

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA DISMINUIR EL CONSUMO ENERGÉTICO DE
LA CLIMATIZACIÓN EN EL PRIMER PISO DE VENTAS DE LA UNIDAD
COMERCIAL “LA LUZ DE YARA” DE LA PROVINCIA DE HOLGUÍN.**

Trabajo de diploma en opción del título de ingeniero mecánico.

Autor: Luis Ernesto Rodríguez Peña.

Tutor: Msc. Jorge Alberto Mora Aguilera.
Ing. Profesor Asistente Adjunto.

**Holguín.
2011.**

DEDICATORIA

A mis padres, hijas y familiares.

AGRADECIMIENTOS

Al claustro de profesores que influyeron en mi formación durante estos seis años.

A la sociedad cubana por permitir la realización de esta investigación.

RESUMEN.

El presente trabajo se desarrolla en el primer piso de la unidad comercial “Luz de Yara” que pertenece a la cadena de tiendas TRD Caribe división Oriente – Norte, en la provincia Holguín. El estudio contempla la estimación de las aportaciones térmicas a vencer por la tecnología para la climatización instalada en la entidad, así como la distribución del aire en los espacios del piso de venta. Se desarrolla la metodología Carrier para cuantificar la cantidad de calor a transferir desde el recinto hacia los evaporadores de los equipos y comparar el valor obtenido con la capacidad frigorífica instalada. A partir de lo anterior se proponen acciones para ajustar el consumo energético de las tecnologías a la demanda de climatización.

SUMMARY

The present work was carried out in the first floor of La Luz de Yara shopping center, from TRD Caribe, Northern Oriente, in Holguín province. The study estimates the thermic contribution to be overcome by technology for the climatization of the above mentioned shopping center, as well as the distribution of the air in the different spaces of the selling area. Carrier methodology was used to calculate heat energy to be transferred from the selling area to the evaporators of the equipments and compare the results with the frigorific capacity installed. Taking into account all those aspects different actions are proposed to adjust electric consumption of the technologies to climatization demands.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
I. USO FINAL DE LA ENERGÍA PARA LA CLIMATIZACIÓN EN EL COMERCIO.	
ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL	5
1.1 Consumo de energía y problemática medioambiental.	5
1.2 Climatización. Surgimiento y evolución.....	6
1.3 Actividad comercial y climatización en Cuba.	7
1.3.1 Tecnologías para la climatización empleadas en el comercio interior en Cuba.....	8
1.3.2 Aportaciones térmicas a vencer para la climatización de unidades de comercio.	11
1.4 Climatización a partir del ciclo de refrigeración por compresión de vapores.	13
1.4.1 Indicador energético del ciclo de refrigeración por compresión de vapores.	15
1.5 Métodos para la selección de las capacidades de climatización.....	17
1.6 Impacto medio ambiental de la climatización.....	19
II. ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR CONCEPTO DE CLIMATIZACIÓN EN LA UNIDAD COMERCIAL “LA LUZ DE YARA” DE HOLGUÍN.	
ACCIONES PARA SU REDUCCIÓN.	21
2.1 Breve caracterización de la unidad comercial la “Luz de Yara”	21
2.1.1 Generalidades.	21
2.1.2 Características estructurales.	21
2.1.3 Tecnologías para la climatización instaladas y condiciones de diseño.	22
2.2 Herramienta empleada en la investigación.	22
2.3 Metodología de trabajo.	23
2.4 Identificación de las potencialidades de ahorro energético del sistema.	23
2.4.1 Estimación de la carga térmica del recinto.....	24
2.4.2 Análisis para la disminución de las aportaciones térmicas.....	27
2.5 Análisis energético.	29
2.5.1 Exceso de capacidad frigorífica instalada.	29
2.5.2 Disminución de la carga térmica a vencer por los equipos.	30
2.6 Propuesta de acciones para eliminar el exceso de consumo registrado.	32
CONCLUSIONES	33
RECOMENDACIONES	34
BIBLIOGRAFÍA	35
ANEXOS	37

INTRODUCCIÓN

Los resultados de investigaciones acerca de la relación entre los procesos fisiológicos de las personas y las condiciones del medio ambiente, muestran que la transpiración del cuerpo humano mejora cuando la temperatura a que se somete el individuo alcanza un valor de 24 °C, con una humedad relativa del 70%. [Carrier, 1999]

Por otra parte, se conoce que para las condiciones termodinámicas descritas, determinados productos conservan sus propiedades durante un mayor tiempo y que en el orden epidemiológico, la baja temperatura y humedad inhibe el desarrollo de determinados gérmenes patógenos presentes en el ambiente.

Una de las formas más difundidas para controlar dichos parámetros termodinámicos del ambiente dentro de los recintos (temperatura y humedad) es mediante su climatización. Debido a lo anterior, la explotación de las tecnologías que soportan la climatización adquiere cada día mayor importancia y los países ubicados en las zonas tropicales del planeta son los más beneficiados, como es el caso de Cuba, pues la temperatura y humedad de su entorno es alta en el período de verano.

Dentro de los sectores que hacen un mayor uso de ese servicio se destaca el comercio. [www.roca-york.com, 2005].

En las unidades comerciales, la climatización se convierte en un atractivo que garantiza gran afluencia de personas que se convierten en clientes potenciales. Ello explica que, en un establecimiento comercial climatizado, el valor de las ventas se incrementa hasta un 60% en relación a otro similar que no posee ese servicio, lo que revela la importancia del mismo en la elevación de la gestión de ventas. [Báez, 2003].

No obstante, al tratar el fenómeno desde otra arista se aprecia que, la explotación de tecnologías para la climatización provoca un incremento de los gastos de esas entidades por concepto de uso de portadores energéticos.

Lo anterior conduce a la necesidad de implementar acciones dirigidas a la disminución del consumo energético en que se incurre, por concepto de uso del aire acondicionado, en unidades comerciales destinadas a la venta de productos industriales a la población. Las mismas deben diseñarse atendiendo a la elevación de la eficiencia con que se emplean los portadores energéticos pues, el mundo atraviesa hoy por una crisis

energética provocada por el consumo desmedido de esos recursos por parte de los países desarrollados.

Cuba, además de sufrir sus efectos, tiene que invertir recursos financieros extras para adquirir los portadores energéticos que necesita, como consecuencia del bloqueo económico que le impone el gobierno de los E.U.A.

Aunque las tendencias que siguen los fabricantes de tecnologías para la climatización en la actualidad se apegan a reducir su demanda de energía durante la explotación, como atractivo para su comercialización. El consumo de las mismas es elevado en relación al resto de los equipos que se explotan en entidades de comercio.

Lo anterior se aprecia la unidad comercial “La Luz de Yara” de la provincia de Holguín. En el gráfico 1 se muestra la incidencia energética que tuvo la climatización respecto al resto de las actividades que consumen energía eléctrica en esa entidad durante el año 2010.

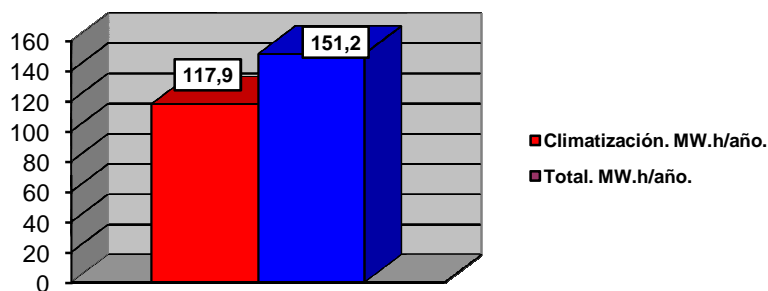


Gráfico 1. Incidencia energética de la climatización en la unidad comercial “La Luz de Yara” de Holguín. [Fuente. Autor]

Los valores acotados en el gráfico muestran que la energía eléctrica destinada a la climatización representa el 77% de la total consumida en la entidad, durante el período que se refiere.

La necesidad de contar con el servicio de climatización en la unidad comercial “La Luz de Yara” de la provincia de Holguín para mejorar la gestión de ventas y el alto consumo de energía eléctrica que el mismo reporta constituye la **situación problemática** de la presente investigación.

A partir de la misma se identifica el siguiente:

Problema de investigación.

¿Cómo disminuir el consumo de energía eléctrica debido a la climatización en el primer piso de la unidad comercial “La Luz de Yara” de la provincia de Holguín?

La investigación tiene como:

Objeto de estudio.

La climatización en el primer piso de la unidad comercial “La Luz de Yara” de la provincia Holguín.

Y se define como **Campo de acción:**

Los aspectos relacionados con el consumo energético de la climatización en el primer piso de la unidad comercial “La Luz de Yara” de la provincia Holguín.

La investigación persigue el siguiente **Objetivo general.**

Reducir el consumo de energía de las tecnologías para la climatización en la unidad comercial “La Luz de Yara” de la provincia Holguín.

Para direccionar la investigación se propone la siguiente **Hipótesis:**

El estudio de las aportaciones térmicas hacia el primer piso de la unidad comercial “La Luz de Yara” permitirá determinar las causas de su alto consumo energético por concepto de climatización y proponer acciones para su disminución.

Tareas de investigación:

1. Actualización bibliográfica acerca de la climatización y su uso en el sector del comercio.
2. Caracterización de la unidad comercial “La Luz de Yara” de la provincia de Holguín.
3. Análisis de las potencialidades de ahorro energético por concepto de climatización en el primer piso de la unidad comercial “La Luz de Yara” de Holguín.
4. Propuesta de acciones para disminuir el consumo energético de la climatización en el primer piso de la unidad comercial “La Luz de Yara”.
5. Evaluación energética de la propuesta.
6. Elaboración del informe.

Métodos de investigación.

Teóricos.

Análisis-síntesis. Permite resumir el contenido de las bibliografías consultadas y elaborar la conceptualización para desarrollar el marco teórico de la investigación.

Histórico-lógico. Para conocer la evolución del objeto a través del tiempo y realizar un análisis lógico de la vía más eficiente que garantice el cumplimiento de los objetivos propuestos en la investigación.

Hipotético-deductivo. Para confeccionar la hipótesis.

Empíricos.

Observación científica. Para conocer el comportamiento del objeto de investigación y acceder a la información directa e inmediata.

Entrevistas. Para recopilar información del objeto mediante la opinión del personal que se relaciona directamente con el mismo.

Experimental. Para obtener información científica validada sobre el comportamiento del objeto.

Resultados esperados.

Se espera diseñar un plan de medidas en la unidad comercial “La Luz de Yara” que al implementarse permita reducir el consumo energético por concepto de climatización de su primer piso de ventas.

Actualidad.

El tema de investigación constituye la mayor prioridad dentro del “Banco de problemas” de la entidad donde se realiza la misma y la herramienta empleada durante la investigación se basa en criterios actuales acerca del análisis del desempeño energético de la climatización.

CAPITULO I

I. USO FINAL DE LA ENERGÍA PARA LA CLIMATIZACIÓN EN EL COMERCIO. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL.

1.1 Consumo de energía y problemática medioambiental.

La energía le facilitó al hombre el acceso a la luz, el calor, la fuerza, así como el transporte y las comunicaciones. [C.E.E.M.A., 2006].

