



INSTITUTO SUPERIOR  
MINERO METALÚRGICO DE MOA  
Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ

Ingeniería Mecánica

Facultad de Metalurgia y Electromecánica

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

# *Trabajo de Diploma*

*En opción al Título de Ingeniero*

*Mecánico.*

*Título: Diagnóstico Energético de la Facultad de Metalurgia y  
Electromecánica del ISMM*

*Autor: Roberlandis Velázquez Sanamé*

*Tutor: Dr.C. Ever Góngora Leyva*

*Moa, Holguín*

2018



**DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

*Yo Roberlandis Velázquez Sanamé:*

*De conjunto con el tutor Dr. C. Ever Góngora Leyva, certificamos la autoridad sobre esta tesis en opción al título de Ingeniero Mecánico con título “Diagnostico Energético de la Facultad de Metalurgia y Electromecánica del ISMM”. Se autoriza al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez” a la utilización de esta tesis para fines docentes educativos y su publicación.*

---

*Roberlandis Velázquez Sanamé*

---

*Dr. C. Ever Góngora Leyva*



*Cuanto más alto coloque el hombre su meta, tanto más crecerá.*

***Johann Christoph Friedrich von Schiller***

*No importa la lentitud con que avances, siempre y cuando no te detengas.*

***Kung FuTse, Confucio***

*Cada indecisión trae consigo sus propios retrasos y se pierden días lamentando los días perdidos... Comienza a hacer todo aquello que puedes hacer o que te crees capaz de hacer, ya que la audacia entraña magia, poder y genialidad.*

***Johann Wolfgang von Goethe***



**AGRADECIMIENTOS**

*A mi familia y amigos por tanto apoyo y confianza en mí durante todos estos años de sacrificio...*

*Agradezco al tutor Dr. Ever Góngora Leyva, por brindarme toda su dedicación a la realización de esta tesis, así como al Dr. C. Tomás Fernández Columbié y a mis compañeros de universidad, que no menciono nombres por si se me queda alguno...*

*A todos: muchas gracias.*



**DEDICATORIA**

*Le dedico esta tesis a mi mamá, Maryanis Sanamé Domínguez, a mi hermano Ramón Velázquez Sanamé, a mi novia Leynis Ruíz Labranderas de Armas y en especial a mi hermana Marleidi Velázquez Sanamé que aunque no estés aquí siempre te recuerdo.*



**RESUMEN**

En este trabajo se propuso realizar un sistema de medidas que satisfaga el consumo de energía eléctrica por concepto de clima en la Facultad de Metalurgia y Electromecánica del ISMM, garantizando el menor costo posible y el mínimo consumo de energía. Se utilizó la metodología de cálculo propuesta por (Polaino *et al*, 1987) para la estimación de la carga térmica de climatización, de estos cálculos se definieron dos variantes donde la variante 1 presenta un consumo de 117 kW/h y la variante dos es de 90 kW/h para un ahorro de 27 kW/h. Se observa que los mayores equipos consumidores son las bombas y los motores pero estos no trabajan regularmente, por lo que los aires acondicionados ocupan el eslabón principal. Se realizaron mediciones de la potencia para ver cómo se comporta durante una semana. También se hizo un monitoreo de los equipos de iluminación durante diez días donde se puede apreciar que si estos equipos se dejan encendidos un promedio de 3 horas al día y en un periodo de 261 días al año genera un gasto de 645,84 kW/h anual o sea \$ 3171,08. El consumo de los equipos de climatización tiene un gasto de 33115,68 kW/h, que aplicando un mantenimiento o el cambio de estos equipos se tendría un ahorro de 9070,68 kW/h anual. Entre las principales medidas que se tomarían son precisamente el cambio de los aires acondicionados que no generan un buen confort de los locales así como la hermetización de estos. Como parte de todo este consumo hay un gasto general de 278057,52 kW/h y cumpliendo con las propuestas habrá un ahorro de 66092,52 kW/h anual que con el costo de 1 kW/h actualmente que es de \$4,91 serían \$324514,27 anual.



**ABSTRACT**

In this work it was proposed to make a system of measures that satisfy the consumption of electrical energy by concept of climate in the Faculty of Metallurgy and Electromechanics of the ISMM, guaranteeing the lowest possible cost and the minimum energy consumption. The calculation methodology proposed by (Polaino et al, 1987) was used to estimate the thermal load of air conditioning. From these calculations, two variants were defined, where variant 1 has a consumption of 117 kW/h and variant two is 90 kW/h for a saving of 27 kW/h. It is observed that the biggest consumers are pumps and motors but they do not work regularly, so the air conditioners occupy the main link. Power measurements were made to see how it behaves for a week. It was also monitored the lighting equipment for ten days where it can be seen that if these equipment are left on an average of 3 hours a day and in a period of 261 days a year generates an expense of 645,84 kW/h annual or \$ 3171,08. The consumption of the air conditioning equipment has an expense of 33115,68 kW/h, which by applying a maintenance or change of these equipment would have a savings of 9070.68 kW/h per year. Among the main measures that would be taken are precisely the change of air conditioners that do not generate good comfort of the premises as well as the sealing of these. As part of all this consumption there is a general expense of 278057.52 kW / h and complying with the proposals there will be a saving of 66092.52 kW/h per year that with the cost of 1 kW/h currently which is \$ 4,91 would be \$ 324514,27 th anniversary.



**ÍNDICE**

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO - METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.1    Introducción .....	5
1.2    Trabajos precedentes .....	5
1.3    Diagnóstico Energético.....	10
1.3.1    Aspectos a diagnosticar.....	10
1.4    Gestión Energética .....	11
1.4.1    Objetivos de la gestión energética.....	12
1.4.2    Indicadores Energéticos .....	12
1.5    Herramientas de trabajo .....	13
1.6    Herramientas básicas fundamentales que se utilizarán.....	13
1.7    Generalidades de los sistemas de climatización .....	14
1.7.1    Condiciones de diseño exterior.....	15
1.7.2    Factores que influyen en las condiciones de diseño exterior.....	15
1.7.3    Condiciones de diseño interior.....	16
1.7.4    Consideraciones de diseño .....	16
1.7.5    Estimación de la carga térmica.....	17
1.8    Variables que influyen en el consumo de energía .....	17
1.9    Conclusiones del Capítulo 1 .....	18
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN....	19
2.1    Introducción .....	19
2.2    Ubicación de la instalación donde se plantea la propuesta .....	19
2.3    Materiales y herramientas .....	20



2.4	Aspectos teóricos de las variables eléctricas .....	22
2.4.1	Corriente eléctrica.....	22
2.4.2	Tensión o voltaje.....	23
2.5	Descripción de las mediciones .....	23
2.6	Descripción de los equipos utilizados .....	23
2.7	Procedimiento de cálculo para la estimación de la carga térmica .....	24
2.7.1	Ganancia de calor por radiación solar a través de vidrios .....	24
2.7.2	Ganancia de calor a través de componentes estructurales .....	25
2.7.2.1	Diferencias equivalentes de temperaturas.....	26
2.7.3	Concentración de personas como base de diseño .....	27
2.7.3.1	Ganancia por ocupantes.....	27
2.7.4	Ganancias de calor por equipos instalados en el interior de los locales.....	28
2.7.4.1	Ganancia por iluminación.....	28
2.7.4.2	Ganancia por motores eléctrico.....	28
2.7.5	Ganancia de calor por infiltración y ventilación.....	29
2.7.5.1	Ganancia por infiltración.....	29
2.7.6	Ventilación y cargas térmicas .....	30
2.7.6.1	Ventilación exterior.....	30
2.8	Ciclo basico de aire acondicionado .....	31
2.8.1	Cálculo del Factor de Calor Sensible del Local (FCSL).....	31
2.8.2	Factor de Calor Sensible Total (FCST).....	32
2.8.3	Factor de Calor Sensible Efectivo (FCSE).....	32
2.8.4	Determinación del APR .....	32
2.8.5	Caudal de suministro al local.....	33



2.8.6	Carga total sobre la batería de enfriamiento.....	34
2.9	Determinación del consumo eléctrico por concepto de clima .....	34
2.10	Conclusiones del capítulo 2.....	35
CAPITULO 3. ....		36
3.1	Introducción .....	36
3.2	Evaluación del comportamiento de la potencia y del consumo de energía eléctrica en la FME.....	36
3.3	Determinación de la potencia instalada en la FME del ISMM.....	39
3.4	Análisis de la carga térmica.....	41
3.5	Consumo total de electricidad por concepto de climatización .....	43
3.6	Consumo por iluminarias .....	44
3.7	Principales problemas que afectan el sistema de alumbrado actual .....	45
3.8	Medidas a tomar para la reducción del consumo energético en la FME .....	46
3.9	Valoración económica .....	46
3.10	Impacto medioambiental.....	47
3.11	Conclusiones del capítulo 3.....	48
CONCLUSIONES GENERALES.....		49
RECOMENDACIONES .....		50
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....		51
Anexos .....		53



## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, el tema de la eficiencia energética ha tomado relevancia en el mundo entero, y especialmente en las grandes potencias mundiales. Al referirse a este tema se hace un enfoque a la menor cantidad de consumo de energía posible, para la mayor satisfacción de las necesidades. Cabe anotar, que se habla con tanto interés de este tema porque supone una mejora para el medio ambiente, y un ahorro monetario en lo que al pago de facturas de energía se refiere; aparte de contribuir a la mejora del bienestar de la comunidad en general.

La ciencia y los científicos desempeñan un importante papel en la búsqueda de esas vías para el desarrollo social, adoptar decisiones políticas inteligentes para que los pueblos desarrollen su creatividad, utilicen la ciencia y la tecnología moderna en función del desarrollo social. El futuro de la tecnología y la utilización racional son cuestiones complejas y controvertidas. La situación geográfica de Cuba, en una zona eminentemente tropical, con temperaturas que sobrepasan los 32 °C en el período cálido, y humedad relativa por encima del 60 %, propician características climáticas que requieren del uso de equipos de aire acondicionado para alcanzar condiciones de confort (Gómez, 2011).

El Ministerio de Educación Superior en Cuba lleva a cabo un proceso de reacondicionamiento de los laboratorios e introducción de nuevos equipamientos, para el eficaz desempeño del proceso docente educativo y una mayor calidad del egresado. Estos equipos y laboratorios exigen un ambiente climatizado que garanticen su correcto funcionamiento. La política a seguir en dicho desarrollo es obtener más resultados con el menor gasto posible de recursos y esto se logra si la explotación de las instalaciones es la más eficiente, lo que está estrechamente vinculado a los programas de mantenimiento, para al final obtener mejores resultados en calidad y economía.

En los momentos actuales, teniendo en cuenta la crisis del petróleo, Cuba ha tenido que hacer transformaciones para reducir al máximo los consumos de energía eléctrica. Siendo objetivo de la Revolución energética la sustitución de todos los equipos que no son energéticamente eficientes. Para llevar a cabo el Programa de Ahorro Nacional, es



necesario que cada entidad evalúe los consumos energéticos en cada área de trabajo y fundamentalmente en los centros universitarios, instituciones que tienen un alto consumo de energía eléctrica por concepto de climatización, iluminación, refrigeración, entre otros.

Las nuevas tecnologías en los proyectos de aire acondicionado para confort, apuntan como objetivo a la disminución del consumo energético y a la simplificación de las tareas de mantenimiento sobre la base del desarrollo de los sistemas inteligentes de automatización. El elevado costo que representa la energía es de vital importancia para el estudio de los criterios de diseño de las instalaciones, y su reducción implica actualmente una necesidad, especialmente la del aire acondicionado que constituye de por sí, el mayor consumidor de energía en los edificios.

Se toman medidas para elevar la eficiencia energética, apoyadas en planes de ahorro de energía ; pero no se cuenta con un sistema de gestión energética, que garantice que ese plan sea renovado cada vez que sea necesario, que involucre a todos, que eleve cada vez más la capacidad de los trabajadores y directivos para generar y alcanzar nuevas metas en este campo, que desarrolle nuevos hábitos de consumo en función de la eficiencia, que consolide los hábitos de control y autocontrol, y en general que integre las acciones a los servicios brindados.

