 2005, Instituto Superior Minero Metalúrgico.
7. Lamothe Lamoru, Y. Cálculo térmico verificativo de la instalación de climatización del edificio de la empresa de ingeniería y proyecto de la Unión del Níquel. Pág 147, 2005. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
8. Maresma Frometa, O. Estudio de consumo eléctrico en distintas áreas de la Empresa de Servicios a la Unión de Nickel. E. Góngora Leyva. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2007. 60 h.
9. Mariño Urgellés, Y. Cálculo térmico de la instalación de climatización del cine Moa. Páginas. 69. 2005. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
10. Méndez, A. Cálculo de la climatización de la Sala de Video del ISMM. Proyecto de Curso. ISMM, 2006.
11. Pérez Pérez, Y. Evaluación del consumo energético por concepto de climatización en el edificio administrativo de la ECRIN, 2006. Trabajo de diploma. Departamento de Mecánica.
12. Polaino de los Santos. Lazara: Instalaciones de climatización, Roberto Fuente. Ciudad de la Habana, ISPJAE, 1987.



13. Ruiz Fernández, A. Cálculo térmico verificativo de la instalación de Climatización del Hospital Guillermo Luis Hernández Fernández Vaquero, 2004. Departamento de Mecánica.
14. Soriano Hijuelos, A. Cálculo de la carga térmica del local de los servidores de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba. Introducción a los conductos PERSYSTEM. 2002. Departamento de Mecánica.
15. Tamayo Guides, E. Evaluación de la Carga Térmica de Climatización en instalaciones de la Empresa de Servicios a la Unión del Níquel. E. Góngora Leyva. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2007. 65 h.
16. Torres Rodríguez, J.E. Estudio de la climatización del centro de proyectos de la Unión del Níquel, 1999. Departamento de Mecánica.
17. Valdespino Pacheco, I. Estudio de la climatización de los locales del Sistema de la Vivienda en Moa, 2004. Departamento de Mecánica.



## ANEXO 1 HOJA DE CÁLCULO EN EXCEL

### Habitación - 2

#### Estimación de la Carga Térmica de Climatización

| Condiciones de diseño:                | Interior | Exterior |
|---------------------------------------|----------|----------|
| Temperatura de bulbo seco. Tbs (°C)   | 24       | 32,5     |
| Temperatura de bulbo húmedo. Tbh (°C) | 18       | 25,5     |
| Humedad relativa. (%)                 | 55       | 57       |
| Humedad específica. (kga/kgas)        | 0,0102   | 0,0177   |
| Variación de temperatura diaria (°C)  | 10       |          |

Se usó el Software Carta Psicrometrica

| ÁREA ACRISTALADA (m <sup>2</sup> ) |                           | Pared Este  |      |          |                          |      |      |
|------------------------------------|---------------------------|-------------|------|----------|--------------------------|------|------|
| Cantidad                           | Ventana (m <sup>2</sup> ) | L           | A    | Cantidad | Puerta (m <sup>2</sup> ) | L    | A    |
| 1,00                               | 0,24                      | 0,60        | 0,40 | 1,00     | 0,00                     |      |      |
| 1,00                               | 0,00                      |             |      | 1,00     | 0,00                     |      |      |
| Total                              | 0,24                      |             |      |          | 0,00                     |      |      |
| ÁREA ACRISTALADA (m <sup>2</sup> ) |                           | Pared Oeste |      |          |                          |      |      |
| Cantidad                           | Ventana (m <sup>2</sup> ) | L           | A    | Cantidad | Puerta (m <sup>2</sup> ) | L    | A    |
|                                    | 0,00                      |             |      | 1        | 1,71                     | 1,90 | 0,90 |
|                                    | 0,00                      |             |      | 1        | 0,00                     |      |      |
| Total                              | 0,00                      |             |      |          | 1,71                     |      |      |
| ÁREA ACRISTALADA (m <sup>2</sup> ) |                           | Pared Norte |      |          |                          |      |      |
| Cantidad                           | Ventana (m <sup>2</sup> ) | L           | A    | Cantidad | Puerta (m <sup>2</sup> ) | L    | A    |
|                                    | 0,00                      |             |      | 0        | 0,00                     |      |      |
|                                    | 0,00                      |             |      |          | 0,00                     |      |      |
| Total                              | 0,00                      |             |      |          | 0,00                     |      |      |
| ÁREA ACRISTALADA (m <sup>2</sup> ) |                           | Pared Sur   |      |          |                          |      |      |
| Cantidad                           | Ventana (m <sup>2</sup> ) | L           | A    | Cantidad | Puerta (m <sup>2</sup> ) | L    | A    |
| 1                                  | 0,84                      | 1,20        | 0,70 | 0        | 0,00                     |      |      |
| 0                                  | 0,00                      |             |      | 0        | 0,00                     |      |      |
| Total                              | 0,84                      |             |      |          | 0,00                     |      |      |