El incremento de su uso se vincula con el desarrollo de la humanidad. Ello se evidencia en que su consumo pasó de 8,4 GJ en la comunidad primitiva a 336 GJ en el Capitalismo Industrial. Hoy supera los 924 GJ. [Suplemento, 2005].

El descubrimiento del petróleo constituyó un paso de avance en el desarrollo industrial y su explotación desmedida, por el afán del capitalismo de crear plusvalía, derivó en la crisis energética que atraviesa hoy el mundo.

Esta crisis afecta a la humanidad de manera muy desigual pues obliga a muchos países a llevar adelante su proceso de desarrollo económico y de modernización con precios del petróleo muy superiores a los que pagan los países industrializados.

Por otra parte, el daño medioambiental que produce la combustión de este portador energético conduce a la desaparición de ecosistemas, e incluso, pone en riesgo la existencia de la vida sobre el planeta. [Brizuela, 2003].

El perfeccionamiento de los sistemas de generación eléctrica que se produjo en el siglo XX incrementó el uso de ese combustible, con el consiguiente disparo de sus precios y la competencia injusta para su adquisición con mayor afectación para los países del Tercer Mundo.

En la actualidad, el petróleo es el portador energético más empleado en el mundo pues se utiliza en más de 80% de los procesos industriales. [Borroto y Monteagudo, 2006].

Como solución viable a la problemática medioambiental que genera el uso del petróleo se promueve el uso de fuentes alternativas de energía, con énfasis en las renovables.

La explotación de las mismas tiene hoy las siguientes limitantes: [Erico, 2006].

- El carácter regional limitado de las fuentes.
- El acceso a las tecnologías.
- La falta de motivación de los productores de energía a partir de fuentes convencionales.
- La falta de voluntad de los gobiernos para implementar su explotación.

Las investigaciones acerca del cambio climático y el efecto invernadero han jugado un papel determinante en la toma de conciencia de la necesidad de regular la emisión a la atmósfera de los gases que provocan esos fenómenos.

A pesar de las iniciativas de las organizaciones mundiales para encontrar soluciones viables al problema, no se ha llegado a acuerdos sólidos al respecto.

La mayor incidencia de la contaminación ambiental debido al uso de combustibles de origen fósil se encuentra en los países desarrollados.

Los mismos, con solo el 16% de la población mundial. [Suplemento, 2005].

- Consumen el 52% de la energía producida en el planeta.
- Producen el 45% de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera.
- Generan el 60% de los desechos industriales.
- Generan el 90% de los desechos altamente contaminantes.

Dentro de los usos finales de la energía eléctrica obtenida a partir de combustibles de origen fósil se encuentra la climatización.

1.2 Climatización. Surgimiento y evolución.

Las altas temperaturas existentes en las zonas ecuatoriales y tropicales obligaron a los hombres que allí residían a encontrar soluciones empíricas para la evacuación del calor del medio ambiente, basadas en la experiencia de los antepasados, hasta convertirse en tradiciones.

Se conoce que los egipcios llevaban piedras al desierto durante la noche y luego las colocaban en el interior del palacio del Faraón. De esa forma lograban una temperatura en el interior inferior a la del exterior.

Como resultado de las investigaciones científicas, en 1842 se postuló La Segunda Ley de la Termodinámica. [Fairs, 1881].

A pesar de contarse desde la fecha referida con elementos científicos para lograr espacios con temperaturas inferiores a las del medio ambiente, fue necesario el desarrollo de la tecnología de la construcción de la maquinaria para diseñar y producir equipos capaces de llevar a vías de hecho lo demostrado por la ciencia.

En 1902, Willis Haviland Carrier sentó las bases de la refrigeración moderna y, al encontrarse con los problemas de la excesiva humidificación de los ambientes a baja temperatura, las del aire acondicionado. [www.wikipedia.com].

Ante la necesidad de controlar de forma rápida y simultánea la temperatura y humedad del aire durante el proceso de impresión tipográfico, para impedir que la tinta se esparciera por el papel, realizó investigaciones, y diseñó una máquina frigorífica, que se recoge como la primera unidad de aire acondicionado de la historia.

A continuación se ofrece una síntesis cronológica de los aspectos más relevantes relacionados con el desarrollo de la climatización. [www.wikipedia.com]

- 1911, Carrier reveló su Fórmula Racional Psicométrica Básica a la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos la cual sigue siendo hoy la base de todos los cálculos fundamentales para el aire acondicionado.
- 1915, se fundó la Compañía de Ingeniería Carrier, dedicada a la innovación tecnológica de su único producto, el aire acondicionado. Durante aquellos años, su objetivo principal fue mejorar el desarrollo de los procesos industriales. Por casi dos décadas, el uso de estas tecnologías estuvo dirigido a las industrias, más que a las personas.
- 1921, Carrier patentó La Máquina de Refrigeración conocida como Enfriadora Centrífuga o de Refrigerante Centrifugado, convirtiéndose en el primer método práctico para acondicionar el aire en grandes espacios. Las máquinas anteriores usaban compresores impulsados por pistones para comprimir el refrigerante.
- 1928, se desarrolló el primer equipo que enfriaba, calentaba, limpiaba y hacía circular el aire para casas y departamentos, pero la gran depresión en los Estados Unidos puso punto final al uso del aire acondicionado doméstico. Las ventas de aparatos para uso residencial no empezaron hasta 1945.

Desde el fin de La Segunda Guerra Mundial hasta el presente, se ha producido un desarrollo vertiginoso en la fabricación de equipos destinados a modificar la temperatura, humedad y velocidad del aire en los espacios que lo requieren, dentro de los cuales se destacan los recintos dedicados al comercio.

1.3 Actividad comercial y climatización en Cuba.

Después del descubrimiento de la isla en 1492, se desarrolla un comercio interior que permanece pobre e insuficiente durante mucho tiempo. El nacimiento de la industria azucarera y del tabaco, así como la sublevación de las Trece Colonias de Norteamérica contribuyeron al desarrollo del comercio en Cuba durante la época colonial.

Al inicio de la República, en 1902, el comercio en el país mantenía el carácter fragmentado del siglo anterior pues dependía de pequeños comerciantes especializados y concentrados fundamentalmente en las zonas urbanas.

A finales del siglo XIX se fundaron, las que más tarde fueron las grandes tiendas por departamentos como La Época (1885), El Encanto (1888). Los mismos llegaron a acaparar, a partir del 1897, alrededor del 25% de la circulación mercantil en el país. [Borroto, 2006.]

La incidencia energética del comercio minorista en esa etapa se reducía a los consumos de electricidad para la iluminación

A partir de 1940, con los inversionistas del consorcio Sears, se introduce en el país la climatización de establecimientos comerciales y el consumo energético de los mismos crece en más del 80% del que existía en la anterior etapa.

En los primeros años siguientes al triunfo revolucionario, las medidas del gobierno de los Estados Unidos para frenar el proceso se tradujeron al comercio minorista del país, como escasez de productos y aumento de sus precios. En esa etapa, se produjo un deterioro total de los sistemas para la climatización existentes en las unidades comerciales debido a la falta de repuestos.

Con la inserción de Cuba al Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME) se produce un realce del comercio minorista en el país y un vuelco en el diseño constructivo de las tiendas, tanto en sus equipamientos y tecnología como la diversidad de los productos.

Desde el punto de vista energético, en esa etapa se explotaron de equipos para la climatización con altos consumos de energía en tiendas por departamentos.

El derrumbe del campo socialista provocó un déficit del 75% de las mercancías, por lo que fue necesario variar la política comercial del país. Ello provocó la despenalización el dólar y la autorización de las remesas familiares. En esa etapa se crearon las tiendas recaudadoras de divisas con el consiguiente incremento del consumo de energía eléctrica debido a la climatización de las mismas. [Borroto, 2006].

1.3.1 Tecnologías para la climatización empleadas en el comercio interior en Cuba.

Para la climatización de las unidades de comercio interior del país se emplean equipos domésticos (De ventana y Splits) e industriales (Consolas de expansión directa).

La instalación de uno u otro tipo de equipos de los mencionados depende de:

- Valor de las aportaciones térmicas a transferir.

En establecimientos con alta carga térmica es factible la explotación de consolas de expansión directa, que distribuyen el aire mediante conductos. Las mismas, aunque encarecen los costos de adquisición y montaje resultan factibles desde el punto de vista energético. [Ámbriz, J. y Romero P, 2002].

- Características arquitectónicas.

En unidades de comercio donde es compleja la ubicación de los conductos para distribuir el aire, debido a la existencia de barreras arquitectónicas, es usual el empleo de sistemas partidos (Splits) o equipos de ventana.

Estas tecnologías ofrecen ventajas debido a los bajos costos de explotación y mantenimiento que presentan, pero consumen mayor cantidad de energía en relación a las consolas para iguales capacidades frigoríficas instaladas.

- Disponibilidad de áreas de fachada.

Cuando se dispone de suficientes paredes que colindan con el exterior, se pueden instalar en los comercios los equipos de ventana. Los mismos tienen como inconvenientes, además del referido a su alto consumo energético, que atentan contra el ornato del edificio.

Las tecnologías empleadas en el comercio interior y sus características se exponen a continuación:

- De ventana.

En una caja cuadrada se montan todas las partes funcionales del sistema y debe colocarse en un boquete practicado en la pared de tal forma que quede la mitad del equipo hacia el interior de la habitación y la otra hacia el exterior. [Carrier, 1999].

- Split de pared.

La unidad, que contiene el compresor y el condensador, se encuentra en el exterior del edificio y se comunica con el evaporador mediante tubos. La variedad de potencias ofertada es muy amplia. Poseen niveles de ruido muy bajos y son muy estéticos, sobre todo los de última generación. Tienen como inconvenientes que su instalación es más complicada que en los modelos de

ventana por lo que su costo es mayor. Es difícil de colocar en determinados sitios, como paredes pre-fabricadas. [Carrier S.A].

- Split de techo.

Su funcionamiento es similar a los de pared aunque suelen ser de mayor capacidad. Su instalación es más costosa y compleja. Pueden garantizar hasta 1,76 kW y se indica su uso para grandes espacios. Su mayor inconveniente radica en el elevado costo de instalación que presentan.

- Centrales (compactos tipo Fan Coils).

La idea es la misma que los de tipo Split pero la instalación es más compleja. Se utiliza en acondicionamiento completo de edificios.

El mantenimiento es sencillo y espaciado en el tiempo.

Su costo de instalación es alto debido a la necesidad de emplear conductos para distribuir el aire. [www.mercadolibre.com].

- Split (Consola de pared).

Este modelo resuelve en comercios de pequeños locales. Son de fácil instalación y relativamente bajo costo de la misma. Permiten planificar las actividades de mantenimiento mas espaciadas en el tiempo y con acciones relativamente fáciles. [www.mercadolibre.com].

Dentro de sus inconvenientes debe señalarse que no se pueden emplear en espacios muy amplios debido a la baja presión dinámica de sus ventiladores y en sentido general son de baja capacidad.

- Centrales (Compactos tipo Fan Coils).