### **Situación problemática**

Las universidades son instituciones de enseñanza superior que cumplen la función de otorgar grados académicos y títulos profesionales con métodos que influyan en ampliar el grado intelectual del graduado, así como su afinación hacia la investigación y creación de cultura científica. Con el fin de cumplir dicho objetivo, poseen laboratorios y oficinas en las cuales se encuentran equipos especializados y de tecnología avanzada con el fin de incrementar la habilidad y el conocimiento de los graduados; donde, dichos locales en su mayoría se encuentran climatizados.

Debido a esto el consumo de energía por concepto de clima se dispara significativamente con bajo rendimiento lo cual implica alto costo de energía eléctrica. En este sentido el Ministerio de Educación Superior ha realizado insuficientes acciones en el uso de medidas para el consumo eléctrico para reducir el consumo de los equipos



de clima como parte de la estrategia educacional para incentivar la realización de trabajos investigativos e innovadores.

**Problema:**

Se desconoce el consumo de energía actual de la Facultad de Metalurgia y electromecánica del ISMM y la incidencia de los equipos de climatización en ese consumo.

**Objeto de estudio:** sistemas de climatización en la Facultad de Metalurgia y Electromecánica del ISMM.

**Campo de acción:** Eficiencia energética.

**Hipótesis:** A través de la evaluación del sistema de climatización y de un sistema de medidas de ahorro energético de la Facultad de Metalurgia y Electromecánica del ISMM es posible seleccionar los equipos de aire acondicionado para la instalación y los parámetros adecuados para el aire de suministro al local, garantizando el menor costo posible y el mínimo consumo energético.

**Objetivo general:**

Realizar un sistema de medidas que satisfaga el consumo de energía eléctrica por concepto de clima en la Facultad de Metalurgia y Electromecánica del ISMM, garantizando el menor costo posible, el mínimo consumo y el menor impacto al medioambiente.

A partir del objetivo general de la investigación se definen los **objetivos específicos** siguientes:

1. Determinar el consumo de energía por concepto de climatización.
2. Determinar la carga térmica de climatización en la Facultad de Metalurgia y Electromecánica del ISMM.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos, se plantean las siguientes **tareas de trabajo:**

1. Realización del análisis bibliográfico que permita el establecimiento del estado del arte sobre la temática tratada.



2. Exposición del procedimiento de cálculo adecuado para la estimación de la carga térmica en los locales estudiados.
3. Estimación de la carga térmica total sobre la batería de enfriamiento en cada local analizado.
4. Evaluación del comportamiento de las principales magnitudes eléctricas en el punto de suministro de energía al área de la Facultad, para diferentes escalas de tiempo (horario, diario, mensual, anual).
5. Recopilación de información y datos.
6. Procesamiento de la información.
7. Valoración económica de la propuesta efectuada considerando el impacto ambiental asociado a la misma.



## **CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO - METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1 Introducción**

El consumo de energía eléctrica en el área del docente 2 del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa ha sido un tema estudiado en todos los años, debido a las deficiencias que posee la misma con respecto al ahorro de energía eléctrica. Como parte fundamental del consumo de energía se encuentran las instalaciones climatizadas donde es de gran importancia evaluar el comportamiento de la misma. Más consumo de energía repercute directamente en el gasto económico de nuestra empresa, sumado a la crisis económica, es necesario tomar medidas para que el docente sea más eficiente.

El presente capítulo tiene como **objetivo**, establecer los aspectos teóricos sobre la climatización, así como realizar el análisis y revisión bibliográfica con relación al estado actual del consumo de energía eléctrica en el ISMM y otras instituciones, profundizándose el área del docente 2. Además, se hará referencia a los trabajos desarrollados con el tema eficiencia energética, diagnóstico energético, indicadores y otros.

### **1.2 Trabajos precedentes**

Durante la investigación se consultaron varios trabajos y estudios relacionados con el tema de diagnóstico energético, evaluación de sistemas de climatización y estimación de la carga térmica. La revisión bibliográfica estuvo dirigida a la información relacionada con la parte teórica y metodológica de la temática tratada.

Para la realización del trabajo fue necesario la consulta de la bibliografía especializada en la estimación de la carga térmica de climatización, donde se destaca Polaino; et al. (1987), en la cual se resumen los términos, definiciones y las ecuaciones necesarias para la estimación de la carga térmica, también se muestran las tablas necesarias para la solución de dichas ecuaciones.



Según el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), en más del 50 % de estudios realizados en edificios, las condiciones del aire interior son afectadas en mayor proporción por una inadecuada ventilación. Por otra parte, la American Society of Heating, Refrigerating and AirConditioning Engineers (ASHRAE) ha desarrollado estándares, aplicables a espacios cerrados, que deben garantizar una situación de confort al 90 % de la población, (Calidad del aire interior en edificios de uso público Comunidad de Madrid).

Los Sistemas de Aire Acondicionado permiten crear un clima artificial en el interior de un edificio. De acuerdo a las necesidades, en ciertos momentos se deberá producir calor y en otros frío, para generar un ámbito de temperatura agradable y procurar el bienestar de todos sus ocupantes, (Calidad del aire interior en edificios de uso público Comunidad de Madrid).

El término aire acondicionado para el común de las personas lleva una connotación casi exclusiva de enfriar el aire para el confort humano en los climas cálidos o en el verano. Pero la realidad es que el aire acondicionado entendido en su acepción más amplia se aplica a todo proceso por medio del cual el aire atmosférico se adecúa para un uso particular. Como aplicaciones se tendrían el enfriamiento y desecación del aire en climas cálidos, la calefacción y humidificación del mismo para suministrar algún tipo de confort. Pero dentro de esta clasificación también se entiende algunos procesos tales como el control ambiental para preservación de materiales almacenados, fabricación de textiles y tejidos, industria de impresión y otras muchas aplicaciones. Hace parte del concepto de aire acondicionado la eliminación de agentes contaminantes del aire por medio de filtros, por nombrar algunos más, (Orozco 2010).

Este trabajo de Morales; et al. (2010), plantea que la calidad del ambiente interior depende en gran parte del correcto diseño, higiene, mantenimiento y funcionamiento de los sistemas de ventilación y climatización del edificio. La ventilación en los edificios puede ser natural o mecánica.

La eliminación de las partículas de polvo es fundamental para la salud. Conseguir un adecuado filtrado de aire es una labor básica de un equipo de aire acondicionado.



Además de la comodidad que disfrutamos con el aire acondicionado en un día cálido y húmedo de verano, actualmente muchos productos y servicios vitales en nuestra sociedad dependen del control del clima interno, como los alimentos, la ropa y la biotecnología para obtener químicos, plásticos y fertilizantes. Tomado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/CarlosGiovanniLoarcaMartinez>

Según Vilchez (2003), para el ahorro energético en instalaciones de climatización, la utilización de sistemas de control más eficaces son:

- La gestión de componentes del sistema, que es un sistema de control convencional sobre un bucle de distribución de agua de dos tubos que necesita un control de cambio de modo de operación, con un criterio que ha de definirse cuidadosamente.
- La gestión de enfriamiento gratuito por aire exterior y recuperación de calor, donde la utilización del enfriamiento gratuito por aire exterior debe ser en función de las condiciones climatológicas de la zona en que se ubica el edificio, de la radiación solar absorbida por la envolvente del mismo y de las cargas internas de ocupación, iluminación y las aportadas por otros consumidores energéticos.

En varios trabajos se realizan estudios de estimación de la carga térmica sobre disímiles locales de diferentes empresas, en los mismos se evalúa la carga térmica real, la ganancia de calor y el balance energético que se requiere vencer en los locales para lograr las condiciones de confort adecuadas. En ellos se usa el procedimiento de cálculo para los ciclos con enfriamiento y deshumectación, llevándose a cabo la selección, diseño y dimensionamiento de los conductos que garantizan una correcta distribución del aire dentro de los locales analizados (García, 1998; Torres, 1999; Soriano, 2002; Durán, 2004; Valdespino, 2004; Ruiz, 2004; Abella, 2005; Cabrera et al., 2005; Hernández, 2005; Lamothe, 2005; Méndez, 2006).

Partiendo de los estudios realizados se efectúa la selección del equipamiento necesario para los locales basándose en criterios técnicos y económicos que permiten establecer la variante más racional para la climatización que contribuya al ahorro en el consumo de



potencia de los equipos instalados. En estos trabajos se demuestra que las principales deficiencias existentes en el confort se deben a la mala distribución del aire, debido a que la capacidad instalada es insuficiente para satisfacer las demandas

Por su parte, Martes (2008), realizó un trabajo en el área del docente del ISMM donde se basó en el análisis detallado de la carga del Docente, llevándose a cabo el levantamiento de carga del edificio 1 y 2 para conocer las potencias instaladas por áreas siendo estos los de mayor consumo en el ISMM. Se determinó cómo se comportaban las cargas en diferentes escalas, conjunto a la media del consumo ya sea horaria, diaria, mensual y anual; así como el comportamiento de las potencias medias por hora para cada uno de los edificios del docente de la institución. Se realizó el diseño del monolineal del docente, partiendo del análisis del estado actual de la carga del bloque docente[2]. Pero en el caso de investigación no se completó el levantamiento de carga de los edificios (3 y 4) en área del docente.

Morales (2009), en este trabajo se hace referencia al análisis del estado actual de la gestión energética en la batería, se establece la estructura de consumo de los portadores energéticos y a través de las herramientas se estudia el comportamiento de estos indicadores. Se identifican las áreas y equipos de mayor consumo de portadores energéticos con el fin de establecer los puestos claves. Se determinan las deficiencias que afectan el proceso productivo y se proponen las medidas de conservación y ahorro de energía en el uso de los portadores energéticos.

Jaramillo (2017), plantea que cada proyecto demanda un esfuerzo único para lograr un objetivo específico mediante la ejecución de actividades y el uso eficiente de recursos en los procesos operativos. La planificación de un proyecto ayuda a tener un control y administración del mismo, permite ordenar actividades, asignar los recursos correspondientes, generar para cada actividad una programación de duración de inicio y fin, en caso de tener retrasos en lo programado es posible dar respuesta con acciones correctivas.

La Eficiencia Energética en Cuba tiene la “Revolución Energética” iniciada a finales del año 2005 y desarrollada con toda fuerza a partir del 2006, lo que conlleva la puesta en



práctica de nuevas concepciones para el desarrollo de un sistema electroenergético nacional más eficiente y seguro, y un uso racional y eficiente de la energía en todos los sectores de la sociedad cubana, haciendo del ahorro de energía el sustento fundamental del desarrollo del país. El ahorro total alcanzado con los programas de la Revolución Energética entre el 2006 y el 2007 ascienden a 2795 GWh, equivalentes a 961 419 toneladas de combustible convencional, (Armas 2008).

Al incrementarse los costos de la energía, a medida que el suministro y el uso de la misma requieren de esfuerzo de planificación a medio plazo, se comprende la necesidad de establecer mecanismos de gestión energética, es decir, es preciso conocer los consumos y usos de las distintas fuentes energéticas.

Lo más importante para lograr la eficiencia energética, no es solo tener un plan de ahorro, sino que exista un sistema de gestión energética que garantice que ese plan sea renovado siempre que sea necesario, que desarrolle nuevos hábitos de producción y consumo en función de la eficiencia energética.

En este trabajo el autor elabora un procedimiento para el análisis y diseño de sistemas de iluminación en la Empresa Pesquera Industrial de Cienfuegos, a partir de la integración de criterios técnicos, económicos y energéticos, además de proponer el diseño de los sistemas de iluminación de la entidad donde radica. En este estudio no se tuvo en cuenta el comportamiento de las magnitudes eléctrica presente en la entidad, (García 2008)

En general los trabajos que hacen referencia al consumo de energía eléctrica en el ISMM, todos desarrollaron excelentes conocimientos acerca del tema estudiado, además de resolver una serie de problemas que se presentaban en el centro. Los trabajos mencionados llegaron a la solución de tomar medidas para mejorar el ahorro de energía en estas áreas debido a que son una de las más consumidoras del instituto. Por otra parte, los estudios hechos en las empresas e instituciones también abarcaron una serie de conocimientos, manteniendo la misma situación de tomar medidas que conlleven al ahorro de la energía eléctrica.

### **1.3 Diagnóstico Energético**

Definición: Es la aplicación de un conjunto de técnicas que permite determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía. Consiste en el estudio de todas las formas y fuentes de energía, por medio de un análisis crítico en una instalación consumidora de energía, para así, establecer el punto de partida para la implementación y control de un Programa de Ahorro de Energía, ya que se determina dónde y cómo es utilizada la misma, además de especificar cuanta es desperdiciada.

