



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
FACULTAD DE METALURGIA ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

# Trabajo de diploma

En opción al título de Ingeniero Mecánico

Efecto del uso de energía solar en el consumo eléctrico de  
los sistemas de climatización en centros universitarios

**Autor:** Juan Manuel Reyes Gómez

**Tutores:** Ing. Ever Góngora Leyva. Prof. Aux, Dr. C.

Ing. Gustavo Ezequiel Fernández Salva. Prof. Aux, Ms. C.

**Consultante:** Ing. Rafael Soto Agüero

Moa, 2017

“Año 59 de la Revolución”



## DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo Juan Manuel Reyes Gómez:

De conjunto con los tutores Dr. C. Ever Góngora Leyva Profesor Auxiliar, Ms. C. Gustavo Ezequiel Fernández Salva Profesor Auxiliar e Ing. Rafael Soto Agüero Consultante, certificamos la autoridad sobre esta tesis en opción al título de Ingeniero Mecánico con título “Efecto del uso de energía solar en el consumo eléctrico de los sistemas de climatización en centros universitarios”. Se autoriza a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Técnicas de la Educación de la Universidad de Guantánamo y el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez” a la utilización de esta tesis para fines docentes educativos y su publicación.

\_\_\_\_\_  
Juan Manuel Reyes Gómez

\_\_\_\_\_  
Dr. C. Ever Góngora Leyva

\_\_\_\_\_  
Ms. C. Gustavo E. Fernández Salva

\_\_\_\_\_  
Ing. Rafael Soto Agüero

## PENSAMIENTO

La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.

Aristóteles

## AGRADECIMIENTOS

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

Agradezco a los tutores Dr. Ever Góngora Leyva, Ms. C. Gustavo E. Fernández Salva y consultante Ing. Rafael Soto Agüero por brindarme toda su dedicación a la realización de esta tesis. A los profesores de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Técnicas de la Universidad de Guantánamo: Ms. C. Rafael Charón La O y Dr. C. Eugenio Vidal Méndez por su contribución incondicional...

A mis compañeros de universidad, que no menciono nombres por si se me queda alguno...

A todos ustedes: muchas gracias.

## DEDICATORIA

Le dedico esta tesis a mi mamá, Ing. Ana María Gómez Frómeta, a mi papá Ing. Jesús Manuel Reyes Matos y a mis tíos Dra. Idania Reyes y Jorge Martínez, que, aunque no puedas estar aquí siempre te recuerdo.

## RESUMEN

En este trabajo se propuso un sistema solar fotovoltaico que genera energía eléctrica para suministro a equipos de climatización en centros universitarios. Las instalaciones escogidas para el estudio son: La Sede Universitaria “Regino Eladio Boti” de la Universidad de Guantánamo y el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”. Se utilizó la metodología de cálculo propuesta por (Polaino *et al*, 1987) para la estimación de la carga térmica de climatización. De los cálculos se definió que el mayor portador energético en las dos instalaciones, según diagrama de Pareto, es la electricidad, por lo que queda demostrado que toda acción encaminada a la reducción de su consumo incrementa las utilidades. También se observa que los mayores consumidores en los centros universitarios estudiados son los aires acondicionados de pared de 5,28 kW (1,5 toneladas de refrigeración) con aproximadamente el 50 % del total de equipos. Los resultados demostraron que la energía eléctrica producida por los sistemas fotovoltaicos será mayor en la Sede Universitaria “Regino Eladio Boti” debido a que la misma posee mejor orientación con respecto al sur magnético que el Instituto Superior Minero Metalúrgico, con un valor de 55,481 MWh y 47,104 MWh anual respectivamente. Los cálculos de factibilidad demuestran que el estudio es rentable para los dos centros universitarios debido a que cumple con los criterios económicos, con un tiempo de recuperación de cinco años en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa” y cuatro años en el caso de la Sede Universitaria “Regino Eladio Boti.

**ABSTRACT**

In this work it intended a solar photovoltaic system that generates electric power for supply to air conditioning teams in university centers. The chosen facilities for the study are: The University Headquarters "Regino Eladio Boti" of the University of Guantánamo and the Institute Mining Superior Metallurgist of Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez." The used calculation methodology was proposed for (Polaino *et al*, 1987) to estimate the thermal load of conditioning air. Of the calculations of it defined that the energy biggest payee in the two facilities, according to diagram of Pareto, is the electricity, that is how is demonstrated that all action guided to the reduction of its consumption increases the utilities. It is also observed that the biggest consumers in the university studied centers are the conditioning air of wall of 5,28 kW (1,5 tons of refrigeration) with approximately 50% of the total of teams. The results demonstrated that the electric power taken place by the photovoltaic systems will be bigger in the University Headquarters "Regino Eladio Boti" because the same one possesses better orientation with regard to the magnetic south that the Institute Mining Superior Metallurgist, with a value of 55,481 MWh and 47,104 annual MWh respectively. The calculations of feasibility demonstrate that the study is profitable for the two university centers because it fulfills the economic approaches, with a time of five year recovery in the Institute Mining Superior Metallurgist of Moa" and four years in the case of the University Headquarters "Regino Eladio Boti.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO - METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	5
1.1. Introducción .....	5
1.2. Trabajos precedentes .....	5
1.3. Principios de la climatización .....	9
1.3.1. Cargas térmicas.....	9
1.3.2. Fuentes de cargas térmicas .....	10
1.3.2.1. Conducción a través de estructuras .....	10
1.3.2.2. Radiación solar a través de vidrios .....	11
1.3.2.3. Ocupantes .....	11
1.3.2.4. Alumbrado .....	11
1.3.2.5. Motores.....	11
1.3.2.6. Infiltración del aire exterior a través de aberturas .....	12
1.3.2.7. Ventilación exterior .....	12
1.4. La radiación solar .....	12
1.5. Instalaciones solares fotovoltaicas .....	16
1.5.1. Efecto de la irradiancia y la temperatura sobre el módulo fotovoltaico .....	17
1.5.2. El efecto fotovoltaico.....	17
1.5.3. Panel fotovoltaico .....	18
1.5.4. Tipos de instalaciones fotovoltaicas .....	18
1.6. Conclusiones del capítulo .....	21
<b>CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN</b> ..	22
2.1. Introducción .....	22

2.2. Ubicación de las instalaciones donde se plantea la propuesta.....	22
2.3. Procedimiento de cálculo para la estimación de la carga térmica .....	23
2.3.1. Ganancia de calor por radiación solar a través de vidrios .....	23
2.3.2. Ganancia de calor a través de componentes estructurales .....	24
2.3.2.1. Diferencias equivalentes de temperaturas.....	25
2.3.3. Concentración de personas como base de diseño .....	26
2.3.4. Ganancias de calor por equipos instalados en el interior de los locales.....	26
2.3.5. Ganancia de calor por infiltración y ventilación.....	28
2.3.6. Ventilación y cargas térmicas .....	28
2.4. Ciclo básico de aire acondicionado .....	30
2.4.1. Cálculo del Factor de Calor Sensible del Local (FCSL).....	30
2.4.2. Factor de Calor Sensible Total (FCST).....	30
2.4.3. Factor de Calor Sensible Efectivo (FCSE).....	31
2.4.4. Determinación del APR .....	31
2.4.5. Caudal de suministro al local.....	32
2.4.6. Carga total sobre la batería de enfriamiento.....	33
2.5. Determinación del consumo eléctrico por concepto de clima .....	33
2.6. Zonas escogidas para la instalación de los paneles.....	33
2.7. Componentes del sistema solar fotovoltaico .....	35
2.7.1. Orientación de los sistemas fotovoltaicos.....	35
2.7.2. Ángulo de inclinación.....	35
2.7.3. Empleo de módulos con diodos by-pass .....	36
2.7.4. Criterio de selección de los módulos fotovoltaicos e inversores.....	36
2.8. Características de la interconexión al sistema.....	36

2.9. Utilización del software profesional PVsyst .....	38
2.10. Conclusiones del capítulo .....	38
<b>CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>40</b>
2.1. Introducción .....	40
2.2. Análisis de portadores energéticos.....	40
2.3. Comportamiento de la radiación solar a través de vidrios y ventanas .....	42
2.4. Distribución de las ganancias de calor .....	43
2.5. Consumo total de electricidad por concepto de climatización .....	44
2.6. Selección de los módulos solares.....	46
2.7. Selección de los inversores .....	47
2.8. Distribución del sistema fotovoltaico.....	48
2.9. Potencia generada por el sistema fotovoltaico .....	48
2.10. Costo de la instalación.....	50
2.11. Factibilidad del proyecto .....	50
2.12. Ahorros del proyecto.....	53
2.13. Impacto medioambiental.....	54
2.14. Conclusiones del capítulo.....	55
<b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>56</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>61</b>

## 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).

Como respuesta a la problemática en la actualidad ha surgido interés por las fuentes de energía renovables como medio para surtirnos del recurso energético, no obstante la experiencia ha demostrado que ninguna fuente de energía es cien por ciento renovable si no se hace un uso racional y responsable de dicho recurso o fuente, para solventar dicha dificultad es conveniente emplear en forma combinada los diferentes recursos de tal modo que se haga uso de cada uno sin superar los límites naturales que permitan su renovación.

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.

Debido a la utilidad de estas instituciones se precisa un estudio energético que permita además de reducir el consumo eléctrico por concepto de clima, introducir un sistema que utilice energías renovables como parte del Plan de Ahorro Nacional para lograr en años venideros reemplazar el 30 % de la energía consumida por el país con “energía limpia”.

### **Situación problemática**

Las universidades son instalaciones 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.

Estudios realizados han encontrado deficiencias en la calidad del aire de los locales debido a que en su mayoría no cumplen con las condiciones necesarias para estar acondicionados, provocando la inconformidad térmica de los ocupantes. Como resultado los equipos de aire acondicionado se encuentran en sobreexplotación, produciendo incorrecto funcionamiento de los mismos y provocando frecuentes roturas, afectando al medio ambiente por la emisión de gases de efecto invernadero, por lo que el personal de mantenimiento tiene que realizar tareas no planificadas, perturbando su horario de trabajo.

Debido a esto el consumo de energía por concepto de clima se dispara significativamente con bajo rendimiento, esto implica alto costo de energía eléctrica; alcanzando picos de consumo superiores en el horario del mediodía debido al clima tropical de Cuba y a las altas temperaturas. En este sentido el Ministerio de Educación Superior ha realizado insuficientes acciones en el uso de energía solar como fuente renovable para reducir el consumo de los equipos de clima como parte de la estrategia educacional para incentivar la realización de trabajos investigativos e innovadores.

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

Se desconoce la incidencia de la climatización en el consumo energético de los centros universitarios e insuficiente uso de la energía solar como fuente de energía.

A partir del problema identificado se define como **objeto de estudio**: sistemas de climatización en instalaciones universitarias.

**Campo de acción**: Eficiencia energética y energía renovable.

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

Si se selecciona un sistema que suministre energía solar para suplir la demanda de energía eléctrica de los sistemas de clima en centros universitarios se garantiza el mínimo consumo energético y un menor impacto al medioambiente.

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

Seleccionar un sistema de energía solar que satisfaga el consumo de energía eléctrica por concepto de clima en instalaciones universitarias, 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 la carga térmica de climatización en las instalaciones escogidas.
2. Determinar el índice de consumo de energía por concepto de climatización.

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. Establecimiento del comportamiento de los portadores energéticos y la incidencia de la climatización en los mismos.
3. Exposición del procedimiento de cálculo adecuado para la estimación de la carga térmica en los locales estudiados.

4. Estimación de la carga térmica total sobre la batería de enfriamiento en cada local analizado.
5. Selección del sistema de aprovechamiento de energía solar que permita abastecer a los sistemas de climatización dentro de las instalaciones universitarias.
6. 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

Con el objetivo de aumentar el aprovechamiento de la energía solar como fuente inagotable, se forma una idea aparentemente contradictoria: aprovechar el calor para generar frío. Teniendo en cuenta que el consumo eléctrico se incrementa considerablemente durante los meses de verano por el uso de los aparatos de aire acondicionado, la generalización de esta tecnología supone un desarrollo positivo en la implantación de nuevas aplicaciones de las energías renovables y en la reducción de los picos de consumo eléctrico.

#### **Objetivo del capítulo:**

Establecer los aspectos teóricos sobre la climatización y energía renovable que permita el uso de sistemas fotovoltaicos para suministrar energía eléctrica en centros universitarios.

### 1.2. Trabajos precedentes

Durante la investigación se consultaron varios trabajos y estudios relacionados con el tema de 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 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 (Polaino *et al*, 1987).

Poirier *et al*, (1979) realizaron un estudio para el Electric Power Research Institute, el cual involucró modelos de tipo econométrico y splines con el fin de estimar la demanda residencial para un pequeño conjunto de consumidores en Estados Unidos de América, de los cuales se contaba con información cada 15 minutos.

A la estimación de la carga térmica de diferentes locales se dedicaron varios trabajos de tesis, que se centraron en la selección de las condiciones de diseño interior y exterior, y el cálculo de las ganancias de calor en los locales estudiados. También establecieron los parámetros del ciclo de evolución del aire para cada local y seleccionaron los equipos de climatización requeridos garantizando el uso eficiente de los recursos energéticos (García, 1998; Torres, 1999; Durán, 2004; Ruiz, 2004, Valdespino, 2004; Hernández, 2005 y Lamoth, 2005).

Montero y Góngora (2008), presentan un resumen de la situación energética de los hoteles de la provincia de Holguín en cuanto a la estructura de consumo de los portadores energéticos y cuáles características operacionales deciden el comportamiento de los mismos. Se escoge un hotel representativo, como caso de estudio en el que se aplican las herramientas de la gestión energética. Mediante la modelación paramétrica se demuestran las posibilidades del empleo del *Toolbox* de Identificación de Matlab para determinar expresiones que permitan pronosticar consumos e indicadores energéticos.