Este diseño se aplica con mucha frecuencia en comercios donde se requiere confort extra y de un mayor nivel de decorado. Permiten alta estabilidad térmica y mantenimiento relativamente espaciado en el tiempo. [www.hogaraldía.com].

- Roof-Top.

Se destacan por su fácil instalación. Al tratarse de una unidad compacta, disminuye la cantidad de tubos a utilizar y proporciona la máxima flexibilidad en la selección de la desembocadura de los conductos lateral e inferior. [www.hogaraldía.com].

1.3.2 Aportaciones térmicas a vencer para la climatización de unidades de comercio.

El confort es una condición relacionada con las características biológicas de las personas pues cada una de ellas siente las condiciones termodinámicas del aire ambiente en los recintos climatizados de forma diferente, atendiendo a sus particularidades fisiológicas. No obstante, se definen como condiciones de confort humano las que se obtienen cuando existe una temperatura de 24 °C y una humedad relativa del aire del 70%. [Colectivo de autores, 2006].

Para lograr los parámetros anteriores, el sistema para la climatización debe transferir el calor desde los recintos hasta el ambiente. La cantidad de calor referida se conoce como “Aportaciones térmicas” del recinto y las se ceben a:

- Estructuras.

Debido a la diferencia entre los valores de los parámetros termodinámicos exteriores e interiores del aire se establece un flujo de calor desde el exterior hasta el interior de los recintos climatizados a través de paredes, techo y piso.

En este caso se considera sólo el calor sensible ya que la cantidad de humedad que atraviesa las estructuras desde el exterior es insignificante,

La cantidad de calor que ingresa al recinto por este concepto es proporcional a la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior, el coeficiente global de transferencia de calor de los materiales que forman la estructura y el área de la pared en cuestión. [Carrier, 1999].

En unidades de comercio interior es común encontrar fachadas de cristales por lo que debe considerarse la cantidad de calor que ingresa a las mismas debido a la radiación solar que depende de la latitud geográfica donde se encuentra el recinto y la orientación cardinal de la pared.

El valor de las aportaciones térmicas por metro cuadrado para todas las latitudes y orientaciones geográficas posibles se encuentra tabulado como resultado de investigaciones precedentes por lo que la cantidad de calor que ingresa por determinada fachada de cristales resulta de multiplicar el valor tabulado por el área de la misma. [Stoecker, 1981].

- Ocupantes.

Las personas aportan calor sensible y latente al medio ambiente debido a su actividad metabólica y la cantidad depende del tipo de actividad que realicen las mismas.

En el caso de comercios los individuos realizan una actividad ligera por lo que la cantidad de calor total transferida al ambiente oscila entre 80 y 150 W ocupante: No obstante, el número elevado de personas que ingresan a estos recintos hacen de ese tipo de aportación una de las mayores. [Trane].

- Equipos y alumbrado.

En las unidades comerciales actuales se generan cargas térmicas que en décadas pasadas no existían. Las mismas se deben a: [Colectivo de autores].

- ✓ La proliferación de aparatos en oficinas relacionados con la informática como ordenadores, impresoras, y fotocopiadoras.
- ✓ La existencia de sistemas de refrigeración en los exhibidores de productos como freezers y vitrinas refrigeradas.

De ellos, los segundos constituyen los que mayor carga térmica aportan, pues además de la potencia eléctrica que consumen, disipan el calor de la condensación del refrigerante en el interior del recinto.

Para solucionar este fenómeno se propone el transporte del calor de condensación de estos equipos hasta las puertas de acceso al exterior. De esa forma, se crea una cortina de aire caliente en las mismas y durante su apertura, el aire que sale del recinto climatizado es el que se transportó desde los condensadores. Con ello se logra mejorar el desempeño energético de la climatización.

En cuanto a la iluminación, la misma es un factor de calentamiento notable sobre todo, cuando los comercios no tienen fachadas al exterior. En esos casos, al no existir prácticamente transferencia de calor por estructuras, la mayor aportación térmica se debe a su sistema de iluminación y su valor se estima en un entre 15 o 25 W/m². [Carrier, 1999].

- Infiltraciones de aire.

La falta de hermeticidad de los comercios debido al mal estado de sus estructuras, así como la apertura constante de puertas condicionan la entrada de aire exterior a los mismos, con determinada cantidad de calor, tanto sensible como latente.

La aportación térmica debido a la deficiente calidad de las estructuras se puede solucionar mediante la reparación de estas, sin embargo la que se produce por la constante apertura de las puertas está concebida como una necesidad de la actividad comercial para el acceso de los clientes a los establecimientos.

Las anteriores cargas térmicas se consideran propias del recinto, pues se deben a la explotación del mismo, sin embargo, existe una aportación que se considera ajena a los recintos pues no depende de las características constructivas o de explotación de los mismos, sino a aspectos higiénicos-sanitarios y consiste en:

- La ventilación.

Esta aportación se debe a la cantidad de calor presente en el volumen de aire necesario para ventilar a los comercios climatizados.

La aglomeración de personas en el interior de estos recintos, la presencia de sustancias con olores fuertes y el aspecto epidemiológico, obligan a renovar determinada cantidad del aire viciado del interior por una cantidad similar desde el medio ambiente.

El mismo ingresa con las condiciones termodinámicas del exterior (altas) la cantidad de calor que posee se transfiere al equipo de climatización.

La cantidad de aire a renovar depende del número de personas que admite la unidad comercial.

En resumen se puede concluir que, en unidades comerciales, las mayores aportaciones térmicas corresponden a los equipos, la ventilación y la infiltración de aire quedando el resto relegadas a un segundo plano.

Para transferir las aportaciones térmicas desde los recintos hasta los equipos para la climatización se emplea el método conocido como "Ciclo de refrigeración por compresión de vapores".

A continuación se ofrecen los aspectos más significativos del mismo.

1.4 Climatización a partir del ciclo de refrigeración por compresión de vapores.

Un motor de Carnot es un dispositivo ideal que opera entre dos temperaturas. El mismo toma calor Q_1 del foco caliente a la temperatura T_1 , produce un trabajo W , y cede calor Q_2 al foco frío a la temperatura T_2 . En un motor real, el foco caliente está representado por la caldera de vapor que suministra el calor, el sistema cilindro-émbolo produce el trabajo y se cede calor al foco frío que es la atmósfera.

La máquina de Carnot también puede funcionar en sentido inverso, denominándose entonces ciclo frigorífico. [Fairs, 1982].

En ese caso se extrae calor Q_2 del foco frío aplicando un trabajo W , y se cede Q_1 al foco caliente, que es la atmósfera. Para ello es necesario contar con los cuatro procesos que se ilustran en la figura 1.1.

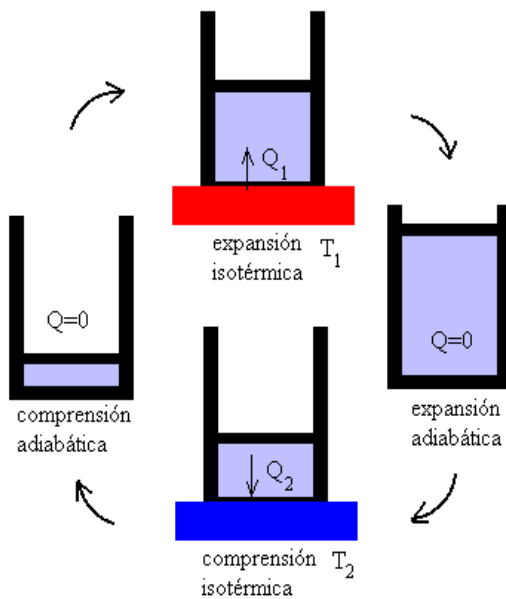


Figura 1.1. Representación esquemática del ciclo frigorífico de Carnot.

La representación termodinámica de cada proceso en un diagrama Presión contra Volumen se muestra en la figura 1.2.

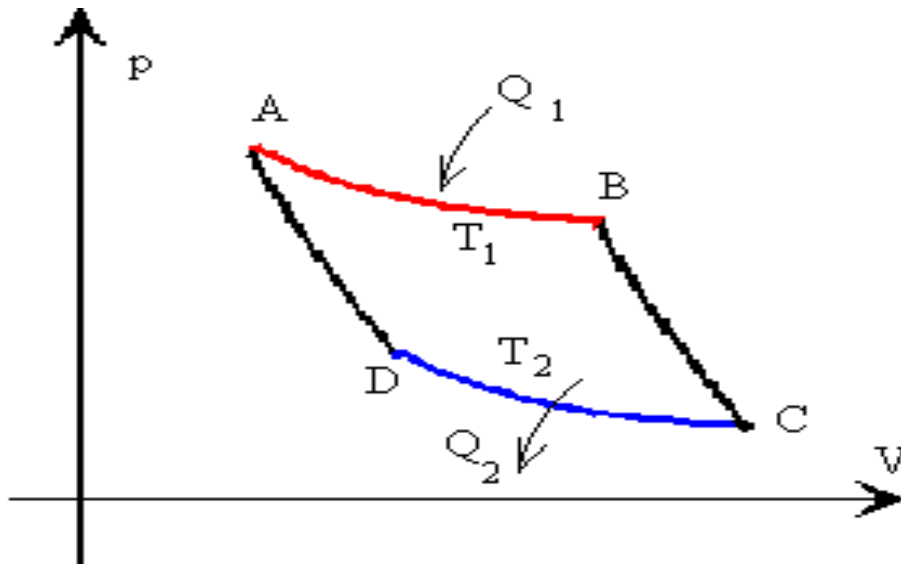


Figura 1.2. Representación termodinámica del ciclo frigorífico de Carnot.

Como se aprecia, la absorción y cesión de calor de la sustancia de trabajo se produce según dos procesos isotérmicos en tanto la compresión y expansión de la misma se realiza de forma adiabática. [Colectivo de autores, 2006].

En condiciones reales ello no sucede así, por lo que es conveniente representar el ciclo real en el diagrama termodinámico de Presión contra Entalpía, con lo que se logra obtener de forma directa la cantidad de calor involucrada en los procesos de condensación y evaporación del refrigerante, así como la cantidad de trabajo empleado en el ciclo para calcular su indicador termodinámico.

1.4.1 Indicador energético del ciclo de refrigeración por compresión de vapores.

La necesidad de emplear determinada cantidad de energía para obtener los beneficios del ciclo de refrigeración impide que en el mismo se pueda hablar de eficiencia. En su lugar se define el Coeficiente de Comportamiento (C.O.P, siglas en inglés).

El C.O.P. es el cociente entre la diferencia de entalpía correspondiente al calor absorbido y al trabajo termodinámico realizado sobre el refrigerante y constituye el indicador termodinámico del ciclo. Su valor representa las bondades termodinámicas del mismo, es decir, el aprovechamiento que este hace del trabajo empleado para absorber determinada cantidad de calor.

De lo anterior resulta que en la medida que el valor del C.O.P. crece, el ciclo es más bueno pues absorbe mayor cantidad de calor para igual cantidad de trabajo realizado. Como se aprecia, en el indicador referido se toma en cuenta sólo los aspectos termodinámicos del ciclo, por lo que no es apropiado para evaluar el comportamiento energético de las instalaciones para la climatización operando en condiciones reales. Para ello es necesario tener en cuenta las pérdidas que se originan en: [Ámbriz y Romero, 2002].