| Dimensiones de Local (m) |      | Pared.                 | Cristal                | Factores de corrección<br>(Superficie acristalada) |        |
|--------------------------|------|------------------------|------------------------|----------------------------------------------------|--------|
| Alto                     | 2,30 | Área (m <sup>2</sup> ) | Área (m <sup>2</sup> ) |                                                    |        |
| E                        | 3,00 | 6,66                   | 0,24                   | $f_T = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3$                    |        |
| O                        | 3,00 | 5,19                   | 1,71                   | $f_1 =$                                            | 0,9    |
| N                        | 5,54 | 12,74                  | 0,00                   | $f_2 =$                                            | 1,17   |
| S                        | 5,54 | 11,90                  | 0,84                   | $f_3 =$                                            | 0,9    |
| Piso                     |      | 9,00                   |                        | $f_T =$                                            | 0,9477 |
| Techo                    |      | 9,00                   |                        |                                                    |        |



**Ganancia por radiación solar y conducción a través de cristales.**

| $Q_{SR} = I \cdot A \cdot fT$ |               |             | $Q_{COND} = K \cdot A \cdot \Delta T$ |                            |            |         |
|-------------------------------|---------------|-------------|---------------------------------------|----------------------------|------------|---------|
| Ventana                       | $Q_{SR}$      | $I (W/m^2)$ | $Q_{COND}$                            | $K (W/m^2 \cdot ^\circ C)$ | $\Delta T$ | Tabique |
| E                             | 0,00          | 0           | 12,65                                 | 6,20                       | 8,50       | 3,00    |
| O                             | 832,97        | 514         | 0,00                                  | 6,20                       |            | 3,00    |
| N                             | 0,00          | 0           | 0,00                                  | 6,20                       |            | 3,00    |
| S                             | 54,61         | 68,6        | 0,00                                  | 6,20                       |            | 3,00    |
| <b>Total</b>                  | <b>887,58</b> |             | <b>12,65</b>                          |                            |            |         |
| <b>QRT =</b>                  | <b>900,23</b> | <b>W</b>    |                                       |                            |            |         |

**Ganancia térmica por estructura a la sombra.**

| $Q_p = K \cdot A \cdot \Delta T$ | $K = (W/m^2 \cdot ^\circ C)$ |                     |            |         |
|----------------------------------|------------------------------|---------------------|------------|---------|
| Pared                            | $Q_p$                        | K                   | $\Delta T$ | Tabique |
| E                                | 102,46                       | 1,81                | 8,50       | 3,00    |
| Techo                            | 36,14                        | 0,73                | 5,50       | 3,00    |
| Piso                             | 79,20                        | 1,6                 | 5,50       | 3,00    |
| <b><math>Q_{PSomb.} =</math></b> | <b>217,80</b>                | <b>W (Sensible)</b> |            |         |

$$T_{eq} = a + t_{es} + b \cdot (R_s / R_m) \cdot (t_{em} - t_{es}) \text{ (} ^\circ C \text{)}$$

| Pared | a    | b    | $R_s / R_m$ | $t_{em}$ | $t_{es}$ |
|-------|------|------|-------------|----------|----------|
| O     | 0,30 | 0,50 | 1,09        | 22,30    | 7,80     |
| S     | 0,30 | 0,50 | 0,46        | 14,40    | 7,80     |