#### **Objetivos de un diagnóstico energético**

1. Establecer metas de ahorro de energía.
2. Diseñar y aplicar un sistema integral para el ahorro de energía.
3. Evaluar técnica y económicamente las medidas de conservación y ahorro de energía.
4. Disminuir el consumo de energía, sin afectar los niveles de producción.

#### **Actividades**

Para determinar la eficiencia con la que es utilizada la energía, se requiere realizar diversas actividades, entre las que se pueden mencionar:

1. Medir los distintos flujos energéticos.
2. Registrar las condiciones de operación de equipos, instalaciones y procesos.
3. Efectuar balances de materia y energía.
4. Calcular índices energéticos o de productividad, energéticos reales, y actualizar los de diseño.
5. Determinar potenciales de ahorro.

#### **1.3.1 Aspectos a diagnosticar**

##### **Operativo**

1. Inventario de equipo consumidor de energía.
2. Inventario de equipo generador de energía.
3. Detección y evaluación de fugas y desperdicios.
4. Análisis del tipo y frecuencia del mantenimiento.
5. Inventario de instrumentación.

6. Posibilidades de sustitución de equipos.

**Económico**

1. Precios actuales y posibles cambios de los precios de los energéticos.
2. Costos energéticos y su impacto en costos totales.
3. Estimación económica de desperdicios.
4. Consumos específicos de energía.
5. Elasticidad producto del consumo de energía.
6. Evaluación económica de medidas de ahorro.
7. Relación beneficio-costos de medidas para eliminar desperdicios.
8. Precio de energía eléctrica comprada (\$/Kwh.).

**Energéticos**

1. Formas y fuentes de energía utilizadas.
2. Posibilidades de sustitución de energéticos.
3. Volúmenes consumidos.
4. Estructura del consumo.
5. Balance en materia y energía.
6. Diagramas unifilares.
7. Posibilidad de autogeneración y cogeneración.

**1.4 Gestión Energética**

Es un conjunto de acciones técnico-organizativas para administrar eficientemente la energía, que, aplicadas de forma continua, con la filosofía de gestión total de la calidad, permiten establecer nuevos hábitos de dirección, control y evaluación del uso de la energía, dirigidos al aprovechamiento de todas las oportunidades de conservación de la energía y de reducción de sus costos.

La gestión energética va encaminada a lograr un uso más racional de la energía, que permita reducir el consumo de la misma sin perjuicios del confort, productividad, calidad de los servicios y sin deteriorar el nivel de vida. Puede considerarse como el mejor de los caminos para conseguir los objetivos de ahorro de energía ya sea desde el punto de vista de la propia empresa como a nivel nacional.



En la implementación de una Gestión Energética suelen presentarse una serie de dificultades que pueden ser en general, la insuficiente especialización del personal técnico y la falta de conciencia de ahorro. Es de vital importancia y necesario que técnicos y operarios desarrollen un nivel de pertenencia del trabajo a realizar y aptitudes encaminadas a la búsqueda y puesta en práctica de nuevas soluciones, así como un buen nivel de conocimiento de estos para una satisfactoria asimilación de la tecnología. (SÁNCHEZ TORRES, 2003).

#### **1.4.1 Objetivos de la gestión energética**

El objetivo fundamental de la gestión energética es sacar el mayor rendimiento posible a las cantidades de energía que necesita. Dentro de esta idea el sistema de gestión habrá de responder a determinadas funciones, que tendrán que implementarse en relación con los servicios de la empresa. En un sentido más amplio puede ser la comprensión de la elección de las fuentes de energía, las negociaciones con los suministradores y el control de los suministros, almacenamiento y distribución. (CAMPOS AVELLA, 1998).

#### **1.4.2 Indicadores Energéticos**

**Índice de Consumo:** unidades de producto terminado por unidad de energía consumida. Este valor de índice de consumo puede ser calculado por tipo de producto o como índice de consumo general en el caso que el tipo de producción lo permita (si son varios productos diferentes, pero de un mismo material, el índice puede reducirse a toneladas de ese material etc.). Si se consumen diferentes tipos de energía para un mismo producto debe determinarse el consumo equivalente haciendo compatibles los diferentes tipos. Este índice permite su comparación con las normas de consumo establecidas para la entidad. El consumo equivalente de energía asociada a los productos o servicios realizados por la entidad 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.



### 1.5 Herramientas de trabajo

Las herramientas de trabajo son aquellas que nos 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.

### 1.6 Herramientas básicas fundamentales que se utilizarán

**Gráficos de cargas:** Son aquellos gráficos que permiten la representación del consumo de las cargas en el tiempo. Pueden ser: individuales o en grupo, continuos o escalonados, diarios, mensuales o anuales.

**Estudio de cargas:** Un estudio de cargas es la determinación de la tensión, intensidad, potencia y factor de potencia o potencia reactiva en varios puntos de una red eléctrica, en condiciones normales de funcionamiento.

Las mediciones eléctricas son muy importantes ya que a través de ella se puede seguir el comportamiento del consumo de energía eléctrica. Su estudio posee una vital importancia para el ahorro a través del ajuste, del control y de la optimización de los equipos y aparatos que intervienen en los procesos productivos, para lo cual se requiere medir potencia o energía. La medición de las magnitudes antes mencionadas se realiza en

forma directa o indirecta, y para su ejecución se emplean diversos instrumentos y esquemas que dependen de las condiciones de la medición.

Todas estas herramientas a utilizar en la investigación permiten conocer el comportamiento del estado de los indicadores energéticos de la entidad, donde el índice de consumo específico de energía es el parámetro principal.

### **1.7 Generalidades de los sistemas de climatización**

Los sistemas de climatización lo constituyen equipos o máquinas que transportan la energía en forma de calor de un medio a otro, los cuales modifican la temperatura en virtud del efecto deseado y en correspondencia de la zona a emplear para conseguir las condiciones de confort deseadas, estos sistemas poseen una amplia clasificación.

Los sistemas de acondicionamiento de aire se clasifican de acuerdo a:

- **Su uso**

*Para el confort:* tiene como objetivo crear condiciones ambientales que propicien bienestar y óptimo rendimiento.

- **Su forma de instalación**

*Sistemas centralizados:* todos sus componentes están ubicados en una sola máquina donde se lleva a cabo el proceso de acondicionamiento de aire.

*Sistemas semi-centralizados:* consiste en que el montaje de los equipos es individual en cada local.

- **En procesos industriales**

Su función es propiciar las condiciones ambientales óptimas de modo que se satisfagan las necesidades en la producción industrial.

- **En dependencia de la estación del año**

Equipos de enfriamiento (en verano).

Equipos de calefacción (en invierno).

Equipos de enfriamiento y calefacción (todo el año).

### **1.7.1 Condiciones de diseño exterior**

Se denominan a los valores de temperatura a bulbo seco y húmedo, humedad relativa, variación diurna de temperatura, velocidad y dirección de los vientos predominantes. Todos estos valores estarán determinados por las condiciones climatológicas del lugar donde está situado el local a climatizar.

### **1.7.2 Factores que influyen en las condiciones de diseño exterior**

En una localidad dada existen variaciones de temperatura, humedad, que ocurren a través de la superficie de la tierra, los cuales se deben a diferentes factores:

- *Inclinación del eje de rotación de la tierra respecto a su plano de giro con relación al sol:* este determina la cantidad de energía solar recibida en un lugar de la superficie terrestre y su variación en el transcurso del año, así como la incidencia de la latitud geográfica, lo cual determina la cuantía de energía solar absorbida por la tierra, en que cantidad es almacenada y la rapidez con que es rechazada a la atmósfera.
- *La tierra:* es un agente de absorción de rayos solares, lo que provoca un ascenso de su temperatura superficial. El calor absorbido por la tierra será almacenado una parte en las capas superficiales de la corteza terrestre, el resto será transmitida por convección a la atmósfera y por radiación nuevamente al espacio.
- *El agua:* su comportamiento es diferente al de la tierra ante los efectos de los rayos solares, pues resulta parcialmente transparente a la radiación, lo que provoca que la energía se acumule en las profundidades del mar y por ende la temperatura de la tierra no se eleva mucho durante el día, pero en la noche el calor almacenado por la tierra es cedido a la atmósfera más rápidamente que el mar, ya que el mismo almacenó menor cantidad de energía en las capas superiores de la corteza terrestre que en las profundidades del mar y por lo tanto la temperatura de la superficie de la tierra es menor que la de la superficie del mar durante la noche.
- *Calentamiento desigual entre la tierra y el mar:* lo anterior provoca el movimiento del aire y como resultado de esto en la atmósfera ocurren expansiones y compresiones

adiabáticas con el consecuente aumento y disminución de la temperatura del aire.

- *La formación del rocío:* esta determina las variaciones diarias de las condiciones atmosféricas en una zona dada, donde como consecuencia del rechazo de calor almacenado en el día, en la noche ocurre un continuo descenso de las temperaturas de la tierra y el aire en contacto con ella debido a la transferencia convectiva que se establece entre ellos.

Todos estos factores influyen en el balance energético realizado entre la tierra, el espacio y las diferentes zonas de la propia corteza terrestre debido al desigual calentamiento de los mismos en el tiempo, provocando a su vez corrientes de aire.

### **1.7.3 Condiciones de diseño interior**

Es el conjunto de valores de temperatura a bulbo seco y húmedo, humedad, velocidad y pureza del aire, los cuales deberán mantenerse en el interior del local y estarán en función del uso que se desee dar al espacio acondicionado independientemente del uso al que esté destinado.

El acondicionamiento de aire debe mantener las condiciones atmosféricas en el interior del local independientemente de las variaciones de las condiciones del tiempo exterior.

### **1.7.4 Consideraciones de diseño**

Para determinar la carga térmica de un local se necesitan las informaciones de diseño de la edificación y climáticas de las condiciones del lugar donde se encuentra situado.

Para ello se deben tener presente los siguientes aspectos:

- **Características de la edificación:** consiste en determinar la ubicación geográfica de la misma y su orientación a partir de los planos, teniendo en cuenta las especificaciones de tipo constructivo, materiales de construcción utilizados, tamaño de sus componentes, colores de fuentes externas y su forma.
- **Condiciones de diseño exterior:** se debe realizar la verificación de las condiciones climáticas apropiadas, seleccionando las condiciones de diseño exterior según los

aspectos relacionados con anterioridad.

- Condiciones de diseño interior: se deben seleccionar de forma tal que permitan crear y mantener las condiciones atmosféricas en el interior del local.

Además se debe tener en cuenta la cantidad de ocupantes y estadia, cantidad de luminarias y su tipo, equipos internos instalados y posibles a instalar, actividad o procesos que se desarrollan dentro de cada local, que contribuyen a aumentar la carga interna, estudio en días o en meses de las temperaturas más altas e incidencia solar sobre las estructuras con vista a realizar el cálculo de las cargas térmicas, diseño apropiado del tamaño de los sistemas de aire acondicionado central, los cuales requieren de más cálculos complementarios.

El tipo de sistema de acondicionamiento de aire, energía de ventilación, ubicación del ventilador, pérdidas y ganancias de calor de los conductos, filtración de los mismos, sistemas de iluminación por extracción de calor y el tipo de sistemas de retorno de aire, afectan la carga térmica del sistema y el tamaño de los componentes.

#### **1.7.5 Estimación de la carga térmica**

Para lograr mantener los parámetros de diseño del aire en el interior de un local, se hace necesario la extracción del calor generado por las diferentes fuentes térmicas del local mediante el suministro o recirculación de un caudal de aire, que tienen que ser previamente tratado bajo condiciones específicas de forma que absorba las ganancias de calor sensible y latente del espacio climatizado.

Las ganancias de un local se pueden clasificar en: externas e internas estas pueden ocasionar ganancias de calor sensible y/o latente.