- El compresor, debido a aspectos tribológicos.
- El condensador y evaporador, debido a variación del Coeficiente Global de transferencia de calor de las superficies térmicas.
- La fuente motriz (Motor eléctrico), debido a ineficiencias eléctricas.

Para tomar en consideración los aspectos señalados se define como indicador energético de las instalaciones de refrigeración por compresión de vapores, que soportan a la climatización, la Razón de Eficiencia Eléctrica (E.E.R, siglas en inglés), que también se conoce como Eficiencia Eléctrica Relativa.

La E.E.R se define entonces como, la cantidad de calor en el proceso de evaporación del ciclo en relación a la cantidad de energía eléctrica empleada y la calidad del desempeño energético de las instalaciones para la climatización es proporcional al valor de dicho indicador.

Los equipos para la climatización instalados en las unidades de comercio interior en Cuba operan con una Eficiencia Eléctrica Relativa que oscila entre 2.6 y 3.3.

La crisis energética que atraviesa el mundo, obliga a los fabricantes de las diferentes tecnologías para la climatización a esforzarse por obtener equipos con alta E.E.R, ya que ello significa un atractivo para atraer clientes para sus productos. [Lora, 2006].

No obstante, la igualdad de oportunidades en el acceso de las diferentes firmas productoras de tecnologías para la climatización a los adelantos científicos en materia de diseños y manufactura de superficies de transferencia de calor, elementos mecanismales y motores eléctricos, hacen que los valores de E.E.R. que obtienen las mismas para sus tecnologías no difieran considerablemente.

La E.E.R, no constituye el único factor a tomar en cuenta respecto al consumo energético de las instalaciones para la climatización. En ese sentido es importante

observar que, durante la explotación de las mismas, las condiciones de diseño interior de los recintos (Temperatura y contenido de humedad), no sean inferiores a las previstas.

La inadecuada selección de las capacidades de climatización a instalar constituye la causa fundamental del exceso de consumo de la climatización en unidades de comercio. Ese fenómeno está asociado a una inapropiada estimación de las aportaciones térmicas a vencer en estos recintos.

1.5 Métodos para la selección de las capacidades de climatización.

La garantía de un desempeño óptimo de las tecnologías para la climatización comienza con la adecuada selección de sus capacidades. La misma debe ser tal, que exista una correspondencia entre su disponibilidad y la demanda.

En ese sentido, la capacidad seleccionada debe garantizar las condiciones termodinámicas de diseño previstas en el proyecto.

A partir de las prestaciones que realizan las instalaciones para la climatización, la adecuada selección de sus capacidades se relaciona directamente con una apropiada estimación de la carga térmica a transferir desde los recintos al exterior.

Históricamente, los métodos de cálculo empleados para la determinación de la carga térmica han evolucionado como se muestra en la figura 2, teniendo en cuenta la complejidad y precisión de cada uno. Como es de esperar la complejidad aumenta al aumentar la precisión.

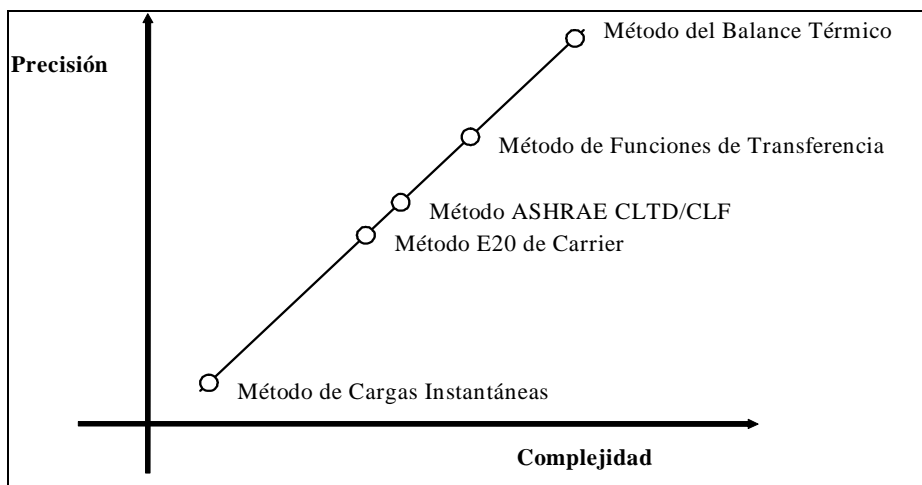


Figura 2. Comparación de diversos métodos de cálculo [Fuente. Temas avanzados de refrigeración. C.E.E.M.A., 2006].

A continuación se resumen brevemente las principales características de cada uno de ellos: [Colectivo de autores., 2006].

- Método de Cargas Instantáneas.

En este método los conceptos de carga térmica y aportación de calor significan físicamente lo mismo. Cualquier calor ganado por el local debe ser retirado instantáneamente para que no cambien las condiciones interiores. Dicho de otro modo, no considera el almacenamiento de calor debido a los elementos implicados en el proceso térmico. Este método es poco preciso en los casos en que la acumulación de calor es significativa, es decir, cuando la ganancia de calor no coincida con la carga térmica.

- Método del Balance Térmico.

En cuanto a precisión y complejidad este método aparece en el extremo opuesto de la escala, considerando los tres mecanismos de transmisión de calor (conducción, convección y radiación) y la acumulación de calor. Para todas las superficies y volúmenes incluidos en el local se plantea un balance de energía con las leyes fundamentales de la transmisión de calor. Las ecuaciones que resultan se resuelven simultáneamente ya que en general estarán acopladas.

Las pocas suposiciones y simplificaciones incluidas en este modelo matemático le acercan a lo que sucede realmente en los fenómenos naturales, por eso el método es muy exacto, pero con la desventaja de la complejidad de los cálculos que hacen imprescindible la utilización de herramientas informáticas.

- Métodos E20 de Carrier y CLTD/CLF de ASHRAE.

Entre los dos métodos comentados previamente hay otros muchos métodos de complejidad y precisión intermedias. Dos de ellos son los métodos E20 y CLTD/CLF, que son distintos pero conceptualmente similares.

En ambos se emplean tablas de factores de carga pre-calculados para condiciones estándares de referencia. En ellas se considera la temperatura exterior y radiación solar propias de un día del mes de Julio en una localidad a 40°C de latitud norte.

Con esos datos se obtiene una carga térmica que luego hay que corregir, con tablas de temperatura exterior, latitudes reales y las características constructivas propias del edificio objeto de diseño.

El método E20 de Carrier incluye tablas con la Diferencia Equivalente de Temperaturas (ETD), que evalúan la carga debida a muros y techos, y tablas con Factores de Acumulación de Carga (SLF), que cuantifican la carga transitoria debida a radiación solar e iluminación.

El método de la ASHRAE define factores similares llamados *Diferencia de Temperatura para Carga de Refrigeración* (CLTD, siglas en inglés) y *Factores de Carga para Refrigeración* (CLF, siglas en inglés).

En ambos métodos se han calculado de antemano las cargas en las condiciones de referencia, y se proporcionan factores de corrección para los casos concretos. Las correcciones son a menudo imprecisas porque no tienen en cuenta todas las situaciones específicas (por ejemplo, sólo se pueden considerar regímenes de funcionamiento de los equipos de 12, 16 ó 24 horas y no casos intermedios). Este hecho disminuye la precisión de los resultados.

Antes de que estuviese extendido el uso de los ordenadores los dos métodos eran muy empleados por su fácil manejo. Hoy en día se suele recurrir a otros procedimientos informáticos con resultados más exactos. Aun así se siguen empleando el E20 de Carrier y el Método ASHRAE ya que sus tablas y factores de corrección han sido implementados en prácticos programas informáticos.

1.6 Impacto medio ambiental de la climatización.

El impacto negativo que produce esta actividad en el medio ambiente se divide en: [Erico., 2006].

1. Impacto directo.

Los sistemas de acondicionamiento de aire utilizan refrigerantes cloro-flúor-carbonados (CFCs) o hidrogeno-cloro-fluor-carbonados (HCFCs). [Colectivo de autores, 2006].

Su inmisión en la atmósfera contribuye al incremento del calentamiento global del planeta. La causa radica en la liberación del Cloro presente en esos compuestos

que provoca la destrucción de la capa de ozono. Un átomo de esa sustancia, es capaz de disociar hasta 100 000 moléculas de ozono.

Para caracterizar el impacto de estas sustancias sobre el medioambiente se han desarrollado tres índices que son: [Colectivo de autores, 2006].

- Potencial de Destrucción de la capa de Ozono (O.D.P, siglas en inglés).
- Potencial de Calentamiento Global (G.W.P. siglas en inglés).
- Impacto sobre el Calentamiento Total Equivalente (T.E.W.I. sigla en inglés).

2. Impacto indirecto.

Está asociado a los inconvenientes medio ambientales de la generación de la energía eléctrica a partir de combustibles fósiles que consume la climatización.

Los resultados de investigaciones en este sentido muestran que este impacto es superior en la tecnología del tipo centralizada (99%) en relación a la domestica (70%). [Colectivo de autores, 2006].

Es conveniente aclarar que el planteamiento anterior es válido, cuando se comparan “tipos de tecnologías”, sin tomar en cuenta sus capacidades. De esa forma, “un” sistema central para la climatización produce mayor impacto indirecto que “un” equipo doméstico para esos fines, pues el primero consume más energía eléctrica. Si embargo, este impacto será menor si se sustituye un número determinado de equipos domésticos por uno centralizado que maneje igual capacidad de refrigeración.

Lo anterior se sustenta en que; en la actividad de climatización, la tendencia a centralizar las capacidades garantiza menor consumo de energía eléctrica.

Por otra parte, la actividad de mantenimiento de ambas tecnologías impacta al medio ambiente con consecuencias negativas similares cuando existe un mal manejo de los desechos que genera.

CAPITULO II

2. ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR CONCEPTO DE CLIMATIZACIÓN EN LA UNIDAD COMERCIAL “LA LUZ DE YARA” DE HOLGUÍN. ACCIONES PARA SU REDUCCIÓN.

2.1 Breve caracterización de la unidad comercial la “Luz de Yara”

2.1.1 Generalidades.

La unidad comercial la “Luz de Yara” se encuentra enclavada en la calle Maceo esquina a Frexes, pertenece a la división Oriente Norte de la cadena de tiendas TRD Caribe de la provincia Holguín.

La misión del establecimiento es la venta de productos de primera necesidad, efectos electrodomésticos, confecciones textiles y zapatería en cuc, con el adjetivo de recaudar divisa para contribuir a la economía del país. Para ello cuenta con una plantilla de 71 obreros y en la misma se obtiene una recaudación promedio de 8148,26 cuc diario, para una media de 149,16 cuc/ trabajadores y 11,67 cuc/m².

2.1.2 Características estructurales.

En la tabla 2.1 se muestran las particularidades constructivas del recinto que ocupa el primer piso de la unidad donde se desarrolla la investigación.