La climatización de los edificios tanto en frío como en calor se ha convertido en una práctica habitual en zonas climáticas de América Central. En determinadas zonas y para determinadas aplicaciones, el consumo energético derivado del uso de equipos de aire acondicionado puede llegar a representar la mitad del consumo total de energía eléctrica de los edificios (Fong *et al*, 2012).

La enorme preocupación por la escasez de los recursos energéticos, así como por los cada vez más acentuados efectos del cambio climático, obliga a desarrollar tecnologías más respetuosas con el medioambiente y capaces de sustituir con garantías el uso de los combustibles fósiles.

En este sentido, se ha observado que, para ciertas aplicaciones, la demanda térmica de los edificios tiene relación directa con las horas de radiación solar. Ello hace pensar en la utilización de sistemas de climatización que aprovechen de una u otra manera la radiación solar como principal fuente de energía. Las tecnologías más extendidas son las que utilizan la energía térmica solar para la climatización, empleando máquinas de

absorción o de adsorción. En algunos casos se utilizan captadores solares planos de alta eficiencia, en otros casos tubos de vacío y algunas instalaciones trabajan con concentradores parabólicos.

Otra de las tecnologías documentadas se centra en la utilización de un sistema híbrido fotovoltaico y térmico, donde el calor disipado por el panel fotovoltaico es captado por el fluido de trabajo y utilizado para la calefacción del edificio (Jie *et al*, 2008). Zondag (2008), presenta otra tecnología basada en la refrigeración mediante sistemas híbridos fotovoltaico y térmico.

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 2 795 GWh , equivalentes a 961 419 t de combustible convencional (Armas, 2008).

En el sector turístico cubano la eficiencia energética se caracteriza en general por su elevado consumo energético. Este oscila normalmente entre el 3 y 10 % de los costos globales del hotel, siendo a la vez la partida de presupuesto más elevada tras los gastos de personal y de alimentación. Dentro de los costos energéticos en un hotel turístico, la electricidad representa la mayor partida, siendo las áreas que consumen más energía eléctrica las de climatización y alumbrado (Armas, 2008).

En resumen, se han implementado distintas aproximaciones con el fin de realizar proyecciones de demanda de energía eléctrica. En todas ellas se ha considerado la inclusión de otras variables (horas del día, meses del año, cantidades de usuarios, temperaturas, demanda promedio) las cuales contribuyen significativamente a la explicación de la demanda a partir del método paramétrico y el empleo de redes neuronales en algunos de los casos.

De esta revisión de la literatura se deduce que no se ha establecido un método estándar para solucionar el pronóstico de energía, debido a la complejidad que conlleva el mismo. Igualmente, se han empleado con frecuencia algunas técnicas para dar solución a este problema, algunas veces utilizadas como herramienta de apoyo a otras metodologías estadísticas de predicción.

Una última alternativa pasa por la utilización de paneles solares fotovoltaicos para la producción de la energía eléctrica que accione el compresor de una unidad de aire acondicionado. (Fong *et al*, 2010) describieron, entre otros, un sistema de refrigeración con condensador por agua enfrentado a una torre de refrigeración, con unidades interiores de agua y que emplea energía solar fotovoltaica para hacer funcionar el compresor. Según dicho artículo, los sistemas de refrigeración por absorción y los sistemas de refrigeración solar fotovoltaica presentan los mayores potenciales de ahorro energético.

Otanicar *et al* (2012) hacen una comparativa entre diferentes sistemas de refrigeración con aporte solar. La comparativa en este caso se realiza entre la tecnología fotovoltaica con baterías, regulador e inversor y la tecnología térmica. Dentro de esta segunda tecnología se plantean tres opciones, sólidos desecantes, frío por absorción y frío por adsorción. Toman especial relevancia en este caso, la menor superficie de captación necesaria en el caso de la tecnología fotovoltaica, así como la tendencia a la baja del precio de los paneles fotovoltaicos en el mercado, que actualmente es inferior a un €/Wpico .

De los documentos estudiados se deduce que, para instalaciones de mayor potencia resulta más atractiva la opción del frío solar por absorción, ya que el precio de los equipos se diluye entre el resto de los componentes. Mientras tanto, para instalaciones de menor potencia, menores de 100 kW , cobra importancia la fiabilidad y sencillez de las instalaciones de refrigeración mediante energía solar fotovoltaica. Quiles *et al* (2013) muestran un estudio experimental del funcionamiento de un equipo de expansión directa tipo “inverter” de una potencia nominal de 3,52 kW . El equipo se encuentra conectado con la red eléctrica convencional y, además, en paralelo con tres paneles fotovoltaicos de 235 Wp cada panel.

En resumen, se entiende que el uso de paneles solares fotovoltaicos para alimentar sistemas de aire acondicionado es una aplicación atractiva que reporta importantes ventajas frente al uso de sistemas convencionales, como son su facilidad de montaje, su alta fiabilidad de funcionamiento, y su alta eficiencia energética, especialmente cuando hay correlación entre horas de sol y demanda térmica.

### **1.3. Principios de la climatización**

La climatización es un proceso de tratamiento del aire para establecer las condiciones ambientales apropiadas para fines domésticos, comerciales, industriales, de salud y ocio, mediante el control de la temperatura, humedad, calidad y distribución del aire en un determinado ambiente, teniendo como objetivo tanto el confort de personas y animales, como satisfacer proceso o producto. Para cualquier proyecto de climatización tienen que tener presentes principios básicos de: termodinámica, transferencia de calor, mecánica de fluidos, psicrometría y ventilación.

Los sistemas de climatización dependen de varios factores:

- Su función (climatización de confort; industrial)
- Época del año (sistemas de invierno; verano e integrados)
- Tipos de equipos: sistemas centrales, individuales o combinados

#### **1.3.1. Cargas térmicas**

La determinación de las cargas térmicas es necesaria para la evaluación de las necesidades de calefacción y refrigeración en el local a climatizar, así como para la selección de los equipos de acondicionamiento.

“Ganancia o pérdida de calor” es la cantidad instantánea de calor que entra o sale del espacio a acondicionar. “Carga real o efectiva” es, por definición, la cantidad instantánea de calor añadida o eliminada por el equipo. La ganancia instantánea y la carga real rara vez serán iguales debido a la inercia térmica o efecto de almacenamiento o acumulación de calor en las estructuras del edificio que rodean el espacio acondicionado.

### 1.3.2. Fuentes de cargas térmicas

Para la estimación real de las cargas de climatización, se hace alusión a la ganancia de calor de un recinto y que son tomados en cuenta para el cálculo dentro de este proyecto (Figura 1.1).

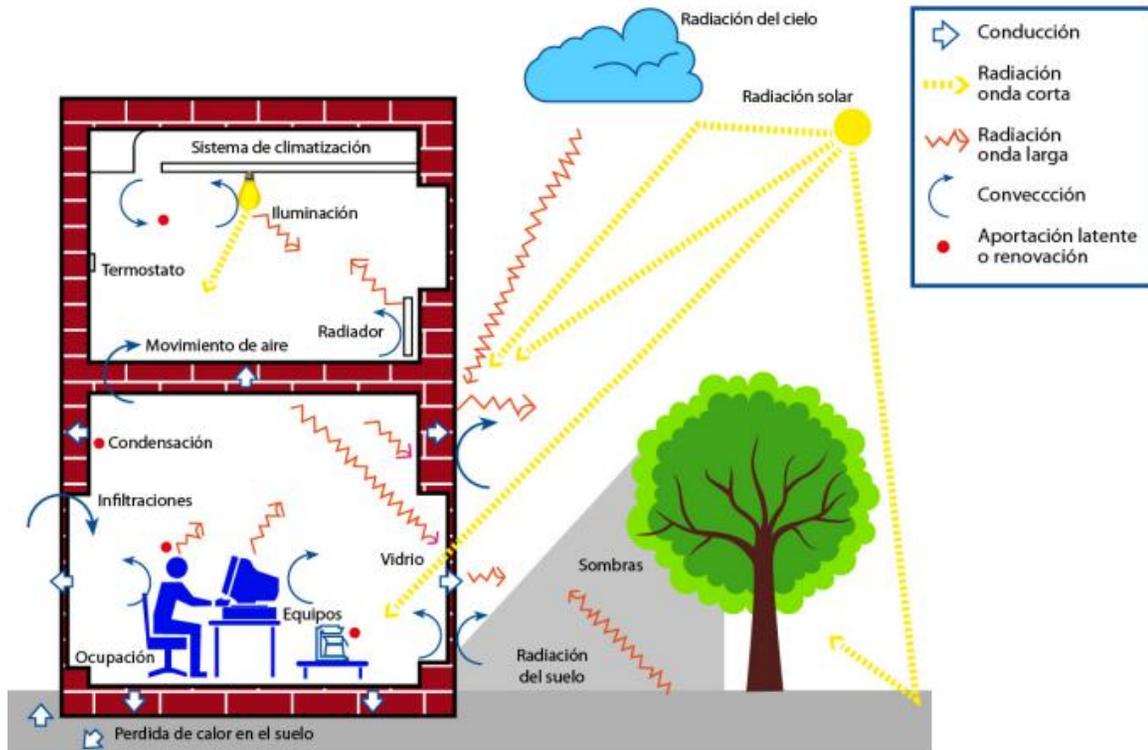


Figura 1.1: Ganancias de calor en un local. (Fuente Otanicar *et al*, 2012)

#### 1.3.2.1. Conducción a través de estructuras

Siempre que exista una diferencia de temperatura entre dos puntos de un mismo cuerpo, hay transferencia de calor, de igual manera se producirá un flujo de vapor entre dos puntos sometidos a distintas presiones parciales de este. Ambas situaciones se presentan en las estructuras (paredes, techo y piso) de un local climatizado. La cantidad de calor o vapor transmitida en la unidad de tiempo dependerá de la resistencia que ofrezca la estructura entre los dos puntos considerados y la diferencia de temperatura o tensión de vapor. Este parámetro tiene en cuenta las superficies que están sometidas al sol en dependencia del horario escogido para el análisis y se calcula teniendo en cuenta

la diferencia de temperatura equivalente corregida; mientras que las estructuras que se encuentran a la sombra se calculan por diferencia de temperatura (Polaino *et al*, 1987)

### **1.3.2.2. Radiación solar a través de vidrios**

Es la ganancia de calor a través de superficies acristaladas que se encuentran expuestas a la radiación solar. Con el desarrollo de los nuevos edificios, las nuevas técnicas han favorecido el empleo del cristal y el incremento térmico es considerable en verano cuando la radiación solar los atraviesa, pero es favorable en invierno, disminuyendo las necesidades de calefacción. El acristalamiento excesivo no es deseable en climas cálidos, pero sí en climas fríos. Incluso en cerramientos opacos, no acristalados, calienta la superficie exterior aumentando el salto térmico exterior e interior y por lo tanto el paso del calor por los cerramientos opacos (Polaino *et al*, 1987).

### **1.3.2.3. Ocupantes**

Los ocupantes aportan ganancia de calor tanto sensible como latente, en dependencia de la actividad desarrollada y la cantidad de ocupantes. El número de ocupantes aumenta en los edificios, generando cada uno entre 80 y 150 W de carga térmica, según la actividad realizada (Borges, 2010).

### **1.3.2.4. Alumbrado**

Está la ganancia de calor debido a la potencia de iluminación instalada y el tiempo de iluminación existente, sea fluorescente o incandescente. La iluminación es un factor de calentamiento importante que se estima en una carga de entre 15 a 25 W/m<sup>2</sup>. Grandes almacenes modernos se calientan únicamente por un sistema de iluminación y el calor producido por los usuarios, esta situación es bastante frecuente en Europa (Borges, 2010).

### **1.3.2.5. Motores**

Debido a la existencia de equipos y motores eléctricos dentro de locales se hace necesario tener en cuenta la potencia generada por los mismos. La proliferación de aparatos electrónicos, ordenadores, impresoras y fotocopiadoras que forman parte de las oficinas modernas, generan cargas térmicas importantes (Gómez, 2011).

### 1.3.2.6. Infiltración del aire exterior a través de aberturas

En un local climatizado se infiltra aire exterior por el efecto de la presión del viento a través de las rendijas o ranuras de las ventanas y las puertas, y por la entrada y salida de los ocupantes del local.

### 1.3.2.7. Ventilación exterior

Resulta necesario la prever un caudal de aire exterior para lograr la renovación de aire en el local, disminuir el contenido de dióxido de carbono, eliminar los olores generados por los ocupantes, así como controlar la composición del aire cuando por algún proceso determinado libera un gas, polvo u otros. La introducción de aire exterior en el edificio modifica la temperatura interna de este, lo cual supone un problema cuando el aire exterior está a 30°C (Polaino *et al*, 1987).

De aquí se deben diferenciar dos grupos:

1. Ganancias de calor sensible (aumento de la temperatura del aire)
2. Ganancias de calor latente (adición de vapor de agua en el aire)

Una correcta estimación de la carga sirve de base para seleccionar el equipo de acondicionamiento. Debe tenerse en cuenta tanto el calor procedente del exterior como el que se genera en el interior del local, así como sus cargas para evaluar la ganancia o pérdida de calor del espacio a climatizar.

## 1.4. La radiación solar

La energía solar, es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el sol. La radiación solar que alcanza la tierra se aprovecha por medio del calor que produce, como también a través de la absorción de la radiación, por ejemplo, en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es una de las llamadas fuentes renovables particularmente del grupo no contaminante, conocido como energía limpia o verde. El movimiento terrestre constituye un punto determinante sobre la influencia de la inclinación de la radiación con dos movimientos fundamentales: traslación y rotación.