#### **1.8 Variables que influyen en el consumo de energía**

Es importante conocer las variables que influyen en el consumo de energía eléctrica para de esa forma tratar de minimizar el impacto de ellas sobre el consumo total. En los países del Caribe, donde las temperaturas exteriores son elevadas y los niveles de

confort son los mismos para todas las personas, unas de las variables de mayor incidencia en el consumo es el **clima** que relaciona una serie de variables que intervienen en el consumo de energía eléctrica tales como: temperatura, velocidad del viento, estaciones del año entre otras. En los países del trópico en ocasiones se puede consumir en una misma habitación hasta 10 veces más energía en verano, comparándolo con el consumo de invierno. Ésta está muy relacionada en el caso de Cuba con la época del año donde los meses de julio y agosto son los de mayor calor en el país, y meses como mayo-junio, septiembre-octubre, las temperaturas promedio son inferiores debido al efecto del incremento de la lluvia y con ello ocurre un refrescamiento de las temperaturas exteriores.

### **1.9 Conclusiones del Capítulo 1**

- Con el análisis bibliográfico se demostró que existen trabajos relacionados con el diagnóstico energético, así como el cálculo de cargas térmicas para la reducción de consumo de energía.
- La situación mundial de la energía exige la aplicación de sistemas de gestión de energía más eficientes.
- A pesar de que existan trabajos realizados en el objeto de estudio de esta investigación, la situación actual de las instalaciones exige una nueva investigación.

**CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN****2.1 Introducción**

Cuando hablamos de consumo energético nos referimos a equipos que no están trabajando eficientemente, la realización de mediciones eléctricas diariamente, así como el control de estos equipos y con la evaluación energética de los locales climatizados. Tiene vital importancia el procedimiento de cálculo empleado, por cuanto la literatura especializada recoge varios métodos y se debe seleccionar el más adecuado en cada caso en correspondencia con las características del local, en tal sentido el **objetivo** del presente capítulo es:

Establecer el procedimiento de cálculo adecuado para la evaluación de los locales mediante la conjugación de diferentes aspectos teóricos metodológicos propuestos en investigaciones anteriores, así como la realización de mediciones eléctricas en general.

**2.2 Ubicación de la instalación donde se plantea la propuesta**

Debido a estudios realizados a quedado demostrado que el mayor consumo energético en una edificación en momentos actuales se debe a los equipos de clima con valores cercanos al 30 % del consumo total de la instalación. Partiendo de aquí se escogió como tema de estudio los centros universitarios debido a la alta demanda que estos presentan enfocándose principalmente en los sistemas de climatización; las instalaciones escogidas para el estudio son:

- Docente 2 del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”

El Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez” se encuentra ubicado en el municipio de Moa, Holguín, presenta edificaciones del tipo Girón y sus coordenadas geográficas son: 20,66° latitud Norte, 74,95° longitud Oeste. Según (Retirado, 2012), dicho municipio presenta alto índice de precipitaciones con valores de humedad relativa media anual entre un 70 y 90 %. La temperatura media anual es de 27 °C con variaciones entre 30 y 32 °C en verano y 14 y 26 °C en invierno.

### 2.3 Materiales y herramientas

Durante el desarrollo de la investigación se realizaron las mediciones de los parámetros necesarios para la evaluación de la carga térmica en los locales analizados. Los parámetros medidos, así como los instrumentos de medición y sus respectivas características técnicas se exponen en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Parámetros medidos durante el desarrollo de la investigación

Parámetros	Instrumentos	Características técnicas
Dimensiones de: locales, puertas y ventanas	Cinta métrica	Rango de medición (0 a 5 m)
Intensidad de corriente Tensión	Juncómetro	Rango de medición (0,1 a 1000 A) Rango de Medición (0,1 a 600 V)
Orientación de los locales	Brújula	----

Entre las herramientas utilizadas se encuentran:

**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.

En otras palabras, del total de problemas que causan la baja 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, combustibles) 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.



**El Histograma:** Es una instantánea de la capacidad del proceso y revela tres características del mismo:

- Centrado: media de los valores obtenidos.
- Distribución: dispersión de las medidas.
- Forma: tipo de distribución.

El Histograma que se presenta más a menudo es aquel que tiene un valor central donde se agrupan el mayor número de observaciones y con frecuencias decrecientes a ambos lados del mismo. Este diagrama es definido como “distribución normal”. La distribución normal es aquella que descubre la variabilidad de un hecho cuando interviene solamente la aleatoriedad.

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

**El diagrama causa y efecto:** Se conoce también con el nombre de Ishikawa por ser quien lo diseñó en 1953, o diagrama de espina de pescado. Su valor principal es que representa de forma ordenada todos los factores causales que pueden originar un efecto específico.

El principio del diagrama consiste en establecer que el origen o causa del efecto puede encontrarse en: los materiales, el método, el equipo o la mano de obra. Si algún elemento fundamental no puede clasificarse dentro de estas cuatro categorías, deberá añadirse por separado. A su vez cada uno de estos factores es afectado por otros. Por ejemplo, el factor mano de obra es afectado por: número de trabajadores, capacitación, supervisión, condiciones ambientales. También cada uno de ellos está influido por otros y algunos de estos por otros más. El diagrama puede llegar a ser muy complejo, lo que

significa una mayor comprensión del problema por las personas que participen en su elaboración.

**Diagrama de dispersión:** Este diagrama permite observar la relación que existe entre una supuesta causa y un efecto. Su uso permite comprobar o verificar hipótesis que pudieran haberse desprendido del análisis del diagrama Ishikawa. Tomando el ejemplo anterior sobre el consumo de combustible en la instalación, se considera la hipótesis de que el porcentaje de ocupación de sus habitaciones es un factor que influye directamente en los niveles de consumo.

La observación del diagrama de dispersión indica, no obstante, que existe una tendencia a que los valores altos de nivel ocupacional están asociados a los valores altos de consumo. Se observa además que la nube de puntos de este ejemplo describe una línea recta por lo que puede existir una relación de tipo lineal entre ambas variables con una pendiente pronunciada.

## **2.4 Aspectos teóricos de las variables eléctricas**

### **2.4.1 Corriente eléctrica**

La corriente eléctrica se caracteriza por el movimiento ordenado de partículas cargadas (electrones) a través de un conductor en función del tiempo. Denominándose intensidad de la corriente eléctrica a la magnitud que define la velocidad con la que se mueven esas partículas. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en C/s (culombios sobre segundo), unidad que se denomina amperio.

La ley de Ohm plantea que el valor de la intensidad de la corriente va a ser directamente proporcional a la diferencia de potencial e inversamente proporcional al valor de la resistencia, como se muestra en la ecuación.

$$I = \frac{U}{R} \quad (2.1)$$

### **2.4.2 Tensión o voltaje**

La tensión eléctrica o diferencia de potencial (en algunos países también se denomina voltaje) es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. También se puede definir como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas.

$$U = I \cdot R \quad (2.2)$$

### **2.5 Descripción de las mediciones**

Para la realización de esta investigación se realizaron mediciones en el panel eléctrico. Las mediciones se realizaron de la siguiente manera: 12 mediciones diarias comprendidas en los horarios de 8:00 AM a 8:00 PM a lo largo de una semana y en intervalos de una hora y en el caso del miércoles se realizaron también, pero en este caso durante todo el día cada 15 minutos. Se establece este horario teniendo en cuenta que, siendo una instalación docente, fuera de este rango de tiempo el consumo es mínimo y se mantiene estable. En dichas mediciones se tomaron los siguientes datos en cada fase: voltaje (V), corriente (I), potencia activa (P), potencia reactiva (Q), potencia aparente (S) y el factor de potencia (fp). El instrumento utilizado fue un medidor de potencia UNI-T UT233.

### **2.6 Descripción de los equipos utilizados**

**Amperímetro de gancho:** El equipo utilizado en esta investigación fue un medidor de potencia UNI-T UT233 mejor conocido por Juncómetro. El mismo fue empleado para realizar mediciones puntuales monofásicas en cada fase. El modelo UNI-T UT232 es una pinza o tenaza medidora de tres fases digitales, y de mano. El mismo puede medir el voltaje, la corriente, la potencia activa, la potencia aparente, la potencia reactiva, el factor de potencia, el ángulo de fase, la frecuencia, la energía activa, entre otras.

**Programa Excel:** es una aplicación de hojas de cálculo que forma parte de la suite de oficina Microsoft Office. Es una aplicación utilizada en tareas financieras y contables,

con fórmulas, gráficos y un lenguaje de programación. Excel permite a los usuarios elaborar tablas y formatos que incluyan cálculos matemáticos mediante fórmulas; las cuales pueden usar “operadores matemáticos” como son: + (suma), - (resta), \* (multiplicación), / (división) y ^ (potenciación); además de poder utilizar elementos denominados “funciones” (especie de fórmulas, pre-configuradas) como por ejemplo: Suma, Promedio, Buscar, etc.

## **2.7 Procedimiento de cálculo para la estimación de la carga térmica**

Entre los aspectos primarios a tener en cuenta al evaluar un local para la climatización es la 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 (carga de diseño) y las condiciones de diseño (interiores y exteriores).

**Condiciones de diseño interior:** se establecen con el objetivo de garantizar el confort humano: la temperatura del bulbo seco a 24° C y humedad relativa del 55 %.

**Condiciones de diseño exterior:** se tomaron según las condiciones meteorológicas de lugar donde están ubicadas las instalaciones, predefinidas en el acápite anterior.

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

Para determinar las ganancias por insolaciones a través del vidrio (Ecuación 2.3) es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- a) La niebla contaminación atmosférica
- b) El tipo de marco de ventana
- c) La altura sobre el nivel del mar
- d) La variación del punto de rocío
- e) El hemisferio terrestre

$$Q_{RS} = I_T \cdot A \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \quad (2.3)$$

**Donde:**

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

- $I_T$ : Valor de la intensidad de la radiación solar total ( $W/m^2$ ).
- $A$ : Área soleada de la ventana ( $m^2$ ).
- $f_{\#}$ : Factores de corrección.

### 2.7.2 Ganancia de calor a través de componentes estructurales

La ley de Fourier de la conducción de calor (Ecuación 2.4) 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.

$$Q_a = k \cdot A \cdot (t_e - t_i) \quad (2.4)$$

**Donde:**

- $Q_a$ : Flujo de calor (kW).
- $k$ : Coeficiente global de transferencia de calor ( $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$ ).
- $A$ : Área ( $m^2$ ).
- $t_e$ : Temperatura del aire exterior ( $^\circ C$ ).
- $t_i$ : 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 la construcción (Polaino; *et al.*, 1987).

El valor del coeficiente global de transferencia de calor (K) se calcula por la ecuación 2.5:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_E} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_L}} \quad (2.5)$$

**Donde:**

- $\alpha_e$ : Coeficiente de película del aire exterior ( $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$ ).
- $\alpha_L$ : Coeficiente de película del aire interior ( $W/(m^2 \text{ } ^\circ C)$ ).

- $\delta_i$ : Espesor de la estructura (m).
- $\lambda_i$ : Conductividad térmica del material de la estructura (W/(m<sup>2</sup> °C)).

### 2.7.2.1 Diferencias equivalentes de temperaturas

No es fácil determinar las ganancias de calor a través de una estructura soleada. Un método a emplear es el de valerse de la diferencia de temperatura ( $\Delta t_e$  en °C), su valor es tal que evalúa el flujo de calor total por efecto de la radiación solar y la diferencia entre las temperaturas del aire exterior e interior (Ecuación 2.6), al ser sustituido en la expresión 2.4 se obtiene:

$$Q_a = k \cdot A \cdot \Delta t_e \quad (2.6)$$

El valor de  $\Delta t_e$  depende de:

- a) La diferencia de temperatura del aire exterior e interior.
- b) Hora solar.
- c) Latitud.
- d) Orientación de la pared.
- e) Tipo de construcción de la estructura.

Como estos datos están calculados para condiciones específicas, es necesario hacer las correcciones indicadas con la ecuación 2.7 (Polaino; *et al.*, 1987; tablas 3.9 - 3.12):

$$\Delta t_e = a + \Delta t_{es} + b \cdot \frac{R_s}{R_m} \cdot (\Delta t_{em} - \Delta t_{es}) \quad (2.7)$$

**Donde:**

- $\Delta t_e$ : Diferencia equivalente corregida
- $a$ : Corrección tomada de la tabla 3.11. Relación entre la temperatura exterior a las 15 horas para el mes considerado, menos la temperatura interior ( $t_E - t_L$ ), y variación de la temperatura seca exterior en 24 horas
- $\Delta t_{es}$ : Diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada para estructuras en la sombra

- $\Delta t_{em}$ : Diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada para las estructuras soleadas
- $b$ : Coeficiente que toma en cuenta el color de la cara exterior de la pared
- $R_S$ : Máxima insolación para el mes y latitud supuesta a través de la superficie acristalada
- $R_M$ : Máxima insolación para el mes de Julio 40° latitud norte a través de la superficie acristalada de igual orientación a la estructura considerada
- $R_S/R_M$ : Tabla 3.12 (Polaino; *et al.*, 1987)

### **2.7.3 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 período de la máxima carga de enfriamiento de diseño (Ecuaciones 2.8 y 2.9). La cantidad de calor debida a las personas, debe estar de acuerdo a la actividad desarrollada por éstas (Manual de aire acondicionado, 1972).