Estructura	Orientación	Material	Área [m ²]
Techo	Horizontal	Hormigón con falso techo de Yeso	318
Piso	Horizontal	Granito	318
Pared	Norte	Bloques revestidos y cristales	42.9
	Sur	Bloques revestidos	42.9
	Este	Bloques revestidos y cristales	66,0
	Oeste	Bloques revestidos	66,0

Tabla 2.1 Características constructivas del primer piso de la unidad comercial “La luz de Yara”.

Las características declaradas en la tabla 2.1 definen la cantidad de calor que ingresa al recinto a través de sus estructuras desde el exterior.

Atendiendo a la variedad de productos que se ofertan, el recinto se divide en cuatro departamentos bien delimitados.

Es importante conocer los valores de área de piso y volumen de cada uno pues, aunque los mismos no se encuentran divididos por muros, cada uno incide de forma diferente en el valor de las aportaciones térmicas totales registradas en el recinto. Los mismos se muestran en la tabla 2.2.

1er Piso	Superficie [m ²]	Volumen [m ³]
Mercado	118	354
Confituras	50	150
Ferretería	100	300
Electrodomésticos	50	150
Total	318	954

Tabla 2.2 Superficie y volumen de los departamentos del primer piso de la unidad comercial “La luz de Yara”.

2.1.3 Tecnologías para la climatización instaladas y condiciones de diseño.

La climatización del primer piso de la unidad se obtiene a partir de la tecnología tipo Split

Existe uniformidad en cuanto a marca y modelo de los equipos para la climatización en la unidad con diferencia, solo, en las capacidades frigoríficas y potencia eléctrica demandada por los mismos lo que constituye una ventaja para el mantenimiento y la reparación de estas tecnologías.

La diferencia entre las capacidades frigoríficas instaladas responde a las características térmicas de las áreas donde tributa cada equipo.

Las condiciones de diseño exterior corresponden a la latitud geográfica y altura sobre el nivel del mar del lugar donde se encuentra enclavada la unidad. En los anexos se muestran los valores promedios anuales para la latitud de Cuba que sirvieron como fuente para su determinación.

Las condiciones interiores se establecen como recomendaciones en función de la actividad que se realiza en el interior del recinto.

Sus valores se recogen en la tabla 2.3.

Condiciones de diseño	Interior	Exterior
Temperatura del bulbo seco [°C]	24	32.5
Humedad relativa [%]	55	75.3
Velocidad del viento [m/s]	0.4	4,0

Tabla 2.3 Condiciones termodinámicas de diseño del local

2.2 Herramienta empleada en la investigación.

Para cumplir el objetivo de la investigación, es necesario analizar las causas que condicionan el elevado consumo energético de la climatización en la entidad.

De acuerdo a la hipótesis establecida para direccionar la investigación, es preciso estimar el valor de las aportaciones térmicas que se producen hacia el interior del recinto. Ello consiste en estudiar sus aspectos cualitativos y finalmente calcular el valor de las mismas por cada fuente térmica que aporta calor al recinto.

Como se explicó en el epígrafe 1.5 del capítulo I, lo anterior se puede realizar con el empleo de varios métodos. De los disponibles, en esta investigación se aplica el desarrollado por Carrier, pues el mismo garantiza resultados más precisos en comparación a otros. Ello se debe a que este método toma en cuenta el fenómeno del almacenamiento del calor en las estructuras del recinto. Por otra parte, su aplicación es de relativa facilidad.

Esta herramienta se emplea actualmente en las Empresas de Proyecto de sistemas de climatización del país y se encuentra avalada por sus comités de calidad, lo que prueba la fiabilidad de sus resultados. En el presente trabajo la misma se desarrolla con auxilio de la informática, empleando para ello la hoja de calculo Carrier montada en soporta magnético a partir del utilitario Excel. La carátula se muestra en los anexos.

2.3 Metodología de trabajo.

A partir del sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía (G.T.E.E.) y el método de análisis propuesto por Carrier se conformó la siguiente metodología de trabajo:

1. Identificación de las potencialidades de ahorro energético del sistema (G.T.E.E.). [C.E.E.M.A, 2006].
2. Análisis energético.
3. Propuesta de acciones.

A continuación se presenta el desarrollo de la metodología de trabajo empleada.

2.4 Identificación de las potencialidades de ahorro energético del sistema.

Para identificar las potencialidades de ahorro energético de la climatización en la entidad, se siguieron las siguientes recomendaciones realizadas en el sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía (G.T.E.E): [C.E.E.M.A, 2006].

1. Garantizar que la capacidad instalada se ajuste a la demanda.
2. Estudiar las particularidades de las aportaciones térmicas y disminuir los valores de aquellas que lo permitan.

Respecto al primer aspecto, se realizaron mediciones de los parámetros termodinámicos del recinto y se obtuvo como resultado que en el mismo se alcanza una temperatura de 22°C, es decir, 2°C inferior a la que corresponde de acuerdo con la aplicación del inmueble. De ello se dedujo el siguiente:

- Presupuesto teórico.

En el recinto bajo estudio, la capacidad frigorífica instalada es superior a la requerida. Para su validación, se estimó la carga térmica del recinto y se comparó con la potencia frigorífica instalada con los siguientes resultados.

2.4.1 Estimación de la carga térmica del recinto.

Las fuentes que generan calor hacia el recinto y que debe compensar la climatización son:

- Estructuras.
- Ocupantes.
- Equipos y alumbrado.
- Infiltraciones de aire.
- Ventilación.

A continuación se presenta el procedimiento empleado para cuantificar cada aportación térmica.

- **Calor a través de estructuras.**

Se consideró el efecto de la radiación solar directa que ingresa a través de cristales así como la cantidad de calor que atraviesa las paredes del recinto debido a la convección y conducción.

La radiación solar se encuentra tabulada para la orientación cardinal de cada pared, en tanto la cantidad de calor que ingresa por conducción se obtuvo a partir del coeficiente global de transferencia de calor, el área de pared y la diferencia de temperatura establecida entre el exterior y el interior.

En la tabla 2.4 se ofrecen los resultados.

Estructura	Q [kW]
Vidrio	7.1
Paredes	10.61
Total	17.71

Tabla 2.4 Aportaciones térmicas a través de estructuras.

- **Calor debido a los ocupantes.**

El calor total (Q_t) que disipa el cuerpo humano al ambiente se divide en sensible (Q_s) y latente (Q_l). El primero se debe a la diferencia de temperatura entre el mismo y el recinto, mientras la segunda tiene su origen en la sudoración y respiración que condicionan la expulsión al medio de determinada cantidad de humedad.

Sus valores se obtuvieron de las tablas, en función del tipo de actividad que realizan las personas. [Carrier, 1999].

En la tabla 2.5 se muestran los resultados.

Número de Ocupante	Q_s [kW]	Q_l [kW]	Q_{total} [kW]
80	4.65	5.86	10.51

Tabla 2.5. Aportaciones térmicas debido a ocupantes.

Como se aprecia, existe un predominio del calor latente sobre el sensible, condicionado por los altos valores de transpiración de los ocupantes debido al clima húmedo del país.

- **Calor debido a equipos y alumbrado.**

Esta aportación térmica (Q) resulta de la cantidad de energía consumida por los equipos y el sistema de alumbrado de la unidad que no se transforma en luz y se manifiesta como calor.

El calor disipado por los equipos en el interior de la unidad comercial es sensible pues no existen aparatos que generen vapor de agua.

La tabla 2.6 muestra los resultados.

Concepto	Tipo	Q [kW]
Alumbrado	Fluorescente	1.8
Equipos	Neveras y otros	24.99
Total		26.79

Tabla 2.6. Aportaciones térmicas debido a equipos y alumbrado.

- **Calor debido al aire por infiltraciones y ventilación.**

La unidad comercial donde se desarrolla la investigación es visitada diariamente por gran cantidad de público, por lo que se producen aperturas continuas de sus puertas e ingresa al recinto aire proveniente del exterior con alta entalpía.

En la tabla 2.7 aparece la cantidad de puertas, su área y ubicación.

Ubicación	Dimensiones [m]	Cant.	Área [m ²]
Entrada principal	2.1 x 2.00	2	8,4
Mercado	2.10 x 2.00	1	2,1
Total			10,5

Tabla 2.7. Características de las puertas del primer piso de “La Luz de Yara”

Por otra parte, es necesario el intercambio del aire interior viciado por el del exterior fresco para garantizar la ventilación del recinto.

El calor Q_t que porta el aire es sensible Q_s y latente Q_l debido a su alta temperatura y humedad. Las expresiones de cálculo aparecen en el anexo I.

En la tabla 2.8 se relaciona el valor de estas aportaciones térmicas.

Concepto	Q_s [kW]	Q_l [kW]	Q_t [kW]
Infiltración del aire por puertas	2.79	10.88	13.67
Ventilación	3.23	12.57	15.80

Tabla 2.8. Aportaciones térmicas debido a infiltraciones de aire y ventilación.

De acuerdo al método empleado, el valor de la carga térmica a vencer por los equipos para la climatización se obtiene aplicando un 5% de seguridad por encima del valor estimado.

Al sumar los valores obtenidos para cada concepto en el epígrafe 2.3.1, se obtiene que la carga térmica total presente en el recinto bajo estudio es de 84.48 kW por lo que la carga térmica a vencer, considerando el coeficiente referido es de 88,70 kW como se muestra en la tabla 2.9.

Concepto	Q_t [kW]
Equipos	24.99
Ventilación	15.80
Infiltración del Aire	13.67
Paredes	10.61
Ocupantes	10.51
Radiación solar	7.1
Alumbrado	1.8
Carga térmica Total	84.48
Carga térmica a vencer	88,70

Tabla 2.9. Carga térmica estimada y demanda de capacidad frigorífica para la climatización del primer piso de la “Luz de Yara”

En la tabla 2.10 se muestra la diferencia existente entre la demanda energética del recinto y la capacidad frigorífica de los equipos para la climatización.

Capacidad instalada [kW]	Capacidad demandada [kW]	Diferencia [kW]
137.28	84.48	52,8

Tabla 2.10. Capacidad instalada y demandada para la climatización del primer piso de la “Luz De Yara” de Holguín

Los resultados anteriores prueban la veracidad del presupuesto teórico enunciado y permiten establecer la:

- **Primera conclusión parcial.**

En el primer piso de la entidad bajo estudio existe exceso de capacidad frigorífica instalada respecto a la demanda.

2.4.2 Análisis para la disminución de las aportaciones térmicas.

Para determinar las aportaciones térmicas sujetas a análisis, de acuerdo a lo establecido en el sistema de G.T.E.E., se aplicó la Ley de Pareto (Figura 2.1) a los resultados obtenidos en la estimación de la carga térmica (tabla 2.9).