En el movimiento de traslación se describe una órbita elíptica la cual no supone más de un 2 % en la variación de distancia con respecto al Sol, por lo que su influencia en la

radiación es despreciable. El movimiento de rotación posee la particularidad de no estar en posición perpendicular con respecto al plano formado por la órbita elíptica, sino que tiene una desviación de  $23,45^\circ$ . Este ángulo provoca que, durante las estaciones de verano e invierno, tomando los solsticios como punto de máxima influencia, el ángulo de incidencia de la radiación sobre la Tierra no será igual en los dos hemisferios, siendo en el hemisferio más cercano al Sol, más perpendicular que en el que se encuentra más alejado, donde tendrán un ángulo de inclinación mayor.

Esto tiene una repercusión en la radiación recibida ya que esta depende del coseno del ángulo de incidencia, siendo máxima cuando es perpendicular. Por el contrario, en las estaciones de primavera y otoño, y más concretamente en los equinoccios, no existe diferencia entre la inclinación con que llega la radiación al hemisferio norte y al sur por lo que no habrá diferencia entre la radiación de uno o de otro. La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas.

La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres, figura 1.2.

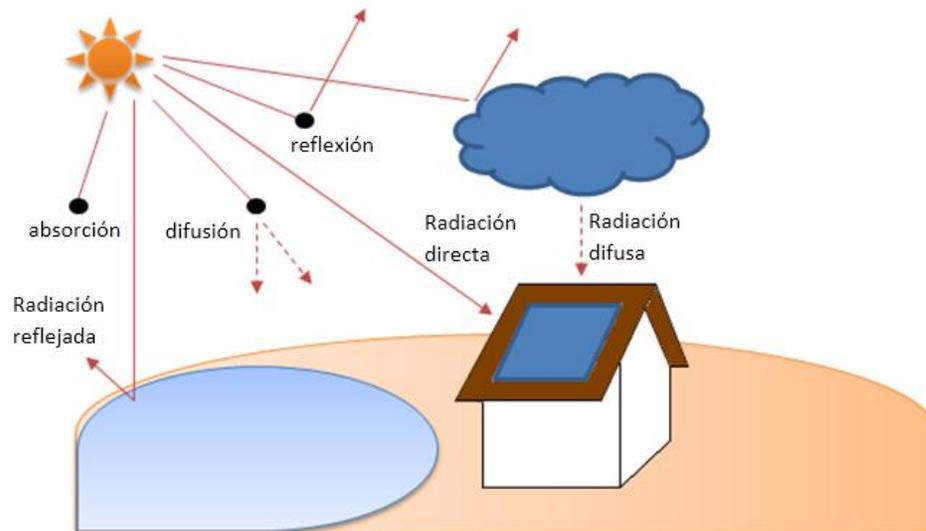


Figura 1.2: Componentes de la radiación solar. (Fuente: Monserrate, 2013)

Es tal la variabilidad de este fenómeno, que ha sido imposible crear un modelo físico para predecir la radiación con exactitud. El único sistema fiable utilizado para la predicción de este fenómeno es la utilización de grandes bases de datos recogidos en la zona en cuestión, con todas las estadísticas de los años anteriores.

La situación del sol en un lugar cualquiera viene determinada por la altura y el azimut del sol. El azimut solar ( $\Psi$ ) es el ángulo que se forma entre la proyección horizontal del sol y la dirección sur, (considerando la orientación sur con azimut cero, figura 1.3).

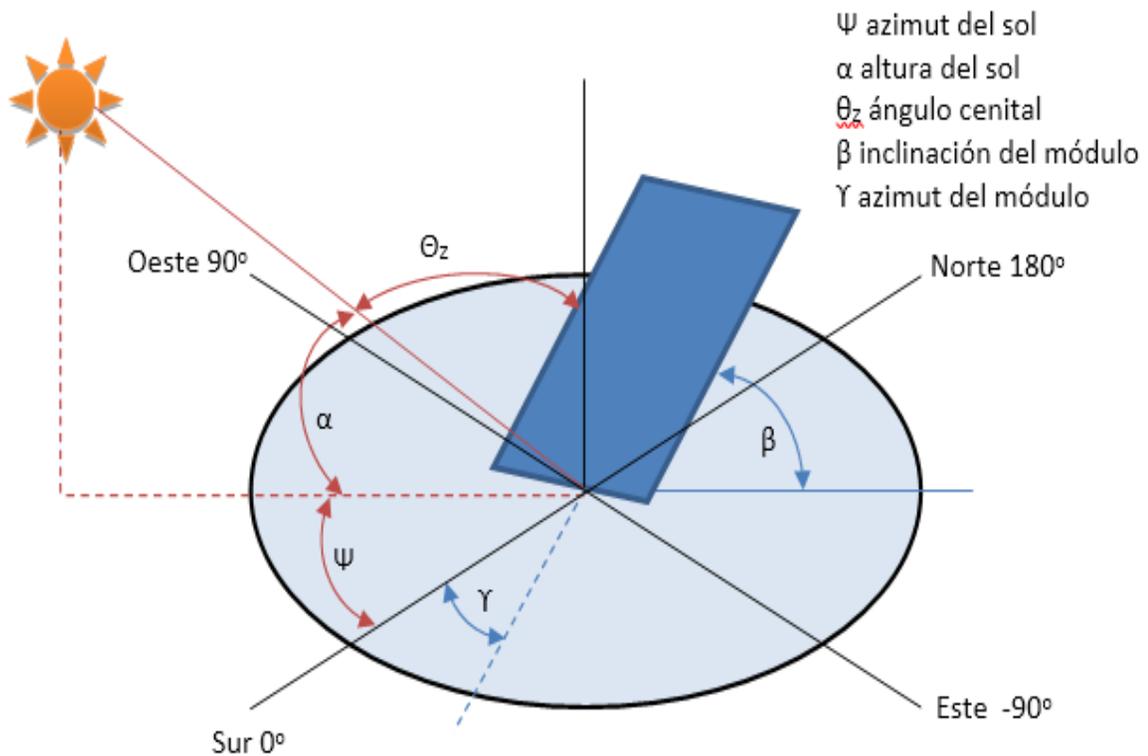


Figura 1.3: Geometría solar. (Fuente: Monserrate, 2013)

La altura solar o su complementario ángulo cenital ( $\theta_z$ ) varía durante el año entre dos valores máximo y mínimo (solsticio de invierno y verano), teniendo dos veces al año la misma posición (equinoccios de primavera y otoño), figura 1.4. El resto de los días del año las variaciones serían en valores intermedios.

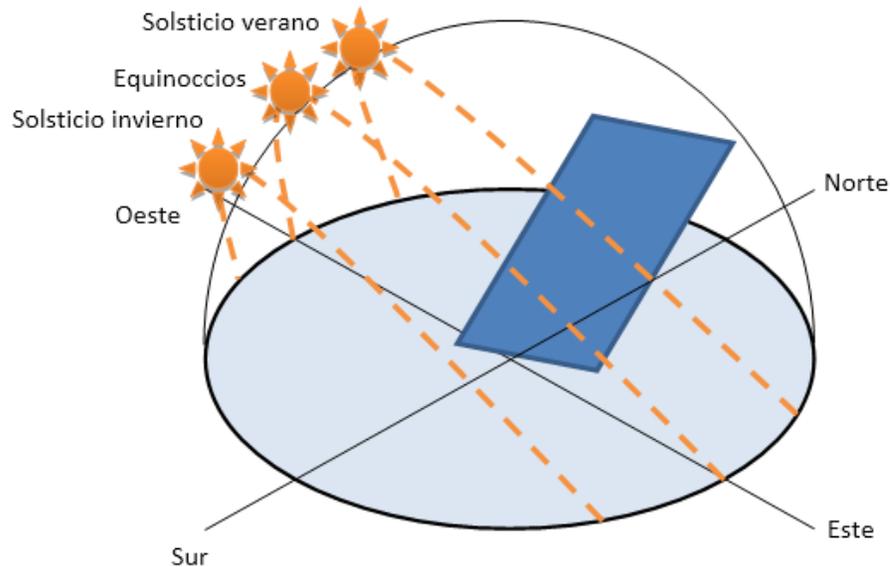


Figura 1.4: Posición del sol en los días de cambio de estación (Fuente: Monserrate, 2013)

En el caso de los módulos, la inclinación viene definida por el ángulo  $\beta$  y su orientación en azimut por el ángulo  $\gamma$ . Cuanto más perpendicular se encuentra el sol con respecto a la superficie terrestre menor es el camino que recorre la radiación solar a través de la atmósfera.

Luego se define el concepto de Masa de Aire, el cual es el cociente entre la trayectoria óptica oblicua descrita por un fotón a lo largo de la atmósfera y la trayectoria vertical mínima que tendría que recorrer para llegar al mismo punto sobre la superficie terrestre), figura 1.5. La posición relativa del sol respecto a la horizontal del lugar determina el valor de la masa de aire. Cuando los rayos solares caen formando un ángulo de  $90^\circ$  respecto a la horizontal, se dice que el sol ha alcanzado su zenit.

Para esta posición la radiación directa del sol atraviesa una distancia mínima a través de la atmósfera. Cuando el sol está más cercano al horizonte, esta distancia se incrementa, es decir, la “masa de aire” es mayor. A la posición del zenit se le asigna una masa de aire igual a uno.

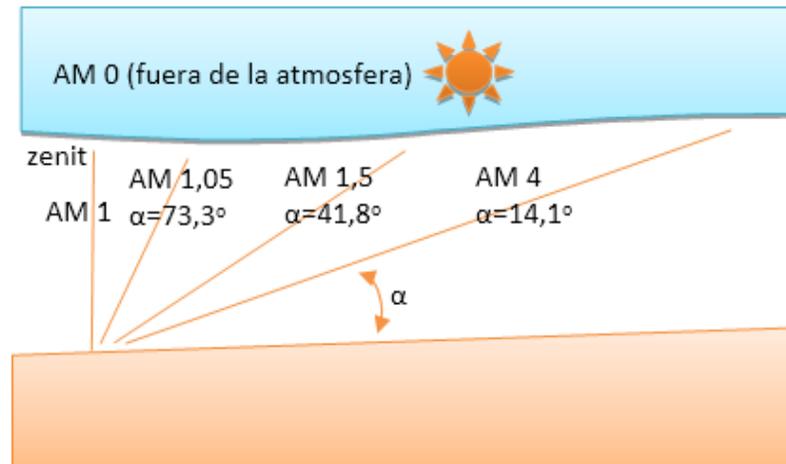


Figura 1.5: Valor de masa de aire según la posición del sol (Fuente: Monserrate, 2013).

Existe otro concepto relacionado con la radiación solar, horas de sol pico, el cual se define como el número de horas al día con una irradiancia ficticia de  $1\ 000\ \text{W/m}^2$  que suma un valor equivalente al total de irradiación real de ese día.

Si la irradiancia viene expresada en  $\text{kW/m}^2$  es un caso especialmente interesante ya que las horas pico de sol coinciden con el valor numérico en que viene expresada la irradiación (Monserrate, 2013).

### 1.5. Instalaciones solares fotovoltaicas

La tecnología fotovoltaica convierte directamente la radiación procedente del sol en electricidad. La energía que entrega el sol es limpia, renovable y tan abundante que la cantidad que recibe la Tierra en 30 minutos es equivalente a toda la energía eléctrica consumida por la humanidad en un año.

Una instalación fotovoltaica se caracteriza por su simplicidad, silencio, larga duración, poco mantenimiento, una elevada fiabilidad y no producir daños al medio ambiente. A diferencia de los combustibles fósiles y la energía nuclear, la energía fotovoltaica no contamina. Su uso no genera ningún impacto, la fabricación de las células requiere un elevado consumo energético, recuperado en un par de años de funcionamiento, y el uso de elementos tóxicos, por lo que los fabricantes deben reducir el consumo de esos compuestos, reutilizarlos y reciclarlos siempre que sea posible, y evitar el vertido incontrolado de sus residuos. A pesar de esto, considerando el ciclo de vida completo

de la tecnología solar fotovoltaica (desde la extracción de la materia prima hasta el final de su vida útil) el impacto sobre la naturaleza es incomparablemente menor que las tecnologías basadas en combustibles fósiles o nucleares.

### **1.5.1. Efecto de la irradiancia y la temperatura sobre el módulo fotovoltaico**

La irradiancia solar afecta principalmente a la corriente y lo hace de forma proporcional, a mayor irradiancia el módulo fotovoltaico proporciona una mayor intensidad y viceversa.

La tensión de máxima potencia prácticamente no varía frente a variaciones de irradiancia (sólo para bajas irradiancias se observa una disminución significativa) mientras que la corriente de máxima potencia sufre incrementos importantes a medida que el nivel de irradiancia va aumentando, (ver anexo 1).

Por otra parte, las variaciones de temperatura afectan principalmente a los valores de voltaje, teniendo mayor influencia en la tensión de circuito abierto. Un incremento en la temperatura de las células se traduce en una disminución tanto de la tensión de máxima potencia prácticamente como la tensión a circuito abierto que se traduce en pérdidas en la potencia del módulo, (ver anexo 2). El módulo se instalará de manera que el aire circule libremente a su alrededor. De este modo, se consigue disminuir la temperatura de las células y por lo tanto mejora el rendimiento del módulo.