**Ganancia térmica por estructura soleada.**

$$Q_p = K \cdot A \cdot \Delta T_e \quad K = (W/m^2 \cdot ^\circ C)$$

| Pared                          | $Q_p$            | K                   | $\Delta T_e$ |
|--------------------------------|------------------|---------------------|--------------|
| O                              | 117,94           | 1,42                | 16,00        |
| S                              | 162,55           | 1,42                | 9,62         |
| <b><math>Q_{PSol} =</math></b> | <b>280,49</b>    | <b>W (Sensible)</b> |              |
| <b><math>Q_{TP} =</math></b>   | <b>498,29</b>    |                     |              |
| <b># ocupantes</b>             | <b># puertas</b> |                     |              |
| 1                              | 1                |                     |              |

**Ganancia por Infiltraciones.  $Q_{inf}$ . (kW)**

$$Q_{sinf} = 1,2 \cdot V_{inf} \cdot (T_e - T_i)$$

$$Q_{linf} = 2970 \cdot V_{inf} \cdot (w_e - w_i)$$

|                                |               |                   |                   |                  |
|--------------------------------|---------------|-------------------|-------------------|------------------|
| $V_{inf} =$                    | 0,0099        | $m^3/(s \cdot m)$ | lineal de rendija |                  |
| $V_{inf} =$                    | 0,0089        | $m^3/s$           |                   |                  |
| $Q_{sinf} =$                   | 0,0909        | kW                | =                 | 90,882 W         |
| $Q_{linf} =$                   | 0,1982        | kW                | =                 | 198,195 W        |
| <b><math>Q_{tinf} =</math></b> | <b>0,2891</b> | <b>kW</b>         | =                 | <b>289,077 W</b> |



**Ganancia por ventilación exterior. Qv. (kW)**

$$Q_{sv} = 1,2 \cdot V_v \cdot (T_e - T_i)$$

$$Q_{lv} = 2970 \cdot V_v \cdot (w_e - w_i)$$

|                         |                    |                       |   |                     |
|-------------------------|--------------------|-----------------------|---|---------------------|
| $V_v =$                 | 0,0017             | $m^3/(s \cdot ocup.)$ |   |                     |
| $V_v =$                 | 0,0017             | $m^3/s$               |   |                     |
| $Q_{sv} =$              | 0,01734            | kW                    | = | 17,34 W             |
| $Q_{lv} =$              | 0,037814974        | kW                    | = | 37,8149745 W        |
| <b>Q<sub>Tv</sub> =</b> | <b>0,055154974</b> | <b>kW</b>             | = | <b>55,1549745 W</b> |

| Ganancias por ocupantes.                      |              |          | Ganancias por iluminación. |                      |           |
|-----------------------------------------------|--------------|----------|----------------------------|----------------------|-----------|
| <b>Q<sub>socup</sub> = I<sub>cs</sub> · n</b> |              |          | <b># luminarias</b>        | <b>Potencia</b>      |           |
| <b>Q<sub>locup</sub> = I<sub>cl</sub> · n</b> |              |          | 4,00                       | 20,00                | 80        |
| I <sub>cs</sub> =                             | 70,76        | W/ocup.  |                            |                      |           |
| I <sub>cl</sub> =                             | 60,84        | W/ocup.  |                            |                      | <b>80</b> |
| Q <sub>socup</sub> =                          | 70,76        | W        |                            |                      |           |
| Q <sub>locup</sub> =                          | 60,84        | W        |                            |                      |           |
| <b>Q<sub>tocup</sub> =</b>                    | <b>131,6</b> | <b>W</b> | <b>Q<sub>silum</sub> =</b> | <b>1,25 · Nilum.</b> |           |
|                                               |              |          | <b>Q<sub>silum</sub> =</b> | <b>100</b>           | <b>W</b>  |