#### **2.7.3.1 Ganancia por ocupantes**

$$Q_{s.ocup} = n \cdot I_{CS} \quad (2.8)$$

$$Q_{s.ocup} = n \cdot I_{CL} \quad (2.9)$$

**Donde:**

- $Q_{S.OCP.}$  y  $Q_{L.OCP.}$  : Ganancias térmicas sensible y latente (kW)
- $n$ : Número de ocupantes
- $I_{CS}$ : Índice de carga sensible (W/h ocup.)
- $I_{CL}$ : Índice de carga latente (W/h ocup.)

### **2.7.4 Ganancias de calor por equipos instalados en el interior de los locales**

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.

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 (Manual de aire acondicionado, 1972).

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, representa un 25 % de la energía absorbida por la lámpara (Ecuación 2.10).

#### **2.7.4.1 Ganancia por iluminación**

Es la ganancia de calor por las luminarias instaladas en los locales.

$$Q_{s.ilum} = 1,25 \cdot N_{ilum} \quad (2.10)$$

**Donde:**

- $N_{ILUM}$ : Potencia de iluminación instalada (W).

#### **2.7.4.2 Ganancia por motores eléctricos**

En general los motores eléctricos aportan ganancia sensible que se calcula por la ecuación 2.11:

$$Q_{SE} = N_m \quad (2.11)$$

**Donde:**

- $Q_{SE}$ : Carga térmica sensible de equipos (kW).
- $N_m$ : Potencia de los equipos (kW).

En los locales estudiados esta ganancia se desprecia porque solo existen los motores de los ventiladores presentes en las computadoras y estos son de bajo consumo de potencia.

### **2.7.5 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 del mismo 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 del equipo y en condiciones promedio, estimar adecuadamente el consumo de energía promedio.

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 del aire ínterzonal, los cuales incluyen patrones de circulación de humo en caso de incendio. El intercambio de aire entre el interior y las afueras está dividido en: ventilación (intencional e idealmente controlada) e infiltración (no intencional y descontrolada). Estas variables se calculan según las ecuaciones 2.12 y 2.13.

#### **2.7.5.1 Ganancia por infiltraciones**

$$Q_{S.INF} = 1,2 \cdot V_{INF} \cdot (t_e - t_i) \quad (2.12)$$

$$Q_{S.INF} = 1,2 \cdot V_{INF} \cdot (w_e - w_i) \quad (2.13)$$

**Donde:**

- $Q_{S.INF}$  y  $Q_{L.INF}$ : Ganancia térmica sensible y latente respectivamente (kW).
- $V_{INF}$ : Volumen de aire infiltrado ( $m^3/s$ )

- $w_e$ : Humedad específica exterior ( $\text{kg}_a/\text{kg}_{as}$ )
- $w_i$ : Humedad específica interior ( $\text{kg}_a/\text{kg}_{as}$ )

### 2.7.6 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 20 a 40 % de la carga térmica de la edificación (De Andrés; *et al.*, 1992).

El intercambio de aire incrementa la carga térmica de una edificación de 3 maneras: Primero: el aire entrante debe ser enfriado desde la temperatura del aire exterior a la temperatura del aire interior. La tasa de consumo de energía está dada por la ecuación 2.14:

#### 2.7.6.1 Ventilación exterior

$$Q_{s.v} = 1,2 \cdot V_v \cdot (t_e - t_i) \quad (2.14)$$

**Donde:**

- $Q_{s.v}$ : Ganancia sensible por ventilación (kW)
- $V_v$ : Volumen de ventilación ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $t_e$ : Temperatura del aire exterior ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $t_i$ : Temperatura del aire en el interior del local ( $^{\circ}\text{C}$ )

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 la ecuación 2.15:

$$Q_{L.v} = 2790 \cdot V_v \cdot (w_e - w_i) \quad (2.15)$$

**Donde:**

- $Q_{L.v}$ : Ganancia latente por ventilación (kW)

- $V_V$ : Volumen de ventilación ( $m^3/s$ )
- $w_e$ : Humedad específica exterior ( $kg_a/kg_{as}$ )
- $w_i$ : Humedad específica interior ( $kg_a/kg_{as}$ )

Finalmente, el intercambio de aire incrementa la carga en una edificación, disminuyendo el rendimiento del sistema de aislamiento. El aire fluyendo alrededor y a través del aislamiento aumenta 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 disminuye también el rendimiento del sistema debido a la humedad condensada dentro y sobre el aislamiento.

## **2.8 Ciclo básico 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 en el epígrafe anterior, 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 (Ecuaciones 2.16 y 2.17).

### **2.8.1 Cálculo del Factor de Calor Sensible del Local (FCSL)**

Es la razón entre las cargas térmicas sensibles y totales del local. La pendiente de esta recta depende de la relación entre las cargas sensibles y latentes del local; las condiciones de suministro del local están sobre cualquier punto de ella al que corresponde un determinado caudal de suministro ( $V_{SL}$ ).

$$FCSL = \frac{Q_{SL}}{Q_{SL} + Q_{LL}} \quad (2.16)$$

### 2.8.2 Factor de Calor Sensible Total (FCST)

$$FSCT = \frac{Q_{SB}}{Q_{TB}} \quad (2.17)$$

**Donde:**

- $Q_{SB}$ : Carga sensible sobre la batería de enfriamiento (kW)
- $Q_{TB}$ : Carga total sobre la batería de enfriamiento (kW)

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) se traza la recta de FCST.

Es evidente que las condiciones de salida del aire de la batería se encuentran sobre esta recta. Dependiendo del Factor de Desvío (FD) del equipo y su Aparato de Punto de Rocío (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.

Se afirma entonces que las condiciones de suministro del local ( $S_L$ ) se encuentran donde se corten las rectas de FCST y FCSE.

### 2.8.3 Factor de Calor Sensible Efectivo (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 y se calcula según la ecuación 2.18:

$$FCSE = \frac{\text{Carga Sensible Efectiva del Local}}{\text{Calor Total Efectivo del Local}} \quad (2.18)$$

### 2.8.4 Determinación del APR

La carga total efectiva incluye además las cargas latentes del aire de ventilación desviado. El hacer esta suposición permite determinar un APR mediante la intersección del FCSE trazado, a partir de las condiciones de diseño interior del local 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 caudal de ventilación y para el caso en que éste sea cero, éstos serán iguales, es decir coincidirán sobre una misma recta.

### 2.8.5 Caudal de suministro al local

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 el caudal de suministro de aire al local el cual depende de las condiciones de suministro sobre el FCSL.

En tal caso esto se resuelve mediante un método de tanteo que consta de 7 pasos y es gongoroso el cual se simplifica mediante ciertas suposiciones basadas en los conceptos de FD y APR (Ecuación 2.19).

$$V_{SL} = \frac{Q_{SL} + Q_{SV}}{1,2 \cdot (t_L - t_{APR}) \cdot (1 - FD)} \quad (2.19)$$

La temperatura a bulbo seco de la mezcla  $t_M$  se calcula con suficiente aproximación conociendo los valores del volumen por unidad de tiempo, la ecuación 2.20 se emplea en los cálculos, ya que en la mayoría de los procesos relacionados con la climatización para el confort las diferencias de densidades del aire son pequeñas.

$$t_M = \frac{t_E \cdot V_B + t_L \cdot V_R}{V_{SL}} \quad (2.20)$$

**Donde:**

- $V_R$ : Caudal de retorno ( $m^3/s$ )
- $t_E$ : Temperatura exterior ( $^{\circ}C$ )
- $t_L$ : Temperatura del local ( $^{\circ}C$ )
- $V_B$ : Caudal de aire tratado en la batería ( $m^3/s$ ), si no hay fugas:

$$V_B = V_R$$

Conocidas  $t_M$  y  $APR$ , se determinará  $t_{SB}$  a partir de la ecuación 2.21.

$$t_{SL} = t_{SB} = t_{APR} + FD \cdot (t_M - t_{APR}) \quad (2.21)$$

También se determina gráficamente mediante la intersección del FCSB (a partir de M) y el FCSL, sobre el esquema psicrométrico. Como en este caso se desprecian las ganancias en la impulsión:  $t_{SL}=t_{SB}$

### **2.8.6 Carga total sobre la batería de enfriamiento**

La ganancia total sobre la batería de enfriamiento va a ser la suma de todas las cargas, es decir, la suma de las cargas sensibles y latentes del local, la carga sensible y latente por ventilación y las ganancias sensibles y latentes adicionales. Esta se calcula a través de la expresión 2.22.

$$Q_{TB} = Q_{SL} + Q_{LL} + Q_{SV} + Q_{LV} + Q_{SGA} + Q_{LGA} \quad (2.22)$$

**Donde:**

- $Q_{SGA}$  y  $Q_{LGA}$ : Ganancias sensibles y latentes adicionales (kW)

En estos análisis son despreciadas las fugas y ganancias en los conductos de suministro y retorno del local.

## **2.9 Determinación del consumo eléctrico por concepto de clima**

Luego de haber determinado la carga térmica en los locales de las dos instalaciones, se asignaron equipos de clima con la potencia necesaria para vencer dicha carga y la utilización del local (son unidades independientes o de tipo Split). Para la determinación del consumo eléctrico de los equipos se realizaron mediciones a unidades de uso regular de diferentes potencias en las instalaciones, obteniendo un valor promedio horario para cada equipo según su potencia, la cantidad de equipos por local y el consumo total para un tiempo de trabajo de ocho horas. Teniendo en cuenta que los locales no trabajan simultáneamente, que los equipos no siempre trabajan a su máxima potencia y los días no laborales, el valor del consumo total se afectará por un 10 %.



### **2.10 Conclusiones del capítulo 2**

- Los equipos empleados en la medición contaron de la precisión requerida para determinar el comportamiento de las magnitudes eléctricas en el área docente 2 del ISMM, por tanto los parámetros en todos los casos estuvo en el rango de las características técnicas de los respectivos instrumentos.
- Queda establecido el procedimiento de cálculo para la estimación de la carga térmica. El mismo conjuga los aspectos teóricos metodológicos y las expresiones matemáticas propuestas en investigaciones anteriores.

## CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 3.1 Introducción

Luego de definir la metodología para el cálculo de la carga térmica en los locales climatizados de la Facultad de Metalurgia y Electromecánica del ISMM, determinado el consumo por concepto de clima; se expone un resumen que muestre brevemente los resultados más relevantes de la investigación.

#### Objetivos del capítulo

Exponer los resultados obtenidos de la metodología propuesta para el cálculo de la carga térmica de los locales, el consumo de energía eléctrica por concepto de clima de las instalaciones estudiadas, el consumo en general de la facultad y el impacto medioambiental que dicho sistema pueda causar.

### 3.2 Evaluación del comportamiento de la potencia y del consumo de energía eléctrica en la FME.

La Tabla 3.1 muestra los datos del comportamiento promedio por hora diario del voltaje, la corriente y la potencia en el banco de transformadores general de la Facultad. Estos valores son estimados para el horario desde las 8:00 AM horas hasta las 8:00 PM horas de (lunes a domingo).