### **1.5.2. El efecto fotovoltaico**

El efecto fotovoltaico es la base del proceso mediante el cual una célula fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas que a su vez corresponden a diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula fotovoltaica, son reflejados o absorbidos, de aquí que solamente estos últimos generan electricidad, transfiriéndose a un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

### **1.5.3. Panel fotovoltaico**

Los módulos fotovoltaicos o colectores solares fotovoltaicos, están formados por un conjunto de celdas fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos. El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo entrega bajo condiciones estandarizadas, que son:

- Radiación solar de 1 000 W/m<sup>2</sup>
- Temperatura de célula de 25 °C

### **1.5.4. Tipos de instalaciones fotovoltaicas**

Una instalación fotovoltaica tiene el objetivo de obtener energía eléctrica mediante la conversión de la energía solar. De aquí se diferencian dos tipos principales de instalaciones, dependiendo de la finalidad que se dará a esta electricidad y del emplazamiento de la instalación. Si el emplazamiento es un lugar remoto sin posibilidad de conexión a la red de baja o media tensión o el consumo que se requiere abastecer es pequeño o móvil, se utiliza una instalación fotovoltaica aislada, mientras que si hay la posibilidad de conectarse a la red y el objetivo es conseguir la mayor cantidad de energía eléctrica posible, se usa una instalación fotovoltaica conectada a red (Ibáñez, 2012)

#### **1.5.4.1. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red**

Existen dos tipos de aplicaciones de la energía solar fotovoltaica: los sistemas aislados y los conectados a la red.

Un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica consiste en un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica. El concepto de inyección tiene un amplio margen de aplicaciones, desde pequeños sistemas de pocos kWp de potencia instalada hasta centrales de varios MWp . En la figura 1.6 se muestra un diagrama de los componentes principales de un sistema de conexión a red que inyecta en media tensión.

El arreglo fotovoltaico recibe la radiación solar y la transforma en energía eléctrica, que, en lugar de ser almacenada en baterías, se utiliza directamente en el consumo o bien entregarla a la red eléctrica de distribución.

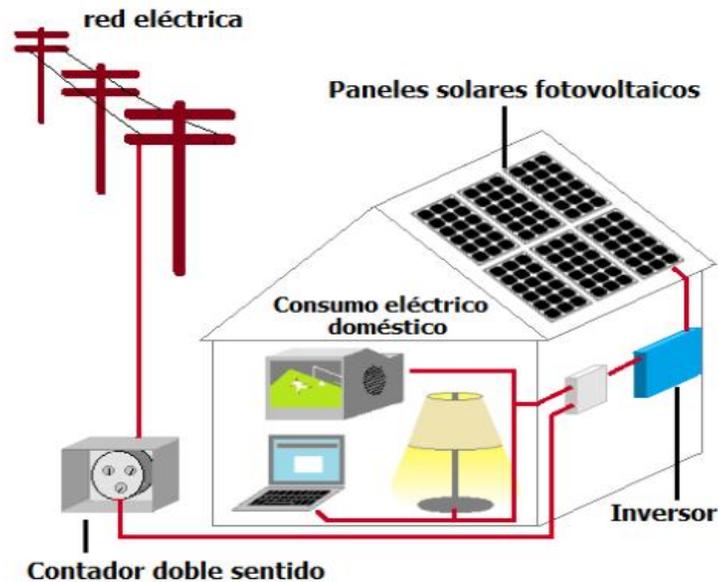


Figura 1.6: Esquema simplificado de un sistema fotovoltaico de conexión a red. (Fuente: Monserrate, 2013)

Estas dos funciones las realiza un inversor de corriente directa a corriente alterna especialmente diseñado para esta aplicación. El generador fotovoltaico o campo de paneles se integra a techos o fachadas en las viviendas o edificios, o en estructuras especiales de campo abierto. Cuando la energía es entregada a la red de media tensión se hace necesario utilizar un transformador, este eleva el voltaje de salida de los inversores al voltaje final de la red de media tensión.

Los edificios que integran sistemas fotovoltaicos se conocen como Sistemas Fotovoltaicos Integrados en Edificios o Edificios Fotovoltaicos Conectados a Red. La mayoría de los sistemas fotovoltaicos en edificios (viviendas, centros comerciales, naves industriales) se montan sobre techados y cubiertas, estos sistemas fotovoltaicos son de pequeño a mediano tamaño, aunque a veces se llegue al orden de los MW .

Los huertos fotovoltaicos son agrupaciones de instalaciones fotovoltaicas individuales, situados en un terreno o parcela que reúne unas condiciones óptimas para producir energía fotovoltaica.

#### 1.5.4.2. Ventajas de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red tienen numerosas ventajas, los mismos se enumeran atendiendo a diferentes categorías:

- **Eléctrica:** Generación de electricidad neta (kWh); reducción de la carga de servicio de la red eléctrica, sobre todo en zonas rurales; reducción de pérdidas en el transporte y transformación; mejora de la fiabilidad y flexibilidad del servicio de la red eléctrica; estabilización del voltaje.
- **Medioambiental:** Importante generación de energía durante su vida útil; reducción de la contaminación atmosférica (partículas, metales pesados, óxidos de nitrógenos y óxidos de azufre y de gases de efecto invernadero, de la lluvia ácida y del riesgo de niebla tóxica “smog”; reducción de radionúcleos y reducción de la carga ambiental localizada que representan las grandes centrales eléctricas.
- **Arquitectónica:** Multifuncionalidad, sustitución de elementos constructivos (en cubiertas, fachadas, impermeabilización de cubiertas, protección contra el fuego, contra el viento, control acústico, control de la luz solar, sombra; impacto estético (color), transparencia; elemento de “modernidad”.
- **Socioeconómica:** Estimulación de nuevas industrias, productos y puestos de trabajo (instalación y servicio); uso de recursos locales; diversificación de los recursos energéticos; reducción de la importación de combustibles (petróleo, gas natural y uranio); reducción de la dependencia energética hacia otros estados y regiones del planeta; renovación urbana; desarrollo rural; reducción de los costes externos (impacto medioambiental, infraestructura de descontaminación) de la generación eléctrica; símbolo educativo para el desarrollo sostenible.
- **Económico:** Las inversiones se hacen de forma progresiva debido a su modularidad. Los costos de operación y mantenimiento son incomparablemente inferiores a los de las termoeléctricas.

**1.6. Conclusiones del capítulo**

1. El análisis bibliográfico demostró la existencia de varios trabajos dedicados a la evaluación de la carga térmica en instalaciones climatizadas, pero en su mayoría se limitan a la evaluación del consumo energético sin tener en cuenta el uso de energías renovables.
2. La climatización es un proceso de tratamiento del aire para establecer las condiciones ambientales apropiadas para fines domésticos, comerciales, industriales, de salud y ocio, mediante el control de la temperatura, humedad, calidad y distribución del aire en un determinado ambiente, teniendo como objetivo tanto el confort de personas y animales, como satisfacer proceso o producto.
3. La radiación solar es aprovechable en todas sus componentes y su potencia varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud.
4. Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red consisten básicamente en un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica convencional.

## CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN

### 2.1. Introducción

Para lograr una correcta selección de los equipos destinados a satisfacer la demanda térmica en los locales, conocer el consumo de dichos equipos y proponer un arreglo de paneles fotovoltaicos que soporte la demanda, se hace necesario tener en cuenta factores determinantes que provoquen fluctuaciones, tales como: la radiación solar, la disposición de las edificaciones, posibles factores que aporten calor a las estructuras tanto internos como externos, sensibles y/o latentes que aumenten la carga térmica dentro de los locales.

#### **Objetivo del capítulo:**

Establecer el procedimiento de cálculo adecuado para el cálculo de la carga térmica de climatización en locales de centros universitarios y criterios de selección para los componentes de sistemas fotovoltaicos mediante la conjugación de diferentes aspectos teóricos metodológicos propuestos en investigaciones anteriores.

### 2.2. Ubicación de las instalaciones donde se plantea la propuesta

Debido a estudios realizados a quedado demostrado que la mayor carga de consumo energético en una edificación en momentos actuales constituye a los equipos de clima con valores cercanos al 30 % del consumo total de la instalación. Partiendo de aquí se escogió como tema 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:

- Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”
- Sede Universitaria “Regino Eladio Boti” de la Universidad de Guatánamo

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.

La Sede Universitaria “Regino Eladio Boti” se encuentra en el municipio Guantánamo en la provincia de igual nombre. Las coordenadas geográficas de la instalación son 20,13° de latitud norte y 75,20° de longitud Oeste. La localidad posee valores de temperatura media anual promedio de 26,9 °C , la humedad relativa varía entre 70 y 86 % y la radiación solar tiene influencia sobre la superficie con valores de 19,22 MJ/m<sup>2</sup> , (Tomado de Base de datos meteorológicas del software profesional PVsyst 6.6.0).

### 2.3. 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.

#### 2.3.1. Ganancia de calor por radiación solar a través de vidrios

Para determinar las ganancias por insolaciones a través del vidrio (Ecuación 2.1) 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

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

**Donde:**

- $Q_{RS}$ : Ganancia térmica sensible (W).
- $I_T$ : Valor de la intensidad de la radiación solar total (W/m<sup>2</sup>).
- $A$ : Área soleada de la ventana (m<sup>2</sup>).
- $f_{\#}$ : Factores de corrección.

**2.3.2. Ganancia de calor a través de componentes estructurales**

La ley de Fourier de la conducción de calor (Ecuación 2.2) 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.

$$Q_a = k \cdot A \cdot (t_e - t_i) \quad (2.2)$$

**Donde:**

- $Q_a$ : Flujo de calor (kW).
- $k$ : Coeficiente global de transferencia de calor (W/(m<sup>2</sup> °C)).
- $A$ : Área (m<sup>2</sup>).
- $t_e$ : Temperatura del aire exterior (°C).
- $t_i$ : Temperatura del aire en el interior del local (°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 2.3:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_E} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_L}} \quad (2.3)$$

**Donde:**

- $\alpha_E$ : Coeficiente de película del aire exterior (W/(m<sup>2</sup> °C)).
- $\alpha_L$ : Coeficiente de película del aire interior (W/(m<sup>2</sup> °C)).

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

### 2.3.2.1. 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 2.4), al ser sustituido en la expresión 2.2 se obtiene:

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

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 2.5 (Polaino; *et al.*, 1987; tablas 3.9 - 3.12):

$$\Delta t_e = a + \Delta t_{es} + b \cdot \frac{R_s}{R_m} \cdot (\Delta t_{em} - \Delta t_{es}) \quad (2.5)$$

**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)

### 2.3.3. 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 2.6 y 2.7). La cantidad de calor debida a las personas, debe estar de acuerdo a la actividad desarrollada por éstas (Manual de aire acondicionado, 1972).

#### 2.3.3.1. Ganancia por ocupantes

$$Q_{s.ocup} = n \cdot I_{cs} \quad (2.6)$$

$$Q_{s.ocup} = n \cdot I_{cl} \quad (2.7)$$

**Donde:**

- $Q_{s.ocup}$  y  $Q_{l.ocup}$ : 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.)

#### 2.3.4. 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 2.8).

#### 2.3.4.1. Ganancia por iluminación

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

$$Q_{s.ilum} = 1,25 \cdot N_{ilum} \quad (2.8)$$

**Donde:**

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

#### 2.3.4.2. Ganancia por motores eléctricos

En general los motores eléctricos aportan ganancia sensible que se calcula por la ecuación 2.9:

$$Q_{SE} = N_m \quad (2.9)$$

**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.

### 2.3.5. 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 2.10 y 2.11.

#### 2.3.5.1. Ganancia por infiltraciones

$$Q_{S.INF} = 1,2 \cdot V_{INF} \cdot (t_e - t_i) \quad (2.10)$$

$$Q_{L.INF} = 1,2 \cdot V_{INF} \cdot (w_e - w_i) \quad (2.11)$$

**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 ( $kg_a/kg_{as}$ )
- $w_i$ : Humedad específica interior ( $kg_a/kg_{as}$ )

### 2.3.6. 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 2.12:

### 2.3.6.1. Ventilación exterior

$$Q_{s,v} = 1,2 \cdot V_v \cdot (t_e - t_i) \quad (2.12)$$

**Donde:**

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

Segundo: el intercambio de aire incrementa el contenido de humedad, particularmente en verano y en algunas áreas cuando el aire húmedo del exterior debe ser deshumidificado. El consumo de energía asociada con estas cargas está dado por la ecuación 2.13:

$$Q_{L,v} = 2790 \cdot V_v \cdot (w_e - w_i) \quad (2.13)$$

**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 incrementar 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.

#### 2.4. 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 2.14 y 2.15).

##### 2.4.1. 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 ( $V_{SL}$ ).

$$FCSL = \frac{Q_{SL}}{Q_{SL} + Q_{LL}} \quad (2.14)$$

##### 2.4.2. Factor de Calor Sensible Total (FCST)

$$FSCT = \frac{Q_{SB}}{Q_{TB}} \quad (2.15)$$

**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 FCSL y FCST.

### 2.4.3. 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 2.16:

$$FCSE = \frac{\text{Carga Sensible Efectiva del Local}}{\text{Calor Total Efectivo del Local}} \quad (2.16)$$

### 2.4.4. 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.

### 2.4.5. 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 engorroso el cual se simplifica mediante ciertas suposiciones basadas en los conceptos de FD y APR (Ecuación 2.17).

$$V_{SL} = \frac{Q_{SL} + Q_{SV}}{1,2 \cdot (t_L - t_{APR}) \cdot (1 - FD)} \quad (2.17)$$

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 2.18 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.

$$t_M = \frac{t_E \cdot V_B + t_L \cdot V_R}{V_{SL}} \quad (2.18)$$

**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 2.19.

$$t_{SL} = t_{SB} = t_{APR} + FD \cdot (t_M - t_{APR}) \quad (2.19)$$

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:  $t_{SL} = t_{SB}$

#### 2.4.6. 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 2.20.

$$Q_{TB} = Q_{SL} + Q_{LL} + Q_{SV} + Q_{LV} + Q_{SGA} + Q_{LGA} \quad (2.20)$$

**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.

#### 2.5. 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 % .

#### 2.6. Zonas escogidas para la instalación de los paneles

El edificio seleccionado para la instalación del sistema fotovoltaico en el instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa se identifica como el edificio docente No. 2, presenta una estructura tipo Girón y posee tres pisos de altura, su ubicación se muestra en la figura 2.1. La cubierta es una superficie plana horizontal con dimensiones de 72 m de largo por 13 m de ancho, posee además una extensión con 24 x 13 m , para un total de 1 248 m<sup>2</sup> .