| Ganancias por equipos. Q <sub>eq</sub> = N <sub>eq</sub> . (Sensible) |          |                          |              |
|-----------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------|--------------|
| Equipos                                                               | Cantidad | Potencia (W)             | Total (W)    |
| TV                                                                    | 1        | 500                      | 500          |
| Refrigerador                                                          | 1        | 140                      | 140          |
|                                                                       |          | <b>Q<sub>Teq</sub> =</b> | <b>640 W</b> |

**Carga sensible sobre la Batería. Q<sub>SB</sub> = Q<sub>SL</sub> + Q<sub>SV</sub>**

|                         | W              | kW          |                   | W       | kW   |
|-------------------------|----------------|-------------|-------------------|---------|------|
| Q <sub>SL</sub> =       | 2300,16        | 2,30        | Q <sub>LL</sub> = | 259,03  | 0,26 |
| Q <sub>SV</sub> =       | 17,34          | 0,02        | Q <sub>LV</sub> = | 37,81   | 0,04 |
| <b>Q<sub>SB</sub> =</b> | <b>2317,50</b> | <b>2,32</b> | Q <sub>TI</sub> = | 2559,19 | 2,56 |

**Carga total sobre la Batería. Q<sub>TB</sub> = Q<sub>SL</sub> + Q<sub>LL</sub> + Q<sub>SV</sub> + Q<sub>LV</sub>**

|                         |                       |                                                                |             |
|-------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Q<sub>TB</sub> =</b> | <b>2614,35 W</b>      | <b>FCST = Q<sub>SB</sub>/Q<sub>TB</sub></b>                    |             |
| <b>Q<sub>TB</sub> =</b> | <b>2247,93 kcal/h</b> | <b>FCST =</b>                                                  | <b>0,89</b> |
| <b>Q<sub>TB</sub> =</b> | <b>0,74 TR</b>        | <b>FCSL = Q<sub>SL</sub>/(Q<sub>SL</sub> + Q<sub>LL</sub>)</b> |             |
| <b>Q<sub>TB</sub> =</b> | <b>8928,47 BTU</b>    |                                                                |             |

|                                         |             |                                                                                    |             |
|-----------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Factor de desvío. FD =</b>           | <b>0,20</b> | <b>FCSL =</b>                                                                      | <b>0,90</b> |
| Q <sub>sv'</sub> = Q <sub>SV</sub> · FD |             | FCSE = (Q <sub>SL</sub> + Q <sub>sv'</sub> )/(Q <sub>TI</sub> + Q <sub>Tv'</sub> ) |             |
| Q <sub>Tv'</sub> = Q <sub>Tv</sub> · FD |             | <b>FCSE =</b>                                                                      | <b>0,90</b> |

$$Q_{sv'} = 3,47 \text{ W}$$

$$Q_{Tv'} = 11,03 \text{ W}$$

$$t_{APR} = 13,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$V_{sl} = (Q_{SL} + Q_{sv'}) / (1,2 \cdot (t_l - t_{APR}) \cdot (1 - FD))$$

$$V_{sl} = 0,23 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_R = V_{SL} - V_V$$

$$V_R = 0,23 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t_M = ((V_R \cdot t_l) + (V_V \cdot t_e)) / V_{SL}$$

$$t_M = 24,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{SL} = t_{APR} + FD(t_M - t_{APR})$$

$$t_{SL} = 15,45 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



*Tesis en Opción al Título de Ingeniero Mecánico*

*Lisbet Argüelles Cobas*