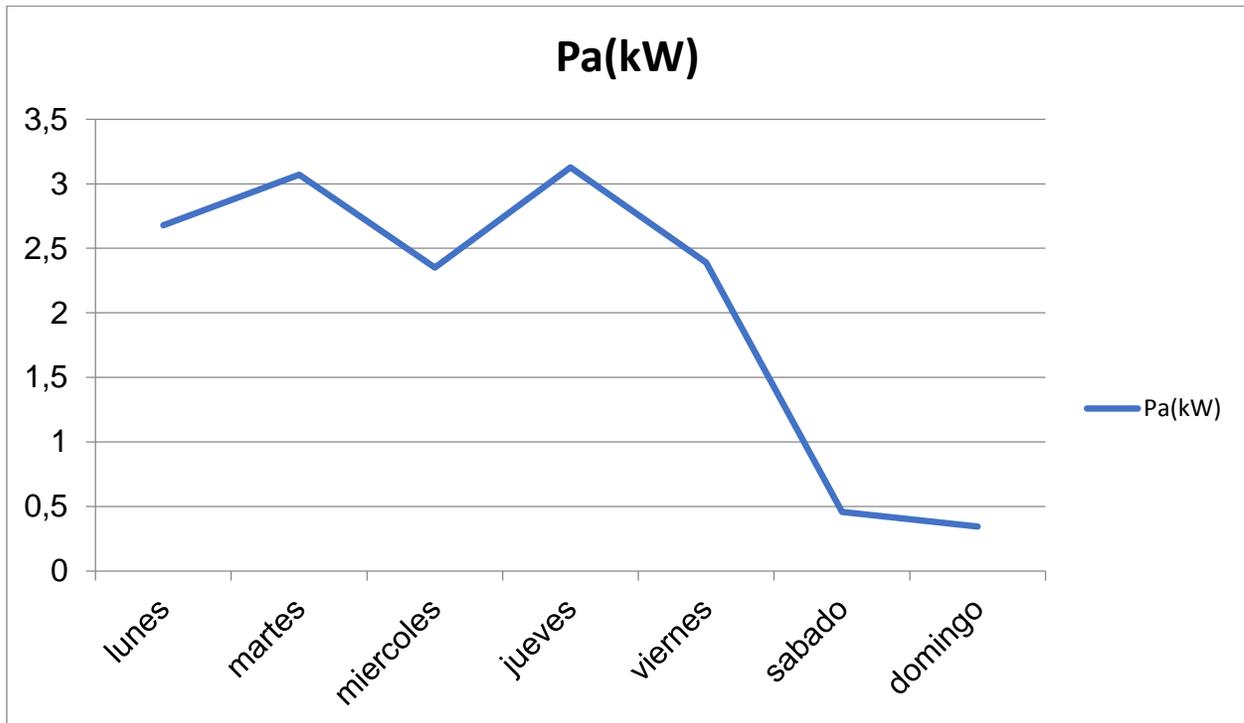
**Tabla 3.1** Demanda horaria promedio del banco de transformadores general de la FME del ISMM.

Día	U(V)	I(A)	Pa(kW)
<b>Lunes</b>	127,646154	21,7846154	2,67846154
<b>Martes</b>	129,484615	24,8923077	3,07
<b>Miércoles</b>	129,407692	19,0153846	2,35153846
<b>Jueves</b>	129,346154	25,9461538	3,12692308
<b>Viernes</b>	128,307692	18,9	2,39076923
<b>Sábado</b>	128,384616	3,84615385	0,45923077
<b>Domingo</b>	129,707692	3,11538462	0,34384615

En esta tabla se ve representado el consumo energético promedio por día de lunes a domingo donde primero se realizan mediciones cada una hora y se haya el promedio de consumo del día, luego se va realizando todos los días.

Para reflejar los resultados de esta medición se realiza un gráfico el cual nos proporciona una mayor claridad de los datos, Figura 3.1.

**Figura 3.1** Comportamiento de la potencia promedio por día de lunes a domingo



La Figura 3.1 muestra el gráfico del comportamiento de los valores promedios por día de la potencia (más significativa) que se obtuvieron a partir de las mediciones desarrolladas de (lunes a domingo) en el área de la Facultad de Metalurgia y Electromecánica del ISMM. Se puede apreciar que el día de mayor promedio de potencia es el jueves, pero ya que estas mediciones se realizaron durante una semana cuando es un período más largo puede o no reflejarse en otros días.

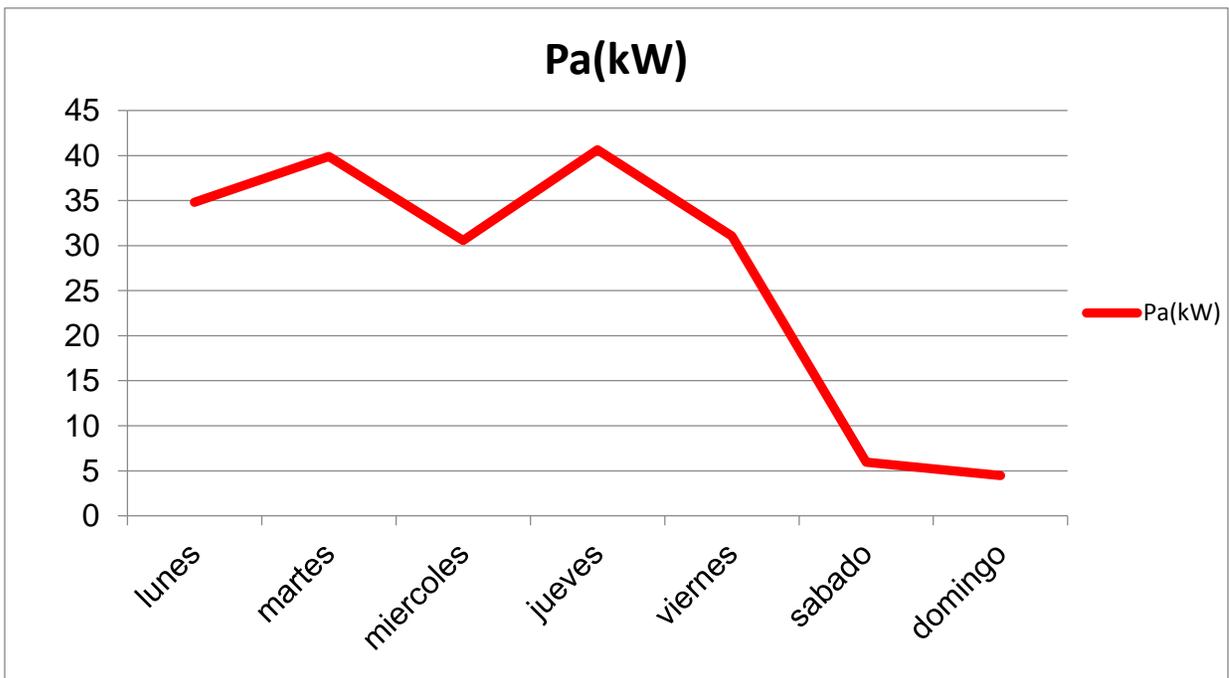
No solamente el resultado de datos y mediciones se realizan estableciendo un promedio sino también de otras formas, tal es el caso de la Tabla 3.2 donde nos muestra los resultados de la suma de todas las potencia tomadas durante el día en esa semana.

Tabla 3.2 Potencia total por día.

Días	Pa(kW)
Lunes	34,82
Martes	39,92
Miércoles	30,57
Jueves	40,65
Viernes	31,08
Sábado	5,97
Domingo	4,47

La Tabla 3.2 nos muestra el resultado de las potencias por días, dada esta tabla se observa en la Figura 3.2 un mejor análisis de estos datos.

Figura 3.2 Potencia total por día



Esta figura es muy similar a la Figura 3.1, tiene el mismo recorrido la línea pero tiene una gran diferencia ya que en esta se refleja la potencia total por día donde el pico de la potencia está en el jueves y los días menos consumidores son el sábado y el domingo.

### 3.3 Determinación de la potencia instalada en la FME del ISMM.

Para determinar las principales fuentes de consumo, se realizó un levantamiento de carga en el edificio 2 del docente, incluyendo todos los edificios y talleres.

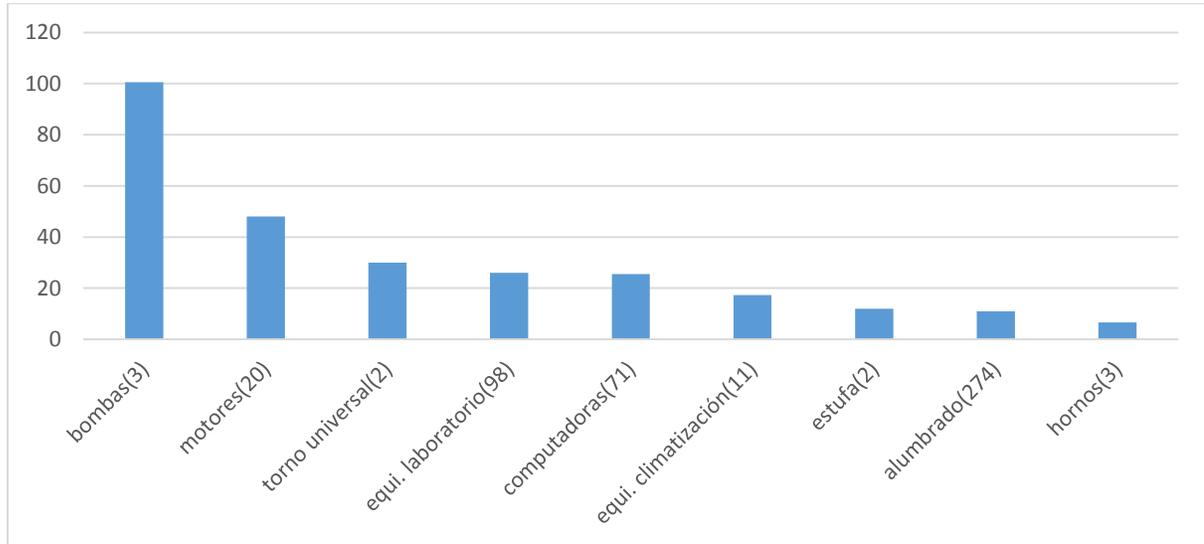
**Tabla 3.3** Determinación de la potencia instalada en la FME del ISMM.

Equipos	Cantidad	kW	%
<b>Bombas</b>	3	100,5	36,12
<b>Motores</b>	20	48	17,2
<b>torno universal</b>	2	30	10,78
<b>Equipo de laboratorio</b>	98	26,028	9,35
<b>computadoras</b>	71	25,5	9,16
<b>Equipos de climatización</b>	11	17,29	6,21
<b>Estufa</b>	2	12	4,31
<b>Alumbrado</b>	274	11	3,9
<b>Hornos</b>	3	6,6	2,37
<b>equipos de impresión</b>	13	0,87	0,31
<b>Televisores</b>	5	0,275	0,09
<b>Ventiladores</b>	5	0,194	0,06
<b>total</b>	<b>507</b>	<b>278,257</b>	

La Tabla 3.3 hace referencia a la potencia instalada en el edificio 2 del docente, este representa la mayor potencia instalada del área docente debido a la cantidad de motores que poseen los laboratorios y el taller de mecánica, En este momento estos

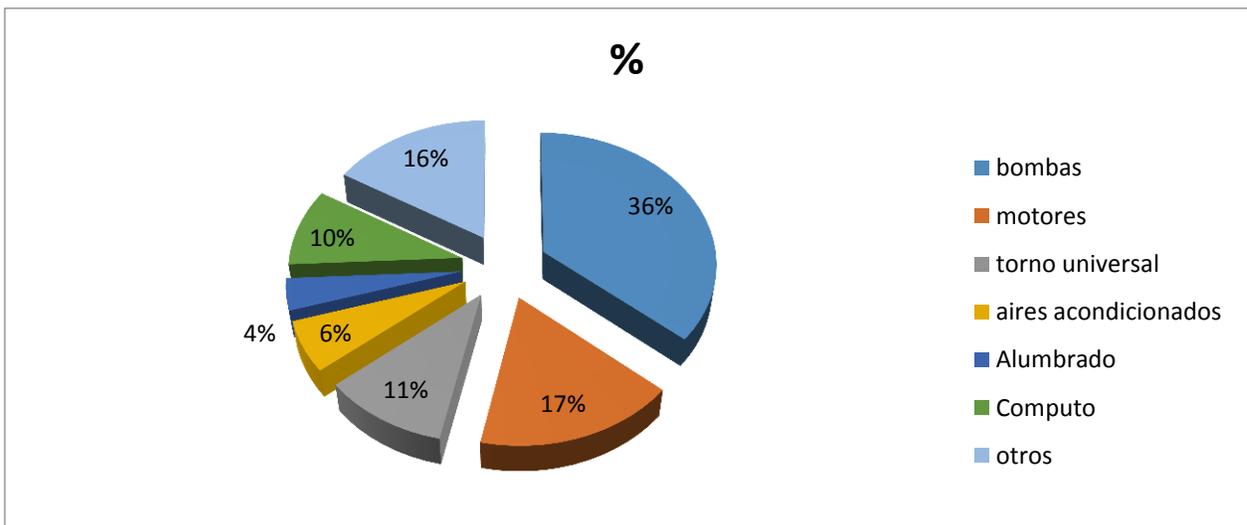
equipos no se encuentran trabajando debido a que su demanda es muy alta y en esta área se está llevando a cabo medidas de ahorro con el propósito de ayudar el país bajo las nuevas condiciones de emergencia energética.