Figura 2.1: Vista aérea docente Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. (Fuente: [www.maps.google.com](http://www.maps.google.com))

Para el caso de la sede universitaria “Regino Eladio Boti” de Guantánamo posee dimensiones de 76 x 10 m por el área mayor y 36 x 13 m en el área menor para un total de 1 228 m<sup>2</sup>. Se considera ángulo de inclinación igual a 0° debido a que la superficie es horizontal y plana. Dicha instalación corresponde al edificio de la Facultad de Humanidades, como se aprecia en la figura 2.2.

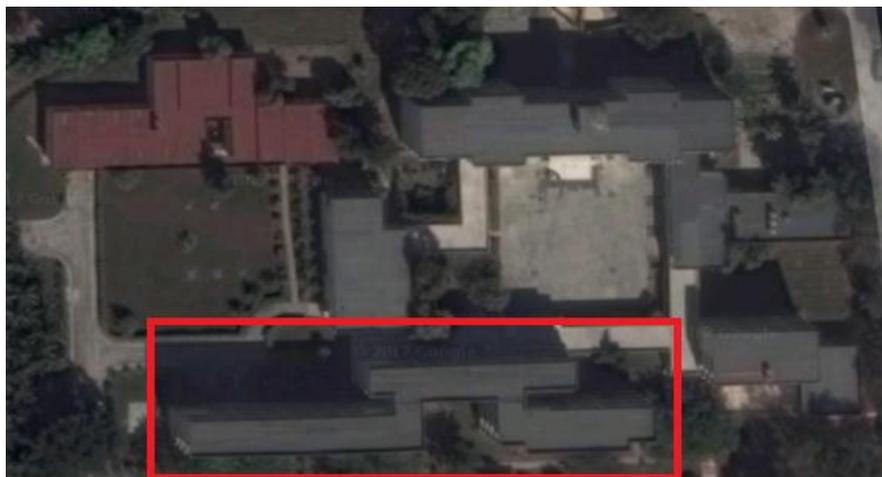


Figura 2.2: Vista aérea Sede Universitaria “Regino Eladio Boti”. (Fuente: [www.maps.google.com](http://www.maps.google.com))

## **2.7. Componentes del sistema solar fotovoltaico**

Para la selección y dimensionamiento del sistema fotovoltaico se hace necesario tener en cuenta numerosos factores que incidan en el correcto funcionamiento de las instalaciones, así como el máximo aprovechamiento de los recursos que brinden las edificaciones.

### **2.7.1. Orientación de los sistemas fotovoltaicos**

Situándose en el hemisferio Norte, la orientación óptima de los paneles solares es hacia el sur geográfico, el cual no coincide con el sur magnético. El modo de localizarlo es observando la dirección de la sombra proyectada por una varilla vertical a las 12 horas o mediodía solar, que es cuando el sol está en su cenit o punto más alto de su trayectoria diaria.

Refiriéndose a instalaciones fijas, los módulos serán instalados en función del grado de inclinación de dichas edificaciones. Para el caso del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa tendrá una desviación de  $22^{\circ}$  hacia el Oeste con respecto al Sur geográfico y en la sede universitaria “Regino Eladio Boti” de  $2^{\circ}$  hacia el Este con respecto al sur geográfico.

### **2.7.2. Ángulo de inclinación**

El ángulo de inclinación óptimo de las superficies captadoras de un sistema solar está determinado por varios factores, entre ellos la radiación incidente en el lugar donde va situada la instalación y el cielo solar, donde influye la sombra de objetos que no pueden ser eliminados, como edificios, montañas, etc. Además, las características de la instalación, o sea, si es única o híbrida, autónoma o acoplada a la red y el objetivo de la instalación, lo que define el régimen de uso y de consumo.

En todo caso, la optimización de un sistema solar está dada por el factor económico de la instalación en su conjunto y no por la eficiencia óptima de una de las partes. Para intentar aprovechar la máxima radiación posible los módulos fotovoltaicos tendrán un ángulo de inclinación de  $15^{\circ}$  con respecto a la horizontal.

### **2.7.3. Empleo de módulos con diodos by-pass**

Cuando una célula solar queda bajo sombra deja de producir corriente. Se comporta entonces como un diodo conectado en sentido de bloqueo. Pero si a través de una célula deja de fluir la corriente, esta deja de fluir también a través de todas las células conectadas en serie con ella. Se habla en tales casos del llamado “efecto de pinzamiento de manguera”: Si una manguera se pinza en un único punto, por su extremo sale menos agua. Para evitar este efecto se conecta a cada cadena de células un diodo by-pass en paralelo que, en caso de sombreado, soslaya la célula afectada.

### **2.7.4. Criterio de selección de los módulos fotovoltaicos e inversores**

Para la selección de los paneles fotovoltaicos se tiene en cuenta la potencia necesaria a instalar que requieren los equipos de clima y el área de cubierta para la colocación del sistema fotovoltaico en cada instalación. Después de haber determinado las variables anteriores se procede a la búsqueda de módulos fotovoltaicos que se encuentren accesibles para Cuba para lograr los mayores beneficios posibles.

Para la selección del inversor o los inversores se procederá de la misma manera que con los módulos teniendo en cuenta para este caso las pérdidas de generación eléctrica que existan en los paneles y la potencia real obtenida por los paneles. Este fluctúa según las características geográficas y/o climatológicas comunes que más inciden o prevalecen, tomándose para Cuba este rango de valores (0,9 a 1,1), de forma que se reduzca el efecto del calentamiento en los paneles por las altas temperaturas causantes en mayor medida de la disminución de la tensión, permitiendo así no sobredimensionar al inversor en las condiciones de baja irradiancia y altas temperaturas, logrando así niveles de eficiencia aceptables.

## **2.8. Características de la interconexión al sistema**

Es evidente que deben cumplirse una serie de requisitos indispensables para que la interconexión del sistema fotovoltaico con la red pueda darse, por tanto, entre otros, debe garantizarse que la calidad de la energía fotovoltaica sea la misma que la del sistema de distribución de los centros. Se requerirá como mínimo que el excedente de energía que esté en capacidad de ser vertida a la red, no provoque condiciones

inseguras para la confiabilidad del sistema, es por eso que se deben considerar los siguientes aspectos técnicos para la interconexión.

**Relevadores de protección, de máxima y mínima tensión y frecuencia.**

Garantizarán que la tensión y la frecuencia generada por el sistema fotovoltaico sean idénticas a los de la red, de modo que, si en un momento determinado no lo fueran, dichos relevadores actúen sobre un interruptor automático, asegurando así la protección y maniobra.

**Sistema de puesta a tierra.** Todas las masas de la instalación fotovoltaica, tanto de la sección continua como de la alterna, estarán conectados a una única tierra. Esta tierra será independiente de la del neutro del Sistema Electroenergético Nacional.

Debido a que la distribución del consumo eléctrico en los centros universitarios en estudio, se encuentran conectados a un Panel General de Distribución (P.G.D), y de ahí a otro panel de distribución independiente para cada edificación dentro de las instalaciones, se propone la utilización de un panel de distribución en cada edificación para los equipos de clima, teniendo en cuenta que el sistema fotovoltaico está diseñado solamente para el suministro de energía de estos equipos, figura 2.3. Cabe objetar que este trabajo no tiene en cuenta todo el sistema de distribución eléctrica para los equipos de aire acondicionado, el cableado y todas las consideraciones eléctricas, así como el costo de dicha inversión en la valoración económica.

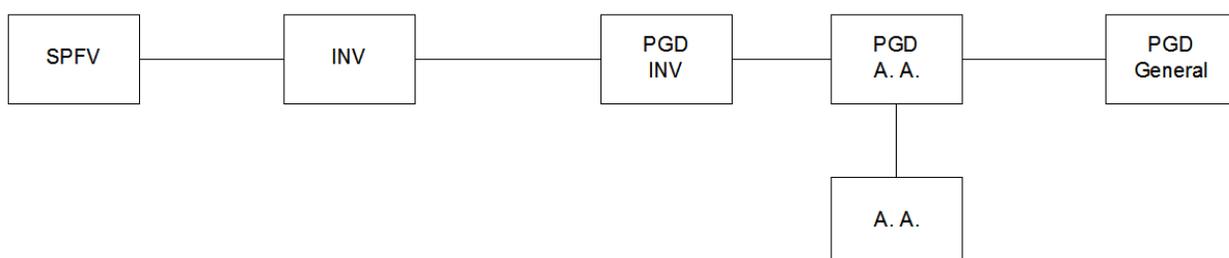


Figura 2.3: Esquema simplificado de conexión desde el sistema fotovoltaico a los equipos de climatización, dónde: SPFV (Sistema de Paneles Fotovoltaicos); INV (Inversor); PGD INV (Panel General Distribuidor del Inversor); PGD A. A. (Panel General Distribuidor de equipos de Aire Acondicionado); PGD General (Panel General Distribuidor del Centro).

### **2.9. Utilización del software profesional PVsyst**

Como herramienta de cálculo se utiliza el programa PVsyst, programa que fue desarrollado por el centro de estudios de problemas energéticos de Génova. Este software profesional está destinado al estudio, dimensionado y análisis de instalaciones fotovoltaicas. Con este programa se pueden diseñar tanto instalaciones conectadas a red como aisladas.

El programa posee una amplia base de datos meteorológicas de diferentes lugares del mundo de donde se obtendrán los datos de irradiancia y temperatura entre otros. Estos se tomarán del lugar más cercano al emplazamiento de la instalación. Además, posee una amplia variedad de componentes fotovoltaicos y la opción de crear los propios introduciendo las características obtenidas en el catálogo del componente en la base de datos. Permite también, introducir la distancia entre módulos, las sombras que se proyectarán sobre los paneles, la inclinación y orientación de los módulos entre otros, lo que permitirá efectuar un cálculo bastante aproximado de las pérdidas de la instalación.

Tiene la opción de realizar el diseño de la instalación a dos niveles diferentes. El primero al que se le llama Diseño Preliminar es un estudio poco detallado con el objetivo de determinar la viabilidad del proyecto propuesto. En esta parte no se piden datos específicos de la instalación, sino que únicamente son necesarios datos meteorológicos, de potencia y algunas características del sistema fotovoltaico. (Vargas, 2015).

### **2.10. Conclusiones del capítulo**

1. Se estableció el procedimiento de cálculo para la estimación de la carga térmica en los locales del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez” y la sede universitaria “Regino Eladio Boti” de la Universidad de Guantánamo.
2. Las condiciones de diseño interior y exterior quedan definidas en función de lograr el confort térmico de los ocupantes dentro de los locales y las condiciones climatológicas según las coordenadas geográficas de los centros universitarios en estudio.

3. Los paneles fotovoltaicos tendrán orientación paralela con las edificaciones donde serán instaladas y  $15^{\circ}$  de inclinación con respecto a la horizontal en las cubiertas garantizando la mayor captación de energía solar posible.
4. Los criterios de selección de los módulos fotovoltaicos e inversores tienen en cuenta la accesibilidad y potencia necesaria para abastecer la energía eléctrica de los equipos de aire acondicionado en las dos instalaciones.

## CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 2.1. Introducción

Luego de definir la metodología para el cálculo de la carga térmica en los locales de las instalaciones estudiadas, determinado el consumo por concepto de clima y diseñado el sistema fotovoltaico para suministro de energía de dichos equipos; se expone un resumen que muestre brevemente los resultados más relevantes del proyecto.

#### 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, la viabilidad y rentabilidad del sistema fotovoltaico para su implementación en el suministro de energía a los equipos de aire acondicionado y el impacto medioambiental que dicho sistema pueda causar.

### 2.2. Análisis de portadores energéticos

Para profundizar en los aspectos tratados en el capítulo anterior, se realiza el diagnóstico energético en los centros universitarios en estudio con el fin de justificar el consumo de energía y demostrar la influencia de la climatización sobre el mismo.

Para llevar a cabo el diagnóstico se identificaron los principales portadores energéticos de centro de estudios y dentro de ellos cuál representa el mayor consumo. Con la documentación existente en el departamento de servicios técnicos se conforma una base de datos donde se relacionan los consumos por portadores energéticos en los últimos dos años, siendo este el punto de partida para el estudio que se lleva a cabo.

A través de la información recogida en las instituciones se confeccionó el gráfico de Pareto, figura 3.3 y 3.4, donde se observa el comportamiento de los portadores energéticos durante el año 2016. La electricidad ocupa el primer lugar en orden de importancia representando el 50 % del consumo total en las dos instalaciones, seguido por los combustibles líquidos: diésel mediano, de transporte y gasolina, el *Fuel Oil* y en último lugar el Gas Licuado del Petróleo, sumando entre todos los porcentajes

restantes. Estos resultados indican que el mayor esfuerzo en la gestión energética se debe dirigir hacia la electricidad.