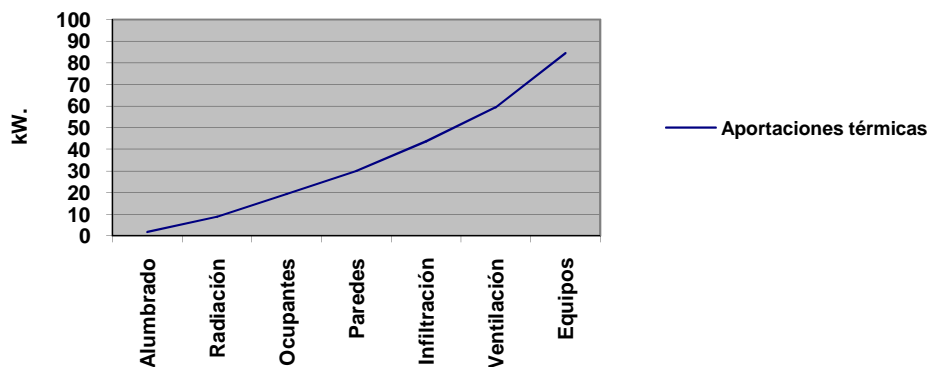


Figura 2.1. Diagrama de Pareto para las aportaciones térmicas del primer piso de la “Luz De Yara” de Holguín.

Al aplicar ese procedimiento se observa que existen cuatro causas cuyos valores, sumados, representan más del 80% de la carga térmica total del recinto bajo estudio y por tanto, constituyen el objeto de análisis en este epígrafe.

Concepto	Qt [kW]
Equipos	24.99
Ventilación	15.80
Infiltración del Aire	13.67
Paredes	10.61
Total	65.07

Tabla 2.11. Causas que producen más del 80% de la carga térmica total del primer piso de la "Luz de Yara" de Holguín

A continuación se presenta el análisis de cada causa:

1. Ventilación.

La cantidad de aire que ingresa al inmueble por ese concepto, es un valor recomendado para garantizar su higiene por lo que no es permitida su reducción.

2. Infiltraciones de aire.

Están asociadas al uso de las puertas por parte de los clientes que ingresan a la unidad comercial, por lo que no se pueden reducir.

3. Estructuras.

La cantidad de calor que penetra por las paredes está sujeta a su coeficiente global de transferencia de calor, su área y la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior. Existen alternativas para su disminución que no son factibles a aplicar en el recinto que se investiga, dada su ubicación y objeto social

4. Carga térmica debida a los equipos.

La misma se debe, al calor de condensación de los equipos de refrigeración instalados en el recinto. Aunque el equipo climatizador debe seleccionarse de manera que pueda aceptar esta carga, su efecto sobre el mismo se puede atenuar aplicando el principio de las producciones más limpias.

En ese sentido se encontró como solución, compensar la cantidad de calor cedida por ese concepto con las infiltraciones de aire por la apertura de puertas.

Para ello es necesario llevar el aire que circunda los condensadores de los equipos de refrigeración hasta la parte superior de las puertas del recinto, creando una cortina de

aire con alta condición entálpica paralela al área de la puerta. De esa forma, cuando la puerta se abre, el aire que sale no es el de baja condición entálpica que manejan los equipos climatizadores, sino el que se transportó desde la condensación de los equipos de refrigeración del inmueble.

Esta solución implica un gasto energético adicional por concepto de potencia eléctrica necesaria para la extracción del calor de condensación de los equipos. Su efecto se analiza en el epígrafe 2.5.2.

De lo anterior se deduce la:

- **Segunda conclusión parcial.**

Es posible disminuir la carga térmica que provocan los equipos aplicando el principio de las Producciones Más Limpias.

2.5 Análisis energético.

En los análisis realizados, tanto para la capacidad frigorífica instalada, así como para la reducción de la carga térmica debida a los equipos se ha considerado la potencia calórica. Para referirlos a consumo energético es necesario considerar el tiempo en que se manifiestan estos fenómenos durante el año. A continuación se desarrolla cada aspecto.

2.5.1 Exceso de capacidad frigorífica instalada.

Para cuantificar su valor se siguieron los siguientes procedimientos.

1. Se calculó la potencia eléctrica que representa el exceso de capacidad frigorífica de los equipos a partir de la Eficiencia Eléctrica Relativa (Tabla 2.12) con que los mismos operan.

Equipo	Marca	Cantidad	Q [kW]	N [kW]	E.E.R
Split	Confort Star	6	84,48	199,58	2,36
Split	Confort Star	3	52,8	151,54	2,87

Tabla 2.12 Eficiencia Eléctrica Relativa de los Split del primer piso de la unidad comercial "La Luz de Yara".

2. Se midió el tiempo de operación de los equipos respecto al tiempo real y se obtuvo una relación del 69% que representan 20148 horas de funcionamiento de las 3069 horas totales que presta servicios la entidad en un año.

3. Se encontró el producto de los anteriores valores.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.13.

Concepto	Valor
Exceso de capacidad frigorífica [kW]	52,8
E.E.R.	2,36
Exceso de potencia eléctrica instalada [kW]	22,3
Tiempo anual de operación de los equipos [h]	2148
Exceso de consumo de energía anual [kW/h/año]	47900

Tabla 2.13. Exceso de consumo anual debido al exceso de capacidad frigorífica instalada en equipos para la climatización de la "Luz de Yara" de Holguín.

2.5.2 Disminución de la carga térmica a vencer por los equipos.

Para realizar el análisis se partió de las siguientes:

Consideraciones.

- El valor en que disminuye la carga térmica debido a los equipos de refrigeración, ubicados en el interior del recinto, depende de la cantidad de aire proveniente de la condensación de los mismos (con alta condición entálpica) que se evacue al exterior.
- No todo el volumen de aire referido se podrá evacuar al ambiente, pues las puertas no permanecen abiertas todo el tiempo.
- La cantidad de aire que sale (V_a) depende de su velocidad al atravesar la puerta, de la sección de esta y del número de aperturas que la misma tenga para la unidad de tiempo considerada [Trane, 2000].
- La velocidad con que el aire atraviesa la sección de la puerta, está en función de la resistencia que le ofrece el aire exterior y se estima a partir de la diferencia de presión interior menos exterior [Carrier, 1999]. La primera es superior a la segunda debido a que los sistemas de climatización crean sobre presión en los recintos.

A partir de esos valores se obtuvo que salen al exterior $1102 \text{ m}^3 / \text{h}$ de aire. Para determinar su efecto energético en los equipos para la climatización se siguieron los siguientes procedimientos:

1. Se calculó la potencia calórica (Q) que corresponde a ese volumen de aire, entre las condiciones de temperatura de la condensación (42°C) y la media exterior (29°C) mediante la expresión que se muestra a continuación:

$$Q_s = \frac{0,3 V_a}{(t_c - t_e)}$$

Donde:

Qs. Calor sensible del aire de la condensación. [kW].

Va. Volumen de aire de la condensación [m³/h].

(tc-te). Diferencia de temperatura entre el aire de la condensación y el exterior [°C].

2. Se determinó la potencia eléctrica (Ne) que deja de consumir el equipo enfriador por concepto de no vencer la potencia calórica (Q), pues se expulsa al exterior. Se calculó a partir de la E.E.R. del equipo de la tabla 2.12.

3. Con el valor anterior y el tiempo de apertura de las puertas para un año, (Ta) se obtuvo la cantidad de energía eléctrica bruta (Ee) que es posible ahorrar derivando el calor de la condensación a las puertas.

4. Para determinar el tiempo anual de apertura de las puertas, se midió en días de máxima y mínima afluencia de clientes, se encontró el promedio y se refirió a un año. Se obtuvo que, de las 9 horas que presta servicios el establecimiento, las puertas permanecen abiertas 7 horas como promedio y, al referirlo a los 341 días que trabaja la entidad durante el año, resultó un tiempo total de 2387 horas al año.

En la tabla 2.14 aparecen los resultados.

Va [m ³ /h]	(tc-te) [°C]	Q [kW]	E.E.R.	(Ne) [kW]	(Ta) [h/año]	(Ee) [kW/h/año]
1102	13	5	2,36	2,11	2387	5036

Tabla 2.14 Consumo de energía eléctrica del extractor seleccionado.

5. Se encontró la cantidad de energía que consume el extractor (Eext.) para mover el aire de la condensación hasta las puertas a partir de la potencia consumida (Catálogo) y el tiempo total. (Tabla 2.15).

Va [m ³ /h]	Tipo de extractor	Next. [kW]	(Ta) [h/año]	(Eext.) [kW/h/año]
1102	C-21V	0,5	3069	1534

Tabla 2.15 Consumo de energía eléctrica del extractor seleccionado.

6. Se restó el consumo energético del extractor (Eext.) a la cantidad de energía eléctrica bruta (Ee) que es posible ahorrar derivando el calor de la condensación a las puertas. (Punto 3º) y se obtuvo el valor de ahorro neto (En) de energía eléctrica por ese concepto, como se muestra en la tabla 2.16.

Ee [kW/h/año]	Eext. [kW/h/año]	En [kW/h/año]
5036	1534	3502

Tabla 2.16 Ahorro de energía eléctrica neto.

2.6. Propuesta de acciones para eliminar el exceso de consumo registrado.

A partir de los resultados obtenidos se propone realizar las siguientes acciones:

1. Ajustar la potencia frigorífica instalada al valor de la demanda de carga térmica dejando fuera de servicio un número de equipos, cuya capacidad frigorífica sumada sea similar al exceso registrado.

Los mismos aparecen en la tabla 2.17.

Split	Capacidad frigorífica [kW]
4	17,6
6	17,6
7	14,08
Total	49,28

Tabla 2.17. Propuesta de equipos para la climatización a eliminar en el primer piso de la unidad comercial "La Luz de Yara".

El resto de los equipos deben reubicarse atendiendo a sus capacidades frigoríficas en relación a la carga térmica de las zonas donde se coloquen. (Ver anexos)

2. Instalar un extractor de la marca Frioclíma, modelo C-21V con una capacidad de 1102 m³ /h y una presión estática de 15 mm de la columna de agua.

De las acciones propuestas se deriva el siguiente plan de medidas:

Nº.	Medidas	Ahorro parcial [mW/h/año]	Ahorro total [mW/h/año]	Ahorro total [T.C.C.]
1	Desmontar los Splits con los números señalados en la tabla 2.16	47,900	51,402	17990.7
2	Reubicar el resto de los Splits según croquis de anexos			
3	Adquirir e instalar extractor de aire marca Frioclíma, modelo C-21V7	3,502		
4	Instalar sistema de conductos para 1102 m ³ /h Total			

Tabla 2.19. Resumen de las medidas a adoptar para cumplir las acciones propuestas.

CONCLUSIONES

1. Se establecieron los aspectos teóricos-conceptuales de la climatización en el primer piso de la unidad comercial “La Luz de Yara”.
2. Las causas que deterioran el consumo de energía eléctrica de la unidad por concepto de climatización en su primer piso están asociadas a una deficiente selección de la capacidad frigorífica de sus tecnologías y el consumo de los equipos de refrigeración (Exhibidores).
3. Ajustando la capacidad frigorífica a la demanda de climatización se logra un ahorro de 47,900 mW/h/año.
4. Derivando el calor de la condensación hacia las puertas se logra un ahorro de 3.502 mW/h/año.