**Figura 3.3** Equipos de mayor consumo en la FME del ISMM.



En la Figura 3.3 se observan los equipos de mayor consumo de edificio 2 del docente, que son las bombas con un valor de 100.5 kW correspondiente al taller de hidráulica y los motores con 48 kW de potencia de los distintos laboratorios y así como los demás equipos que tienen una mayor demanda que se encuentran en distintos locales y por lo tanto son los de alta repercusión en el consumo de energía eléctrica en esta área.

**Figura 3.4** Representación del porcentaje de los equipos en el consumo total de la FME



En la Figura 3.4 se muestra el porcentaje que representa cada equipo consumidor con respecto a la potencia total que se demanda, por lo que se puede observar como el mayor porcentaje de las cargas inciden mayormente en los motores que se encuentran en el taller de mecánica y las bombas en el taller experimental de fluidos. Estos equipos consumidores no tienen una gran repercusión en lo que es consumir energía como tal, ya que si lo vemos por el tiempo de explotación los aires acondicionados ocupan el lugar 1 debido a su gran utilización.

### 3.4 Análisis de la carga térmica

Una vez identificado el sistema de climatización como el de mayor incidencia dentro del portador electricidad y éste como el de mayor representatividad en los consumos energéticos de la FME del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, se procede a la estimación de la carga de enfriamiento según el procedimiento establecido en el capítulo 2.

Para la estimación de la carga térmica de los 9 locales seleccionados se tuvieron en cuenta diferentes criterios como: la ubicación geográfica de la misma (NE, SE y NO, SO) y las condiciones de diseño interior y exterior, estas últimas se muestran en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4** Condiciones de diseño interior y exterior.

Condiciones de diseño	interior	exterior
<b>Temperatura de bulbo seco; Tbs (°C)</b>	24	32,5
<b>Temperatura de bulbo húmedo; Tbh (°C)</b>	18	27
<b>Humedad relativa; <math>\omega</math> (%)</b>	55	70
<b>Humedad específica; W (kgva/kgas)</b>	0,01	0,02

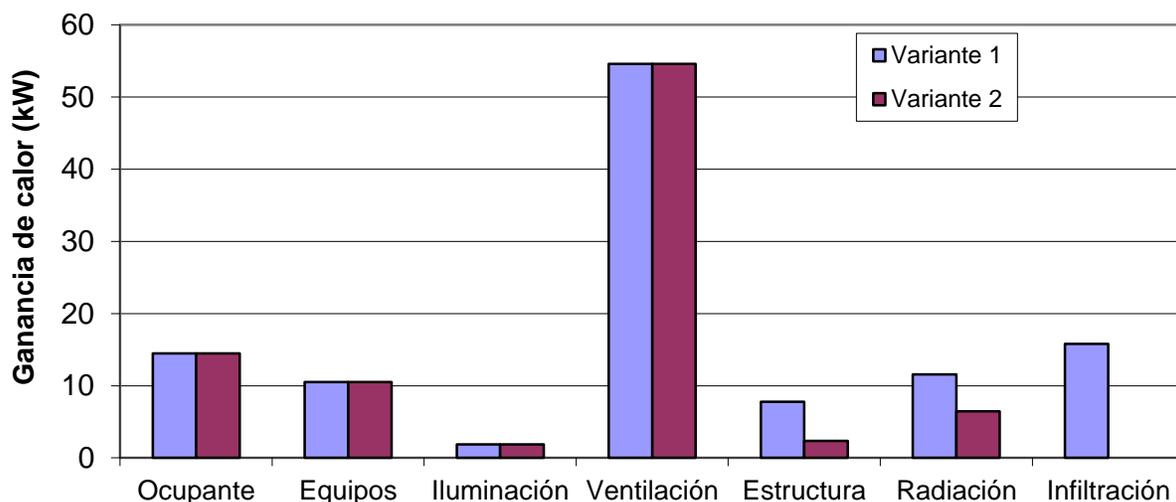
Las condiciones de diseño exterior se tomaron según la estación meteorológica de Cabo Lucrecia en Holguín, con una elevación sobre el nivel del mar de 4 m, la temperatura del bulbo seco a 32.5°C y la temperatura del bulbo húmedo a 27°C, la humedad relativa del 70 %, con una variación diurna de temperatura de 7°C, y la velocidad de los vientos es de 12 km/h con orientación ES.

Durante el desarrollo de la investigación se comprobó que los locales poseen un gran número de rendijas, localizadas en las persianas de metal, incrementando así el volumen de aire de infiltración. Por tal motivo los cálculos de las cargas térmicas de climatización se realizaron para dos variantes:

- Variante 1: considerando que los locales, no están hermetizados, considerando las infiltraciones de aire exterior; sin cortinas, en el caso que poseen ventanas acristaladas; y considerando las ventanas de metal en el caso que corresponda.
- Variante 2: considerando que los locales, están hermetizados, sin infiltraciones de aire exterior; con cortinas en las ventanas acristaladas; y cubriendo las ventanas de metal con cartón en el caso que corresponda.

En la Figura 3.5 se muestra el comportamiento de las ganancias térmicas para los locales estudiados, donde se observa que las ganancias por infiltración, ocupantes, equipos y ventilación tienen un mismo valor para ambas variantes. Esto se debe a que las mismas tienen características constructivas similares y los equipos instalados (refrigeradores, televisores y luminarias) son de similar fabricación. La mayor diferencia entre las ganancias estimadas se deben a la radiación solar y a las ganancias por estructuras, ya que las habitaciones de las esquinas tiene un mayor área orientada al SE y NO, que es la que mayor radiación recibe.

**Figura 3.5** Distribución de las ganancias térmicas para las variantes 1 y 2.



En la figura anterior se representan las ganancias térmicas para las dos variantes expresado estas ganancias en (kW), los otros resultados de las ganancias térmicas por cada local se encuentra en **Anexo 1**.

Una vez estimada la carga térmica del local, según lo establecido, se procedió a la evaluación del ciclo de evolución del aire a tratar en los equipos de acondicionamiento de aire, permitiendo determinar los parámetros de trabajo de la instalación, que se muestran en la tabla 3.6, permitiendo así la selección de los equipos componentes de la misma.

**Tabla 3.6** Parámetros de trabajo de la instalación en las habitaciones.

Factor de Calor Sensible	U/M	Parámetros	
		Mínimo	Máximo
Local (FCSL)	-	0.56	0.92
Total (FCST)	-	0.32	0.88
Efectivo (FCSE)	-	0.44	0.84
Temperatura APR	°C	10	12
Volumen de suministro al local	m <sup>3</sup> /s	0.11	0.59
Volumen de retorno	m <sup>3</sup> /s	0.04	1.03
Temperatura de la mezcla	°C	24.85	31.13
Temperatura de suministro al local	°C	13.91	14.80

### **3.5 Consumo total de electricidad por concepto de climatización**

Para determinar el consumo de energía eléctrica de los equipos de aire acondicionado se tuvo en cuenta el consumo promedio de los equipos en uso teniendo en cuenta que los mismos trabajan ocho horas diarias realizando las mediciones con amperímetro de gancho, de donde se obtuvo que el comportamiento del consumo de energía por equipos de aire acondicionado tiende ascender en horas del mediodía y descender en la mañana y después de las 14:00 horas, considerando 261 días hábiles al año se obtuvo valores anuales de consumo de 33115,68 kW/h teniendo un gasto de \$162597,98 pesos MN. Por otra parte considerando que a estos equipos se le de

mantenimiento o se cambien debido a su gran tiempo de trabajo se estaría consumiendo 24045 kW/h anual que son unos \$118060,95 pesos MN, se ahorrarían \$44537,03 pesos MN.

Un claro ejemplo de algunos equipos de climatización que presentan una gran dificultad es en el laboratorio de computación de mecánica, así como el laboratorio de computación de eléctrica donde estos se encienden pero no conllevan a un mejor confort de estos locales. En la Figura 3.6 se observan algunos de estos equipos.

**Figura 3.6** Aire acondicionado del Laboratorio de Computación de Mecánica



### **3.6 Consumo por iluminarias**

Durante 2 semanas se realizó un monitoreo de los locales de la facultad para ver con qué frecuencia se consume energía en especial los de iluminación y establecer medidas en la que se reduzca el uso de ellas. En la siguiente tabla se muestra el consumo por iluminación durante 2 semanas (lunes a viernes).

**Tabla 3.5** Consumo de iluminarias por hora

Días	1H	2H	3H	4H	5H
1	0,84	1,68	2,52	3,36	4,2
2	0,76	1,52	2,28	3,04	3,8
3	0,6	1,2	1,8	2,4	3
4	0,72	1,44	2,16	2,88	3,6
5	0,36	0,72	1,08	1,44	1,8
6	1,28	2,56	3,84	5,12	6,4
7	1	2	3	4	5
8	0,64	1,28	1,92	2,56	3,2
9	0,96	1,92	2,88	3,84	4,8
10	1,12	2,24	3,36	4,48	5,6
<b>Total</b>	<b>8,28</b>	<b>16,56</b>	<b>24,84</b>	<b>33,12</b>	<b>41,4</b>

En esta tabla se representa el consumo innecesario de los equipos de iluminación durante diez días y con un rango de hasta 5 horas. Se puede apreciar que si estos equipos se dejan encendidos un promedio de 3 horas por día genera un gasto de 24,84 kW/h o sea \$121,96 y para 5 horas \$203.27.

### 3.7 Principales problemas que afectan el sistema de alumbrado actual

Con el levantamiento realizado en los sistemas de iluminación de las instalaciones estudiadas, se comprobó que las mayores dificultades del mismo son:

- La falta de luminarias completas (ausencia de pantallas protectoras, etc.)
- Falta de lámparas y sustitución de las rotas.
- La disposición de las luminarias en algunos casos no es la adecuada.
- El uso de diferentes tipos de lámparas y luminarias para una misma instalación causando sombra y deslumbramiento.
- La altura de las lámparas en algunos casos no se corresponde con su flujo.
- No se realiza el mantenimiento requerido a las luminarias.
- Lámparas con bajo flujo luminoso por perder su tiempo de vida útil.
- Ubicación de luminarias dentro de los nervios del techo.

Por todas estas deficiencias encontradas, se puede afirmar que los sistemas de alumbrados que presentan actualmente las instalaciones, carece de las condiciones

necesarias para brindar seguridad en la tarea visual, incumpléndose las Normas Cubanas e Internacionales de la IEC para este tipo de instalación educacional.

### **3.8 Medidas a tomar para la reducción del consumo energético en la FME**

Las medidas que se tomaran para la reducción del consumo energético en la FME del ISMM están encaminadas principalmente a los locales climatizados donde son los de mayor consumo.

- ✓ Apagar los monitores y ordenadores cuando no se estén utilizando.
- ✓ No violar los horarios establecidos para la conexión y desconexión de los equipos eléctricos.
- ✓ Mejorar el aislamiento de distintos elementos constructivos, como tejado, fachada, ventanas, puertas, etc.
- ✓ Utilizar equipos eficientes y en óptimo estado.
- ✓ Respetar el horario de almuerzo desconectando el mayor número de cargas conectadas innecesariamente.
- ✓ En el horario nocturno no dejar locales encendidos sino se trabaja en ellos.
- ✓ Implantar una cultura de la eficiencia energética en la FME mediante formación e información a los trabajadores. Favorecer el acceso a documentación técnica sobre ahorro de energía.
- ✓ Aprovechar al máximo la luz solar como forma de iluminación.
- ✓ Que se lleve a cabo la propuesta de un sistema fotovoltaico amorfo integrado a la cubierta de la FME del ISMMM como una forma de generación eléctricas alternativas con el objetivo de reducir el consumo de energía.