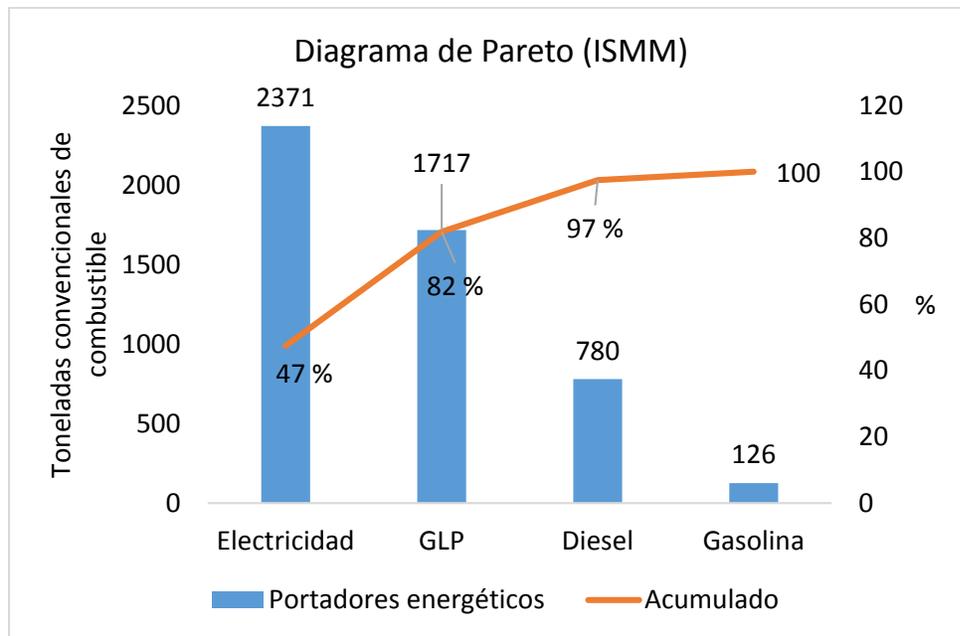


Figura. 3.3: Comportamiento de los portadores energéticos en el año 2016 para el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

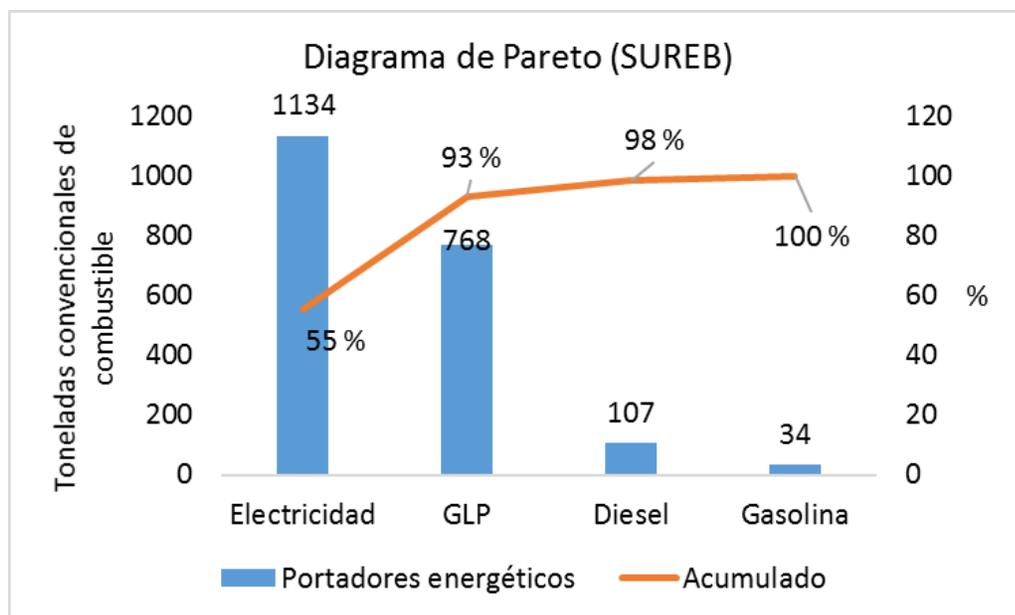


Figura. 3.4: Comportamiento de los portadores energéticos en el año 2016 para la Sede Universitaria “Regino Eladio Botí” (SUREB).

Ha quedado demostrado que la electricidad es el portador de mayor incidencia en los costos y toda acción encaminada a la reducción de su consumo incrementa las utilidades de los Centros de Educación Superior. Es cierto que los indicadores utilizados en la actualidad por las diferentes instituciones no son capaces de evaluar la eficiencia energética y presentan dificultad a la hora de usarse como instrumentos de control.

### 2.3. Comportamiento de la radiación solar a través de vidrios y ventanas

Se comprobó en función de la orientación de la instalación que la mayor radiación solar ocurre en horas de la mañana (07:00 horas) para la pared noreste en el mes de junio para el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa con un valor de  $485 \text{ W/m}^2$  (Figura 3.1), y (12:00 horas) del mes de diciembre para la sede “Regino Eladio Boti” en la pared sur con  $469 \text{ W/m}^2$  (Figura 3.2). Se asume aportaciones de calor través de vidrio sencillo.

Teniendo en cuenta que las demás orientaciones están protegidas por tabiques o se encuentra a la sombra, solo se tuvo en cuenta la radiación solar a través de estructuras, y en caso que lo requiera, incluyendo la diferencia de temperatura equivalente. En el caso de la Sede “Regino Eladio Boti” la mayor superficie acristalada se encuentra orientada hacia el Sur, pero no recibe radiación solar directamente en ningún horario, por tanto, la radiación a través de superficies acristaladas es casi nula.

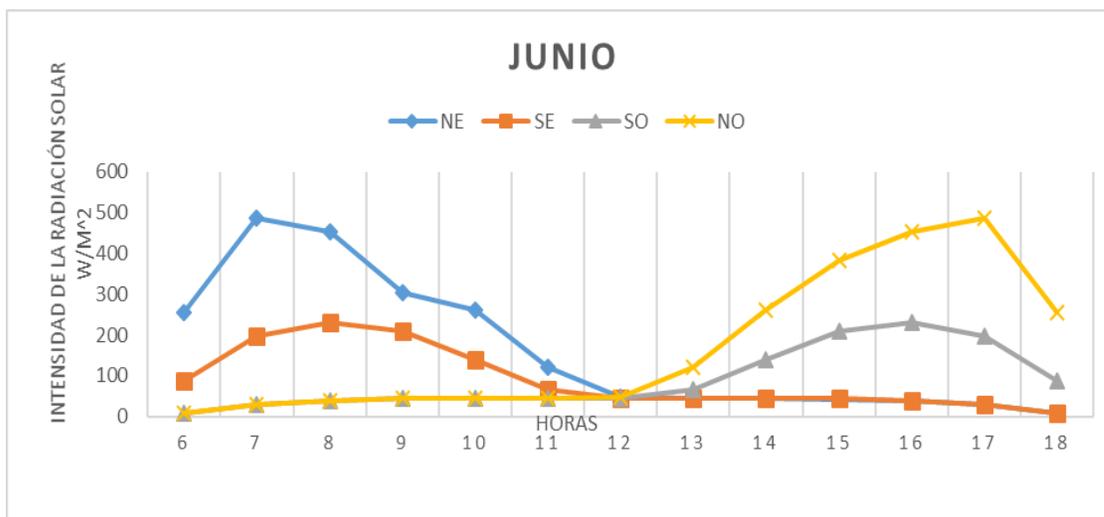


Figura 3.1: Comportamiento de la intensidad de la radiación solar a través de superficies acristaladas para el mes de Junio.

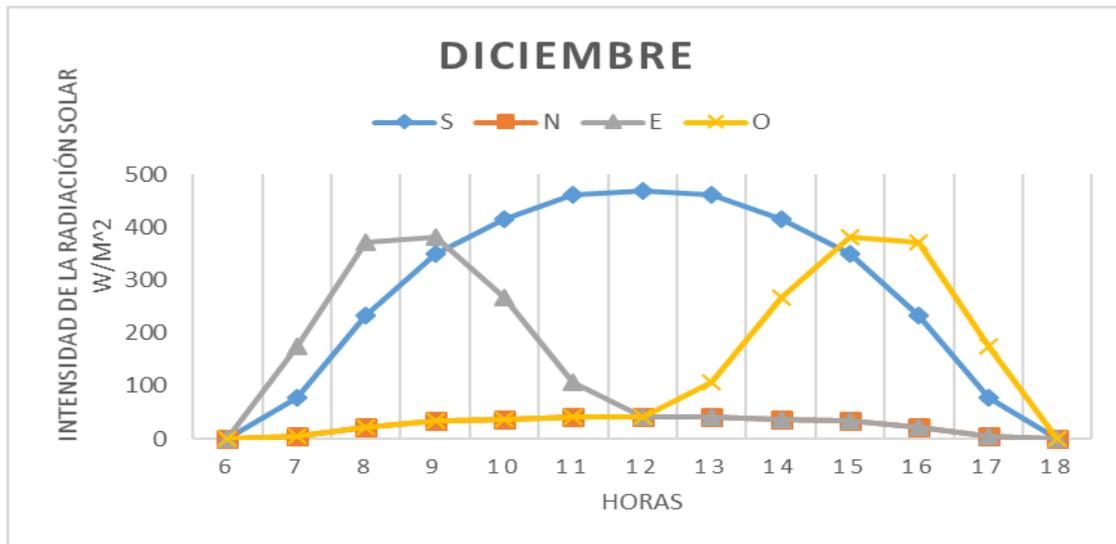


Figura 3.2: Comportamiento de la intensidad de la radiación solar a través de superficies acristaladas para el mes de Diciembre.

#### 2.4. Distribución de las ganancias de calor

La potencia de climatización instalada en una instalación depende de la carga térmica total que exista sobre los locales, que, a su vez, dependen de la orientación de la instalación, el volumen del local, la diferencia de temperatura, entre otros. Luego de establecida la metodología para el cálculo de la carga térmica en los centros universitarios en estudio en el capítulo anterior se procedió a cálculo de la misma. La figura 3.3 representa el comportamiento de las ganancias de calor sobre los locales de las instalaciones, donde se observa que en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (552,53 kW) hay mayor carga térmica que en la sede “Regino Eladio Boti” (487,84 kW). Los principales factores que influyen en estos resultados son:

1. **Mayor cantidad de locales climatizados.** En la sede universitaria “Regino Eladio Boti” existen solamente 21 locales con climatización mientras que en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa hay 37 departamentos.
2. **Orientación y tamaño de la instalación.** Debido a la orientación de la instalación y la diferencia de tamaño en cuestión de estructura existe mayor superficie expuesta a la radiación solar por parte del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

**3. Potencia instalada por equipos.** Los locales en la sede universitaria “Regino Eladio Boti” son utilizados principalmente en laboratorios de informática y oficinas, mientras que en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa existen además laboratorios de ensayos pertenecientes a las carreras de Mecánica y Eléctrica, los laboratorios de Física, y equipos de medición de las carreras Geología y Minas.

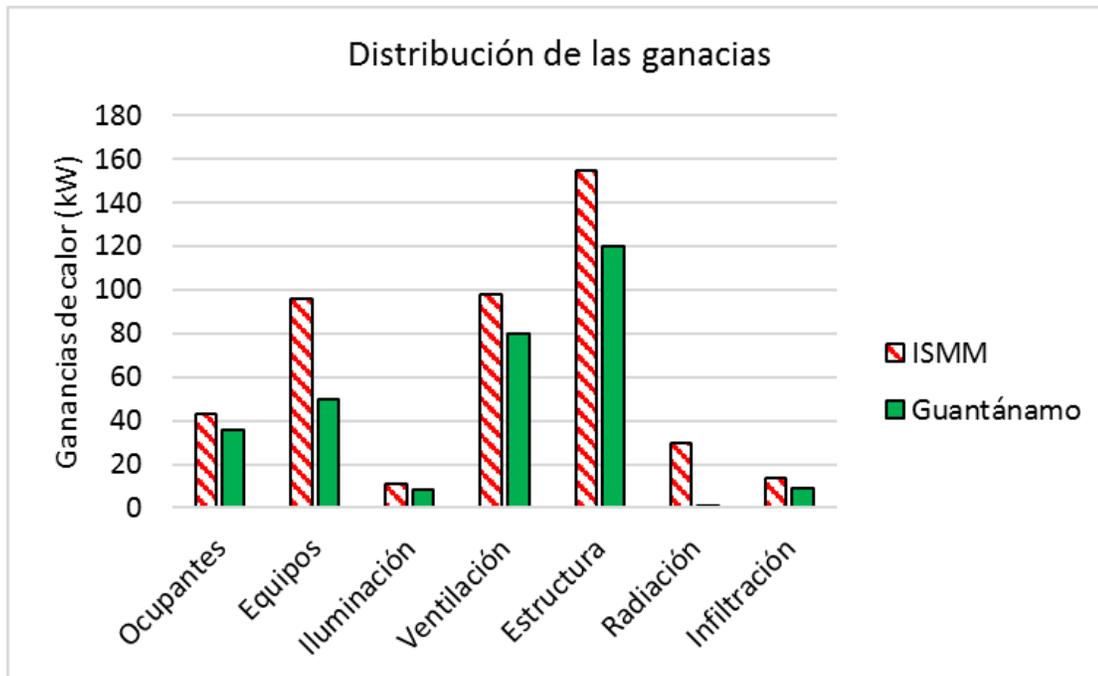


Figura 3.5: Distribución de las ganancias de calor total por instalación.

## 2.5. 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 a ascender en horas del mediodía y descender en la mañana y después de las 14:00 horas. De aquí se estableció un promedio diario para cada equipo según la potencia, considerando 261 días hábiles al año se obtuvo valores anuales de consumo. La tabla 3.1 muestra el consumo anual de las unidades por independiente según la potencia de las mismas.

Tabla 3.1: Equipos de aire acondicionado por instalación.

Equipo	Consumo anual MWh (8 horas)	Cantidad	
		ISMM	“Regino Eladio Boti”
Aire acondicionado de ventana 5,28 kW (1,5 TR)	389,64	10	22
Aire acondicionado de ventana 7,04 kW (2 TR)	683,84	34	24
Minisplit 5,28 kW (1,5 TR)	484,38	5	-
Minisplit 7,04 kW (2 TR)	1 688,22	15	6
<b>Total</b>		<b>64</b>	<b>52</b>

El valor del consumo total anual por instalación se afectó por un 10 % debido a que los equipos no siempre trabajan a su máxima potencia ni simultáneamente en todos los locales para un total de 36,235 MWh en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y 31,602 MWh en la sede universitaria “Regino Eladio Boti”.