RECOMENDACIONES

1. Imponer a la dirección de la entidad de los resultados obtenidos en la investigación.
2. Garantizar la implementación de las medidas propuestas.
3. Realizar investigaciones similares en el resto de las unidades de comercio del territorio.

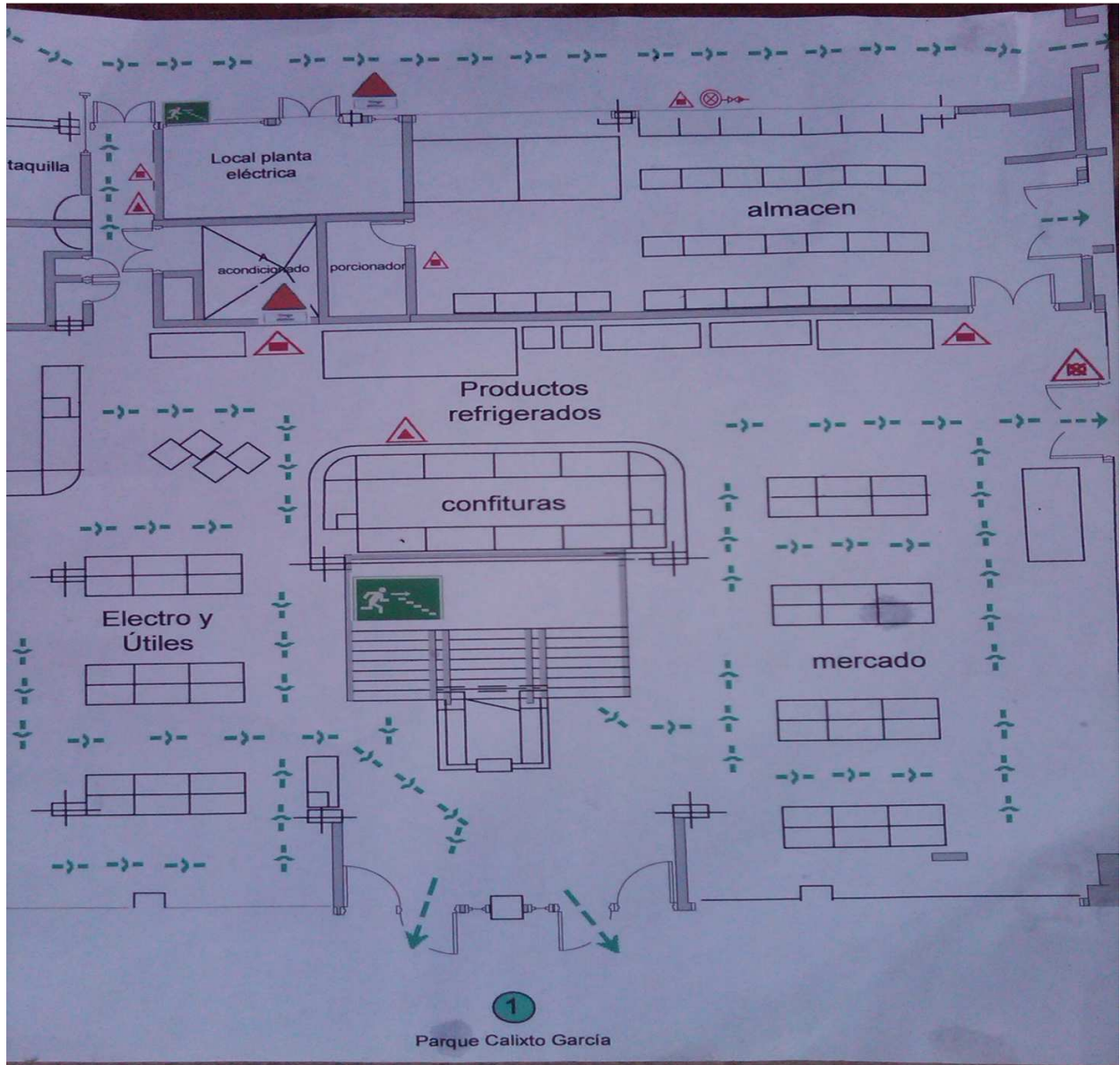
BIBLIOGRAFÍA

1. Ámbriz, J. y Romero P. "Eficiencia energética y normativa de sistemas de refrigeración y aire acondicionado". Universidad de Guadalajara, Jalisco, México. Julio/2002.
2. Báez, E. "Climatización. Evaluación de la eficiencia energética". Simposio "Mundo energía". España 2003.
3. Borroto, A. y Monteagudo, J. "Gestión y economía energética" Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (C.E.E.M.A.). Editorial Universo Sur. Universidad de Cienfuegos, 2006.
4. Carrier S.A. "Manual de aire acondicionado" ed. Barcelona, 1999.
5. Catá, A. "Confort. Otras consideraciones". Convención de Tecnologías y Turismo". Mallorca, 2005. Tomado de Boletín informativo CR Ingeniería Mayo/2006. Año 2 nº 5, citado en www.cringeneria.cl/re.com (Consultado Junio/2011).
6. Colectivo de autores. "Temas especiales de sistemas eléctricos industriales". Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Editorial Universo Sur. Universidad de Cienfuegos, 2006.
7. Colectivo de autores. "Temas avanzados de Refrigeración y Climatización". C.E.E.M.A. Editorial Universo Sur. Universidad de Cienfuegos, 2006.
8. Érico, Frigerio. Emisividad en el N.O.A." Energías Renovables y Medio Ambiente", Vol. 4, Nº 2, pp. 11.07-11.12, Resistencia, 2006.
9. Fairs, M. Virgil. "Termodinâmica". Ed. Revisada 1981.
10. Gelpi, F. "Propaganda, calidad y éxito de mercado" Enero/2004. disponible en www.energuia.com (Consultado Junio/2011).
11. Gutiérrez Menéndez, Carlos Luís. Centro de Ingeniería de Procesos. Citado en "Climatización y eficiencia-energética". Disponible en www.mercadolibre.com (Consultado Mayo/2011).
12. Herrero, P."Particularidades de la Climatización Industrial". Univ. Pontifica Colombia. Tomado de www.mailxmail.com (Consultado Julio/2011).
13. "Historia de la Climatización". Tomado de: www.carrier.es/.Pub.Castellana p.36-38. Citado en www.wikipedia.com (Consultado Mayo/2011).

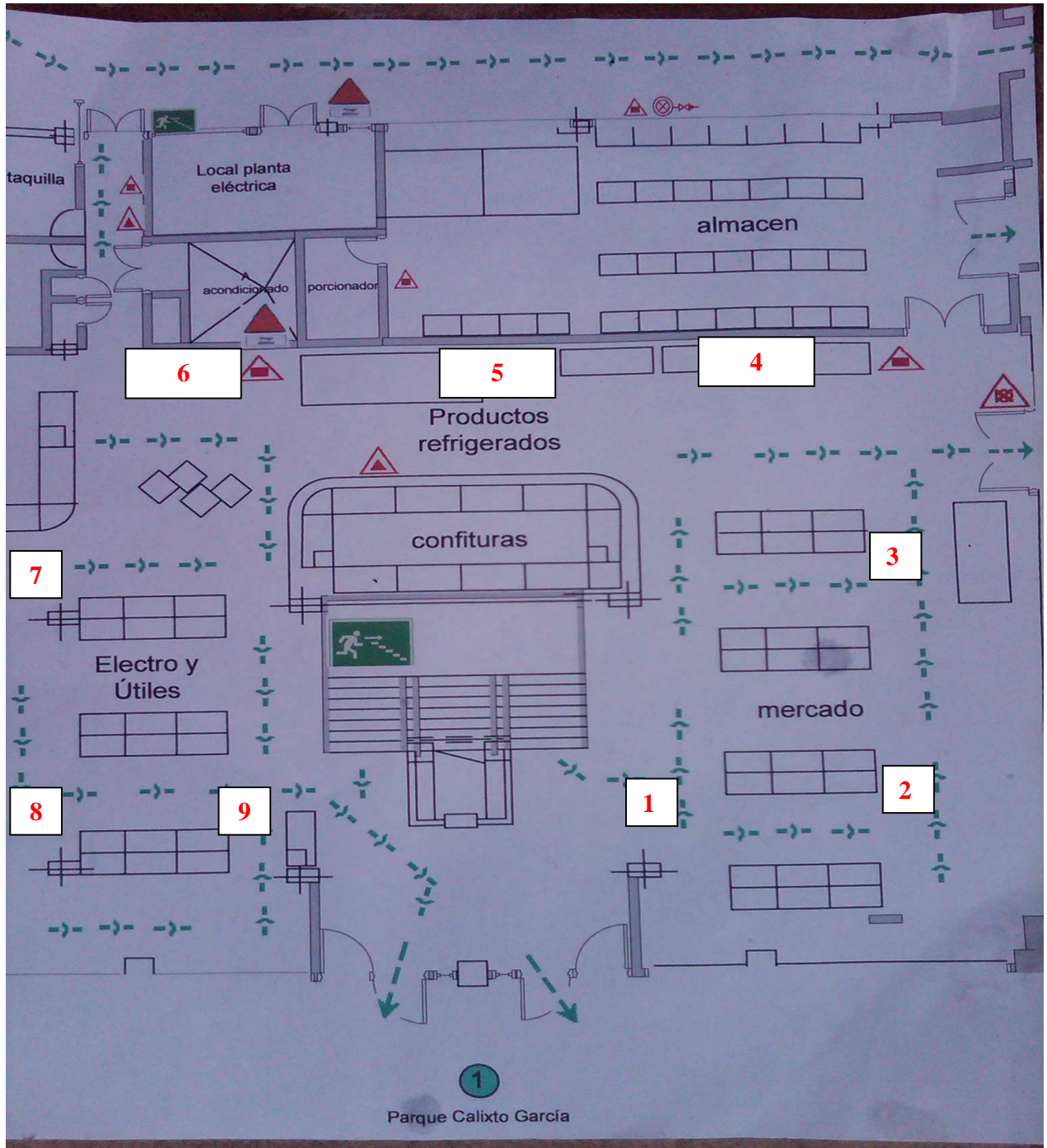
14. López, A. "Consideraciones energéticas de los Procesos Psicométricos". Cali. Colombia, 2006.
15. Lora, J. "Costo energético de la calidad del aire" Rev. Tecno-Cir. p, 25.ed. Cornos. Buenos aires, 2006.
16. Márquez, P. "Incidencia de la explotación en el C.O.P. de las instalaciones de Climatización". Art. pp. (42-48) Univ. Barcelona. España, Nov.2000.
17. Quadri, Néstor."Conceptos básicos para el ahorro energético en instalaciones de aire acondicionado". EditorialAlsina, 2006. Disponible en www.climategateway.com.
18. Salcedo, G. York International S.A. de C.V. Revista Refrigeración Industrial, Ene/ 2005.Disponible en www.mx.com .
19. Red de extracción de aire. Tomado de www.atecyr.org.php (Consultado Junio/2011).
20. Stoecker, W. F."Refrigeración y Acondicionamiento de Aire" 1981
21. Suplemento Energía y Medio Ambiente. Tabloide. 2005, La Habana.
22. Trane. Aire Acondicionado. Ed. Revisada. Plenium. Londres, 2000.