### **3.9 Valoración económica**

Los resultado obtenidos de la carga térmica para las dos variantes arrojaron que la variante 1 tiene un consumo de 117 kW/h y la variante 2 es de 90 kW/h, los equipos de climatización tienen un gasto de 15,86 kW/h y las iluminarias que no en gran medida pero provocan también un gasto de 24,84 kW/h. En la figura 3.6 podemos encontrar estos resultados con más claridad.

**Tabla 3.6** Consumo calculado y propuesto

<b>indicadores</b>	<b>Consumo calculado (kW/h anual)</b>	<b>Consumo propuesto (kW/h anual)</b>	<b>Ahorro (kW/h anual)</b>	<b>Ahorro (\$/año)</b>
<b>Carga térmica</b>	244296	187920	56376	276806,16
<b>Aire acondicionado</b>	33115,68	24045	9070,68	44537,04
<b>iluminarias</b>	645,84	0	645,84	3171,08
<b>total</b>	<b>278057,52</b>	<b>211965</b>	<b>66092,52</b>	<b>324514,27</b>

En la tabla anterior se muestra el consumo anual de algunos indicadores donde el consumo por iluminarias es en un periodo de 3 h/día y durante 261 días, para los otros indicadores son 8h/día y también durante 261 días. Económicamente se ahorrarían aproximadamente unos \$324514,27 pesos MN.

### **3.10 Impacto medioambiental**

Los climatizadores consumen mucha energía eléctrica, lo que hace que se emita más CO<sub>2</sub> a la atmósfera y se agrave por lo tanto el calentamiento global. Los aires acondicionados echan calor a la calle, mientras que el aire que han cogido caliente lo transforman en frío. Al liberar este aire caliente a la superficie, este expulsa gases que dañan la capa de ozono, y que dan más calor a la superficie.

Cada vez que conectamos el aire acondicionado o la bomba de calor estamos contaminando nuestro entorno pero de dos formas: a través de la contaminación directa y de la indirecta. La contaminación indirecta es la producida por las emisiones a la atmósfera de las centrales termoeléctricas que suministran la energía a nuestros hogares y empresas. Para producir energía estas centrales utilizan combustibles fósiles que generan gases de efecto invernadero.



Pero también se produce una contaminación directa que es la producida por los propios aparatos de aire acondicionado y es que los gases refrigerantes que necesitan para ejercer su función correctamente, tienen un impacto negativo en la capa de ozono.

Precisamente por ello es tan importante la innovación en este sector y la renovación de los aparatos antiguos, ya que con nuevos aparatos se consigue climatizar adecuadamente con un menor consumo eléctrico y además los gases refrigerantes que incorporan son ahora menos dañinos.

### **3.11 Conclusiones del capítulo**

1. La potencia instalada que posee la FME del ISMM teniendo en cuenta los laboratorios y talleres es de 278.257kW total.
2. El mayor porcentaje de consumo de energía eléctrica pertenece a los aires acondicionados debido a que estos trabajan regularmente.
3. Se determinó la carga térmica de los locales climatizados para dos variantes reflejándose la diferencia entre ellas donde es de 27 kW.



**CONCLUSIONES GENERALES**

1. Se propusieron medidas para la reducción del consumo energético en la FME del ISMM.
2. El consumo total por climatización en la Facultad de Metalurgia y Electromecánica del ISMM es de 33115,68 kW/h teniendo un gasto de \$162597,98 pesos MN anualmente.
3. Los equipos de más consumo en la FME son las bombas y los motores pero los aires acondicionados tienen un mayor uso y una mayor incidencia en este consumo.
4. Por iluminarias se tiene un gasto de 645,84 kW/h.
5. Dado los indicadores que se escogieron se pueden ahorrar 66092,52 kW/h que equivale a \$324514,27 pesos al año.



## **RECOMENDACIONES**

- Cumplir con las medidas establecidas para el ahorro energético en la FME del ISMM.
- Poner en práctica los resultados de este trabajo en el área docente.
- Mantener todos los años estudios sobre el consumo de energía eléctrica en la FME del ISMM así como el sistema de distribución de la misma.
- Apagar los equipos de climatización en locales que no están utilizándose.
- Proponer un sistema de climatización por absorción como alternativa.
- Aumentar las condiciones de hermeticidad en los locales estudiados para disminuir la carga térmica de los mismos.
- Realizar mantenimientos periódicos a los equipos de aire acondicionado para aumentar su rendimiento así como el cambio de ellos.



**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. BORGES BARRABIA, ZEHIDY. Evaluación del sistema de climatización del Hotel Miraflores y su incidencia en el consumo energético. Tesis de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Mecánica. Moa. 2010.
2. DURÁN, Y. Cálculo verificativo de la carga térmica de Climatización del Centro Comercial Moa. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 2004.
3. GÓMEZ RAMÍREZ, LUÍS CESAR. Propuesta tecnológica para mejorar la eficiencia energética del sistema de climatización de la central termoeléctrica “Lidio Ramón Pérez”. Tesis en opción al título de Master en Eficiencia Energética. 2011.
4. GÓMEZ SANCHEZ, I. Administración de proyecto instalación de aire acondicionado. Tesis para obtener el título de Ingeniero Arquitecto. México. 2017.
5. HERNÁNDEZ, D. Proyecto técnico de la climatización de la Dirección de Trabajo Social y Educacional en Moa. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 2005.
6. JARAMILLO, A. Elaboración de los procedimientos para la instalación de sistemas de ventilación mecánicos y de aires acondicionados en la fase III del aeropuerto El Dorado. Proyecto de grado para optar a título de ingeniería mecánica. Bogotá. 2017.
7. JIMÉNES, E. Análisis económico, energético y ambiental del uso de la aerotermia. Tesis Doctoral. Universidad de la Rioja. 2017.
8. LAMOTH, Y. Cálculo térmico verificativo de la instalación de climatización del edificio de la empresa de Ingeniería y Proyectos de la unión del Níquel. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 2005.
9. LOARCA, C. Sistemas de Acondicionamiento de aire en Arquitectura. Tesis de Grado para Licenciado. Guatemala. 2015.



10. MOLERO, N. Sistema de refrigeración solar basados en máquinas de absorción para el sector residencial. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga. 2015.
11. MONTERO, R., Góngora, E. Algunos aspectos de la tecnología de la Gestión Total Eficiente de la Energía aplicados en hoteles de la provincia Holguín. 5to Taller Internacional de Energía y Medio Ambiente, abril de 2008. ISBN: 978 -959 - 257 - 186 - 0.
12. MORALES, J. Diagnóstico energético en la batería de grupos electrógenos diésel de Moa. 2009.
13. OROZCO, D. Diseño de un sistema de aire acondicionado para el hotel casa villa colonial. Universidad tecnológica de bolívar. Facultad de ingenierías mecánica y mecatrónica. Cartagena de indias. 2010.
14. OSORIO, L. Análisis energético de un sistema fotovoltaico integrado a una cubierta horizontal. 2015.
15. POLAINO DE LOS SANTOS, LÁZARA. Instalaciones de climatización. Roberto Fuente. Ciudad de la Habana. ISPJAE. 1987.
16. RUIZ, A. Cálculo térmico verificativo de la instalación de Climatización del Hospital Guillermo Luis Hernández Fernández Vaquero. Trabajo de Diploma. 2004.
17. SANTIESTEBAN, A., GIL, J., REMEDIOS, P., CORRALES, J. Gestión de la energía en la universidad de las Tunas. Revista Ciencias Holguín. ISSN 1027-2127
18. TOLEDO, H., LABRADA, R., ZERQUERA, R., GONZALES, L. Diagnóstico Energético y Propuesta en la unidad empresarial de base "MATHISA" de Sancti Spíritus. 2014.
19. TORRES, E. Estudio de la climatización del centro de proyectos de la Unión del Níquel, 1999. Departamento de Mecánica.
20. Torres, J. Climatización de sala multiuso mediante energía geotérmica de baja entalpía, Santiago de Chile, 2017.



ANEXOS

Anexo 1: Resultados del Cálculo de las Cargas Térmicas.

<b>RESUMEN</b>	<b>Laboratorio de Computación de Eléctrica:</b>		<b>Laboratorio de Circuito Eléctrico:</b>		<b>Departamento de Mediciones Técnicas de Mecánica:</b>		<b>Departamento de Profesores de Eléctrica:</b>	
<b>Ganancias por:</b>	<b>V 1</b>	<b>V 2</b>	<b>V 1</b>	<b>V 2</b>	<b>V 1</b>	<b>V 2</b>	<b>V 1</b>	<b>V 2</b>
<i>Ocupante</i>	3158	3158	3948	3948	263	263	526	526
<i>Equipos</i>	3000	3000	0	0	555	555	500	500
<i>Iluminación</i>	300	300	225	225	200	200	200	200
<i>Ventilación</i>	11906	11906	14883	14883	992	992	1984	1984
<i>Estructura</i>	1194	507	1343	204	989	451	768	364
<i>Radiación</i>	401	225	0	0	0	0	0	0
<i>Infiltración</i>	588	0	3677	0	2451	0	2351	0
<b>Total (kW)</b>	<b>20,55</b>	<b>19,10</b>	<b>24,08</b>	<b>19,26</b>	<b>5,45</b>	<b>2,46</b>	<b>6,33</b>	<b>3,57</b>
<b>kcal/h</b>	<b>17667,24</b>	<b>16419,60</b>	<b>20701,67</b>	<b>16560,69</b>	<b>4687,01</b>	<b>2116,67</b>	<b>13553,87</b>	<b>3073,71</b>
<b>TR</b>	<b>5,84</b>	<b>5,43</b>	<b>6,85</b>	<b>5,48</b>	<b>1,55</b>	<b>0,70</b>	<b>1,80</b>	<b>1,02</b>



Anexo 1: Continuación

<b>RESUMEN</b>	<b>Laboratorio de Metalurgia:</b>		<b>Laboratorio de Computación de Mecánica:</b>		<b>Laboratorio de Resistencia de los Materiales de Mecánica:</b>		<b>Laboratorio de Computación de Profesores de Eléctrica:</b>	
<b>Ganancias por:</b>	<b>V 1</b>	<b>V 2</b>	<b>V 1</b>	<b>V 2</b>	<b>V 1</b>	<b>V 2</b>	<b>V 1</b>	<b>V 2</b>
<i>Ocupante</i>	1842	1842	3158	3158	263	263	790	790
<i>Equipos</i>	0	0	3855	3855	555	555	1500	1500
<i>Iluminación</i>	150	150	300	300	300	300	150	150
<i>Ventilación</i>	6945	6945	11906	11906	992	992	2977	2977
<i>Estructura</i>	949	55	916	265	713	306	718	78
<i>Radiación</i>	3550	1988	7486	4192	0	0	0	0
<i>Infiltración</i>	2326	0	1226	0	1763	0	1226	0
<b>Total (kW)</b>	<b>15,76</b>	<b>10,98</b>	<b>28,85</b>	<b>23,68</b>	<b>4,59</b>	<b>2,42</b>	<b>7,36</b>	<b>5,49</b>
<b>kcal/h</b>	<b>13553,87</b>	<b>9441,88</b>	<b>24803,38</b>	<b>20357,66</b>	<b>3943,94</b>	<b>2077,42</b>	<b>6328,60</b>	<b>4723,97</b>
<b>TR</b>	<b>4,48</b>	<b>3,12</b>	<b>8,20</b>	<b>6,73</b>	<b>1,30</b>	<b>0,69</b>	<b>2,09</b>	<b>1,56</b>



Anexo 1: Continuación

**RESUMEN** Departamento de  
Profesores de  
Metalurgia:

<b>Ganancias por:</b>	<b>V 1</b>	<b>V 2</b>
<i>Ocupante</i>	526	526
<i>Equipos</i>	555	555
<i>Iluminación</i>	50	50
<i>Ventilación</i>	1984	1984
<i>Estructura</i>	204	111
<i>Radiación</i>	134	54
<i>Infiltración</i>	178	0
<b>Total (kW)</b>	<b>3,63</b>	<b>3,28</b>
<b>kcal/h</b>	<b>3122,80</b>	<b>2820,35</b>
<b>TR</b>	<b>1,03</b>	<b>0,93</b>