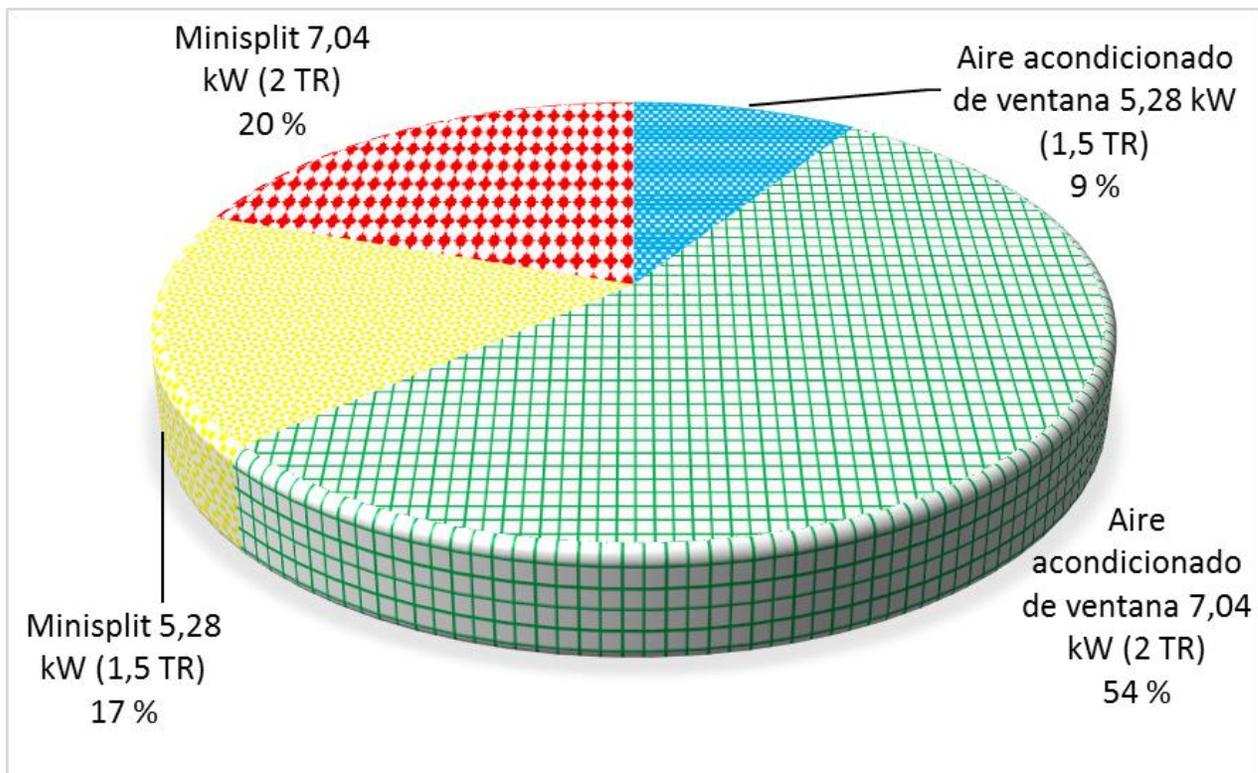


Figura 3.3: Distribución del consumo anual instalada por equipos según la potencia.

Como se observa el valor del consumo total por año es mayor en un 13 % debido a que existen mayor cantidad de equipos en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa que en la sede “Regino Eladio Boti”. Las figuras 3.3 y 3.4 muestra la distribución del

consumo anual de energía por equipos de clima según la potencia de los mismos para cada instalación, donde se observa que los aires acondicionados de dos toneladas de refrigeración tienen mayor incidencia en el consumo de energía debido a que representan la mayor cantidad de equipos en las dos instalaciones.

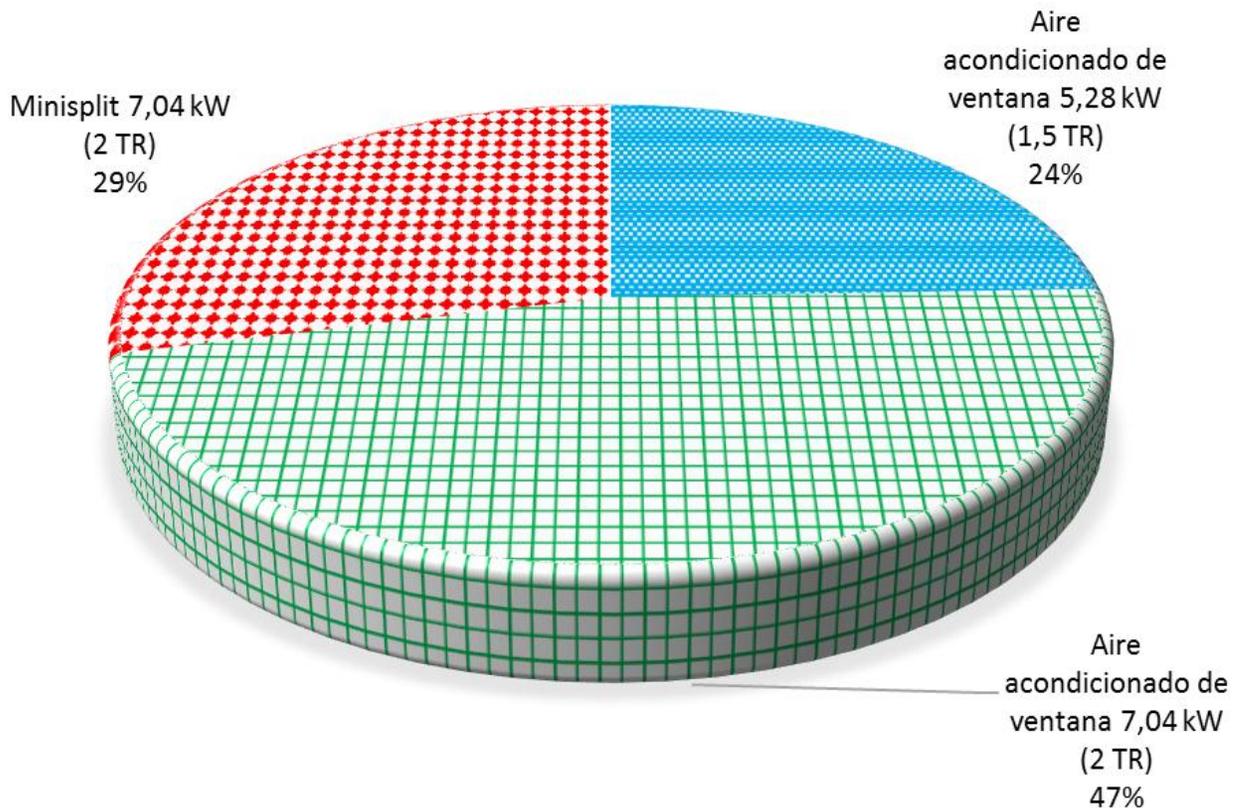


Figura 3.4: Distribución del consumo anual instalado por equipos según su capacidad.

## 2.6. Selección de los módulos solares

Cuba busca mejorar la eficiencia en las centrales fotovoltaicas posibilitando mayor generación de energía eléctrica, y en búsqueda de este propósito se decidió a emplear módulos fotovoltaicos modelo DSM - 250 por poseer mejores prestaciones técnicas ante modelos usados en proyectos anteriores, del fabricante CCE (Pinar del Río, Cuba) con una potencia pico de 250 Wp y una tolerancia de  $\pm 3 W$  . La tabla 2.1 muestra las principales características de dicho módulo.

Tabla 2.1: Características generales del módulo fotovoltaico modelo DSM – 250.

Especificaciones	
Celda	Celda solar de Silicio Multicristalino 156 x156 mm
Dimensiones del módulo	1650 x 990 x 40 mm
Material del marco	Aleación de aluminio normalizado
Peso	20 kg
Características eléctricas	
Voltaje a circuito abierto (Voc)	37,7 V
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmp)	30,5 V
Corriente de corto circuito (Isc)	8,55 A
Corriente en el punto de máxima potencia (Imp)	8,19 A
Potencia máxima potencia a STC (Pm)	250 Wp

## 2.7. Selección de los inversores

La función del inversor es convertir la energía proveniente de los paneles de corriente continua a corriente alterna. De aquí que el mismo se selecciona un 10 % mayor que la potencia máxima del generador fotovoltaico debido a que la potencia máxima del inversor se requiere siempre solo a determinadas horas del día, y solo si a la vez las condiciones de irradiación son las adecuadas. Se seleccionó un inversor modelo FreeSun FS0020 LVT del fabricante “Power Electronics” con una tensión de funcionamiento de 203 – 253 V y potencia nominal 30 kW . La tabla 2.2 muestra las características del inversor.

Tabla 2.2: Parámetros técnicos del inversor FreeSun FS0020.

Entrada de Corriente Directa	
Tensión MPP mínima	203 V
Tensión MPP nominal	230 V
Tensión MPP máxima	253 V
Tensión FV máxima absoluta.	900 V
Potencia umbral	300 W
Tensión de Red	230 V
Potencia nominal CA	30 kW
Corriente CA nominal	30 A
Corriente CA máxima	30 A
Eficiencia máxima	95%

## 2.8. Distribución del sistema fotovoltaico

Los paneles estarán distribuidos de forma que permita el correcto funcionamiento de los mismos, la circulación de aire entre ellos y facilidades para el operario durante el montaje y mantenimiento.

En el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa los módulos estarán distribuidos en cuatro filas y 12 columnas para el primer bloque, cuatro filas y ocho columnas para el segundo y tercer bloque según se muestra en el anexo 3. Separados tres metros del borde de la edificación por todos los lados, con distancias entre filas y columnas de dos metros.

Para el caso de la sede universitaria “Regino Eladio Boti” se dispondrán de 4 x 16 y 5 x 16 filas y columnas respectivamente para cada bloque según se muestra en el anexo 4. Los bloques tendrán un metro de separación del borde de la edificación y separados a 1,7 m y 2,09 m entre filas y columnas respectivamente; para un total de 144 módulos por cada instalación (28 kW).

## 2.9. Potencia generada por el sistema fotovoltaico

Luego de haber definido todas las variables del sistema fotovoltaico se procedió a calcular el sistema con la ayuda del software profesional PVsyst, donde se obtuvo la potencia generada por los sistemas fotovoltaicos mensual y anual para cada una de las instalaciones, así como los valores de radiación global y el rendimiento de las instalaciones. La tabla 3.2 muestra los principales resultados para cada institución.

Tabla 3.2: Resultados principales obtenidos en la simulación.

Variable	ISMM	SUREB
Irradiación global horizontal (kWh/m <sup>2</sup> )	1939,6	1948,6
Irradiación difusa horizontal (kWh/m <sup>2</sup> )	833,2	853,4
Temperatura ambiente (°C)	26,84	26,54
Global incidente plano receptor (kWh/m <sup>2</sup> )	2057,5	2076,2
Energía efectiva en la salida del generador (MWh)	49,397	58,174
Energía reinyectada a la red (MWh)	47,104	55,481
Factor de rendimiento (%)	80,3	80,4

Estos valores demuestran que, aunque los valores de radiación y temperatura no tienen una diferencia significativa, la sede universitaria “Regino Eladio Boti” (SUREB) (Tabla

3.2) produce mayor cantidad de energía eléctrica anual debido a que la misma se encuentra con mejor proximidad a la orientación óptima (sur geográfico), con una diferencia en cuanto al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa de un 15 % .De acuerdo con la documentación existente en la base de datos de la dirección de aseguramiento se relacionaron los valores obtenidos con el consumo de cada instalación y el consumo promedio mensual por climatización, figuras 3.5 y 3.6.

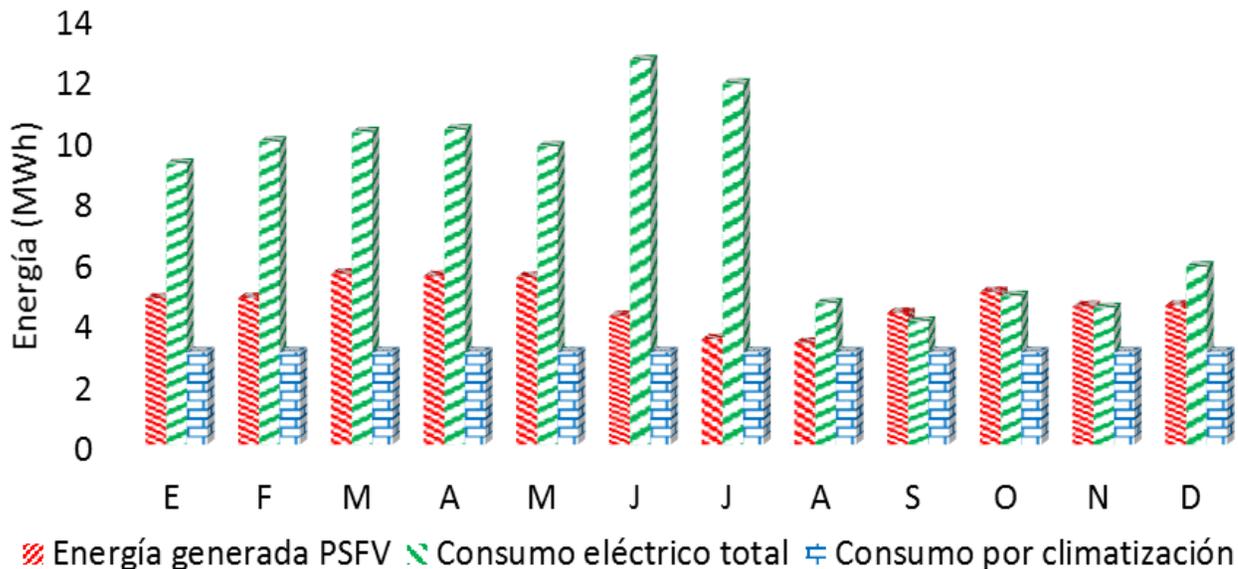


Figura 3.5: Comparación entre la energía producida por el sistema fotovoltaico, el consumo eléctrico anual y el consumo promedio mensual por equipos de clima en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

De acuerdo con los valores, la energía eléctrica anual generada por los paneles supone el 56,9 % del consumo anual total del centro universitario en el caso del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y 23,1 % en la sede “Regino Eladio Boti”.