ANEXOS

- I. Croquis de planta del primer piso de venta de la unidad comercial “Luz de Yara”.
[Fuente. Autor, 2011]




- II. Ubicación de los equipos de climatización del primer piso de venta de la unidad comercial “Luz de Yara”. [Fuente. Autor, 2011]



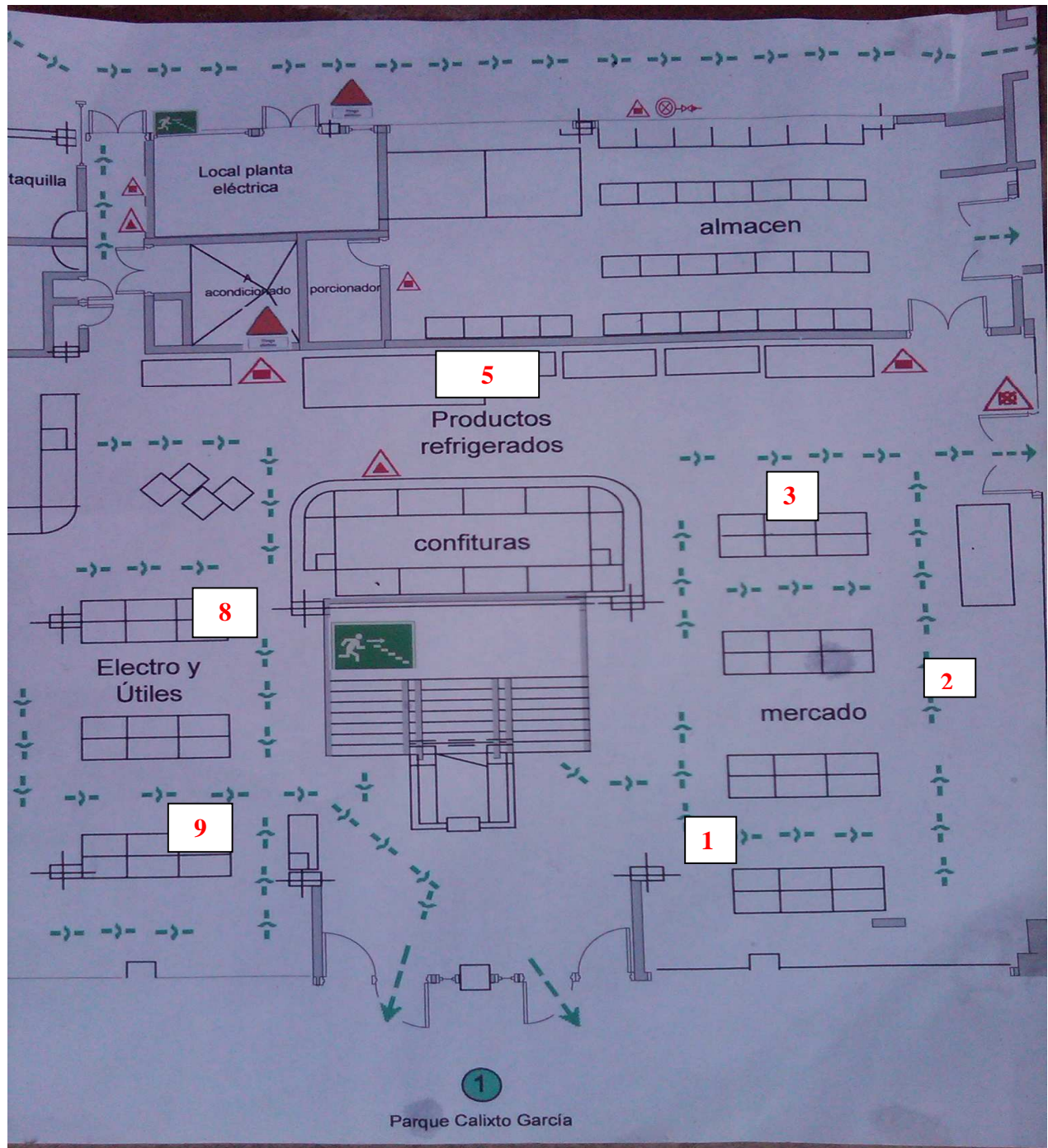
III. Temperaturas y humedad relativa ocurrida en Holguín en los últimos tres años [Fuente. “Boletín meteorológico” Departamento de pronósticos. C.I.T.M.A., 20011].

Mes/Año	Temp. máx.	Temp. mín.	T media	HR máx.	HR Mín.	HR media
Julio 2009	33,5	24,5	28,2	91	50	73
Agosto 2009	33,8	23,3	27,7	95	53	79
Sep-09	33,1	23,2	27	95	53	79
Dic 2009	30,2	21,1	24,6	93	51	77
Enero 2010	28,1	18,8	22,7	90	50	74
Feb-10	28,8	18,5	22,7	91	49	74
Julio 2010	32,8	23,6	27,5	94	55	78
Agosto 2010	33,8	23,3	27,7	95	53	79
Sep-10	32,1	22,7	26,8	95	58	81
Dic 2010	25,9	15,2	20,2	93	51	76
Enero 2011	28,5	18,7	22,9	95	53	79
Febrero 2011	29,2	18,9	23,4	92	48	74

IV. Hoja de cálculo montada en Excel para estimar la carga térmica. [Fuente. Empresa de Construcción y montaje especializado, 2001].

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	 ECME		HOJA DE CALCULO DE CARGA DE AIRE ACONDICIONADO						Fecha ##### Contrato No..... Obra No.....			
2												
3												
4												
5												
6	DIVISION TECNOLOGICA					Condic.	B.S	B.H	%HR	TR	Gr/Lb	
7	CIMEX					Exterior						
8	Locales División Tecnológica					Local						
9	Dimensión					Diferenc						
10	Concepto	Area o Cantid.	Gan. Sol. Dif.Temp	Factor	BTU/H	Selecc.						
11												
12	CARGA SOLAR EN VIDRIOS					VENTILACION						
13	Vidrios SE					Pers.			pcm/p		pcm	
14	Vidrios NO					Area			pcm/p2		pcm	
15	Vidrios SO					Camb/h			vol/60		pcm	
16	Vidrios NE					Ventilación pcm					pcm	
17	Claraboya											
18	CARGA SOLAR Y TRANS. EN PAREDES Y TECHO					INFILTRACIONES						
19	Pared SE					Puertas oscil.			pers.			
20	Pared NO					Puertas abiert.			puert			
21	Pared SO					Extractores						
22	Pared NE					Ranuras			p² x pcm/p²			
23	Tejado al Sol					Infiltraciones pcm						
24	Tejado Somb.											
25	TRANSMISION EXCEPTO PAREDES Y AZOTEA					AIRE EXTERIOR DEL EQUIPO						
26	Total Vidrios					SHF EFECTIVO						
27	Tabiques											
28	Techo					C S E L / C T E L =						
29	Piso											
30	Infiltración					DETERMINACION DEL ADP						
31	<i>Ganancia de calor solar total</i>						ADP ENCONTRADO			55,00 °F		
32	CALOR SENSIBLE INTERNO					ADP SELECCIONADO		50 °F				
33	Personas					CANTIDAD DE AIRE DESHUMEDECIDO						
34	Potencias					Dif. Temp. °F	(1-BF)x	TL - ADP		-45,27		
35	Luces					PCM						
36	Almacenaje					Calor Sensible Efect. local						
37	<i>Calor sensible interno subtotal</i>						=					pcm
38	Factor de Seg.					1.08 x Dif. Temp.						
39	<i>Calor sensible interno total</i>						Calor Sensible local					
40	CALOR SENSIBLE LOCAL						=					#####
41	Perdidas y escape en conductos						Dif.T. sal. °F					
42	HP Ventilación						1.08 x PCM Trat.					
43	Ganan. cal. cond. de impulsión						CANTIDAD DE AIRE DE SUMINISTRO					
44	Aire exterior						PCM SUMINISTRADO					
45	<i>Calor sensible del Local subtotal</i>						Calor Sensible Efect. local					
46	<i>Calor Sensible Efectivo del local</i>						=					##### pcm
47	CALOR LATENTE INTERNO						PCM DE RETORNO					
48	Infiltración	pcm	Gr/Lb	0,68		PCM Sumin. - PCM Vent.						
49	Personas					<i>Aire de Retorno</i>					##### pcm	
50	Vapor					CONDIC. DE ENT. Y SAL. DEL EQUIPO						
51	Difus. Vapor					TEMP. DE ENTRADA (Te)					##### °F	
52	<i>Calor Latente interno subtotal</i>						A. Ext.					

V. Propuesta de reordenamiento de los equipos de climatización del primer piso de venta de la unidad comercial "Luz de Yara". [Fuente. Autor, 2011].



VI. Glosario de términos y unidades empleados.

Temperatura: Parámetro que mide el estado energético de la materia referida a la cantidad de calor que dispone. [°C].

Temperatura seca: Es la que se mide en el aire sin que exista alteración de la cantidad de humedad de este. [°C].

Temperatura húmeda: Es la que se mide en el aire cuando existe alteración de la cantidad de humedad de este. [°C].

Humedad Relativa: Relación porcentual del valor de la presión parcial del vapor de agua en el aire respecto a la presión de saturación de este. [%].

Humedad absoluta: Es la cantidad de vapor de agua en unidades de masa presente en un kilogramo de aire. [kg vapor/kg aire seco].

Calor: Energía en forma de transición. [kJ].

Conducción: Mecanismo de propagación del calor que considera la vibración molecular de los cuerpos por incremento de su temperatura.

Convección: Mecanismo de propagación del calor que considera el movimiento del aire sobre un cuerpo a una temperatura diferente a la de este.

Radiación: Mecanismo de propagación del calor debido a la emisión de ondas electromagnéticas desde un cuerpo a alta temperatura hacia otro a menor temperatura.

Calor sensible: cantidad de calor que absorbe o cede un cuerpo, variando su temperatura, sin que esto le provoque un cambio de estado. [kJ].

Calor latente: Cantidad de calor que un cuerpo debe absorber, o ceder, para conseguir un cambio de estado, sin aumentar su temperatura. También se conoce como calor de cambio de estado. [kJ].

Cambio de estado: Paso de la materia de un estado físico a otro Los estados físicos de la materia son, sólidos, líquidos y gaseosos. La materia se encuentra en uno de los tres estados según la cantidad de energía que disponga en ese momento, por lo que para pasar de un estado a otro debe absorber o ceder energía.

Entalpía: Cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, o, lo que es lo mismo, la cantidad de energía que tal sistema puede intercambiar con su entorno. [kJ].

Temperatura de Punto de Rocío: Es la temperatura a la que empieza a condensar el vapor de agua contenido en el aire. [°C].

Refrigeración: Concepto general que encierra los procedimientos utilizados para lograr el descenso de la temperatura de una sustancia mediante la extracción del calor (cesión de calor a un medio con menor temperatura).

Refrigerante: Sustancia empleada en el ciclo de refrigeración por compresión de vapores y que tiene un punto de ebullición a una temperatura inferior a la del ambiente donde actúa.