Los resultados obtenidos arrojan que la potencia eléctrica generada por los sistemas fotovoltaicos se comporta por encima de la media mensual de los equipos de aire acondicionado en todos los meses, con picos correspondientes a los meses de marzo, abril y mayo para las dos instalaciones. En el caso de la sede universitaria “Regino Eladio Boti”, en los meses de septiembre, octubre y noviembre donde hay menor consumo eléctrico, la potencia eléctrica generada por los paneles podrá abastecer el consumo total de la instalación.

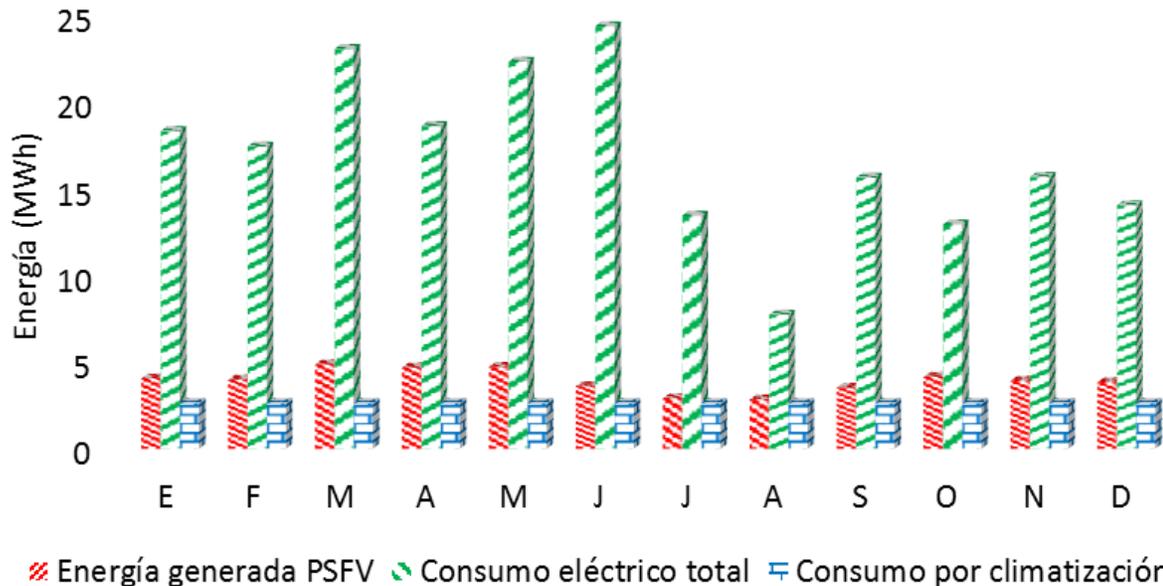


Figura 3.5: Comparación entre la energía producida por el sistema fotovoltaico, el consumo eléctrico anual y el consumo promedio mensual por equipos de clima en la sede “Regino Eladio Boti”.

### 2.10. Costo de la instalación

Para determinar el costo total de la instalación se tienen en cuenta todos los elementos que requiere el sistema fotovoltaico para su puesta en funcionamiento. Los precios de los componentes fueron facilitados por la EMPRESA COPEXTEL SA. El anexo 5 y 6 muestran todos los elementos que se tuvo en cuenta a la hora de calcular el costo total de los sistemas para un total de componente a pagar total de 50 720 miles de pesos. Como el sistema fotovoltaico seleccionado es el mismo para las dos instalaciones, entonces los valores de los costos son iguales.

### 2.11. Factibilidad del proyecto

El costo del sistema fotovoltaico que se propone en este proyecto se compone del precio de sus componentes, incluyendo los costos por concepto de importación, los costos de montaje y mantenimiento, así como la tarifa por horas de trabajo para cada instalación en función de su potencia.

En la valoración económica se incluyen dos criterios principales:

- El tiempo desde el comienzo del estudio del proyecto.
- Montaje y mantenimiento de la instalación.

Para ello se tiene en cuenta que el montaje y mantenimiento corresponde a dos técnicos, considerando un mes de montaje y una brigada de 14 técnicos según la EMPRESA COPEXTEL SA.

Para la realización de la valoración económica de la inversión donde se utilizará el criterio del Valor Actual Neto (VAN) que mide en dinero corriente el rendimiento de la inversión que se pretende efectuar de un proyecto dado, valor que luego es rectificado por el método de la Tasa Interna de Retorno (TIR) que representa la rentabilidad general del proyecto y es un indicador que se utiliza para evaluar las propuestas de inversión mediante la aplicación de la tasa de rendimiento sobre un activo (se toma una tasa interna de retorno del 10 %) y, por último, la relación beneficio – costo (B/C) que es el coeficiente entre el valor presente de los beneficios o ingresos de un proyecto y el valor presente de los costos o egresos del mismo. Los criterios anteriores se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Criterios económicos.

	ISMM	"Regino Eladio Boti"	Criterio de selección
VAN (MPT)	82,48	106,7	> 0
TIR %	27,65	33,1	> 10 %
B/C	2,52	2,96	> 1
TR	4,98	3,98	< 25 años

Según los valores obtenidos queda demostrado que el proyecto es factible para las dos instalaciones sin importar el tamaño o posición geográfica debido a que se cumplen las siguientes condiciones necesarias:

1. El **valor actual neto** es mayor que cero. Significa que se está generando más efectivos del que se necesita para reembolsar una deuda y alcanzar el rendimiento requerido a los accionistas.
2. La **tasa interna de retorno** es mayor que la tasa de interés (10 %). Significa que la rentabilidad que se obtiene sobre el capital invertido, mientras está invertido, permite el reembolso parcial de la inversión inicial.
3. La relación **beneficio – costo** es mayor que uno.

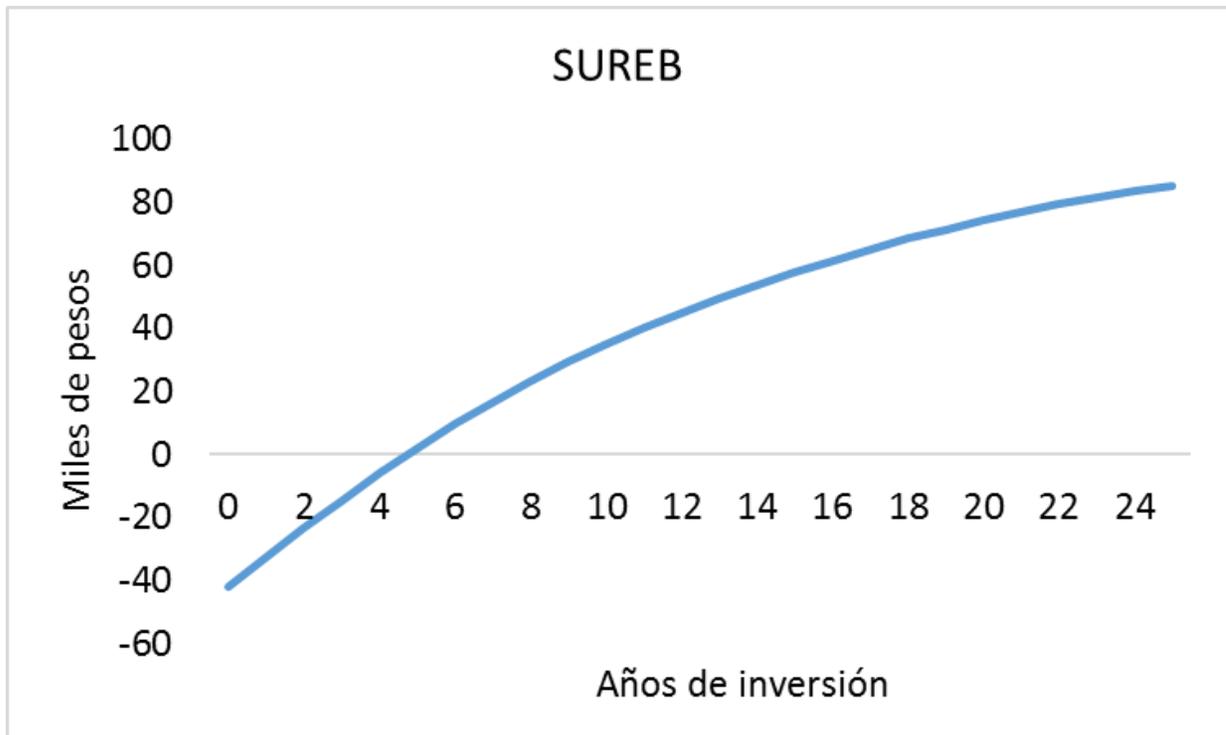


Figura 3.6: Curva de valores actualizados acumulados de los sistemas fotovoltaicos en la Sede Universitaria “Regino Eladio Boti” (SUREB).

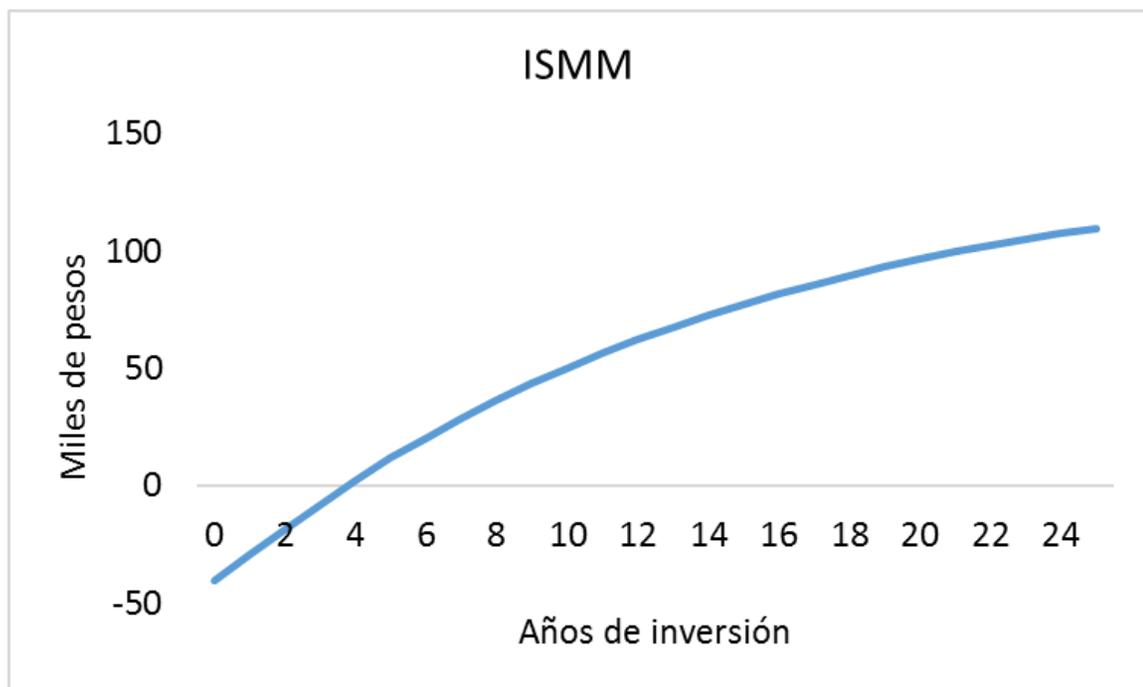


Figura 3.7: Curva de valores actualizados acumulados de los sistemas fotovoltaicos Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMM).

El **tiempo de recuperación de la inversión** es positivo en aproximadamente cinco años para las dos instalaciones figura 3.6 y 3.7. Por esto se entiende que el proyecto comienza a tener beneficios antes del tiempo de vida útil de los paneles solares.

Al cumplirse todos los criterios económicos para los dos proyectos entonces los mismos son rentables.

## 2.12. Ahorros del proyecto

La creación de los paneles solares fotovoltaicos permite producir cierta cantidad de energía sin la utilización de combustibles fósiles o diésel, esto, además de eliminar la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, reduce la importación de combustible para generar dicha energía.

Para calcular cuánto se ahorra el país con la utilización del sistema fotovoltaico se tuvo en cuenta la cantidad de energía producida anual por los paneles solares para cada instalación (energía que no tiene que producir el Sistema Electroenergético Nacional), el índice de pérdida de los paneles durante su período de vida (25 años), el consumo específico neto promedio del Sistema Electroenergético Nacional (incluye insumo y pérdidas en líneas de transmisión y distribución), y el precio promedio de una tonelada de combustible en el Sistema Electroenergético Nacional. Téngase en cuenta que el precio del combustible anual se comporta de forma creciente por año. (Tabla 3.4).

Tabla 3.4: Parámetros utilizados para el cálculo de los ahorros.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Índice de pérdida de los paneles para 25 años (%)	16,25
Consumo específico neto promedio SEN (t/MWh)	0,3307
Promedio de una tonelada de combustible SEN anual (USD/t)	261,52
Precio de compra horario por día (\$/kWh)	0,13
Índice de toneladas de dióxido de carbono (t/MWh)	0,862

La tabla 3.5 representa los ahorros aportados por los sistemas fotovoltaicos en cada instalación de acuerdo con los parámetros anteriormente mencionados y la generación anual de los paneles solares. Dichos cálculos fueron calculados para el tiempo de vida útil de un sistema fotovoltaico (25 años), suponiendo que el proyecto comienza en el año 2018 (año 0). De aquí hay que tener en cuenta que el precio del combustible anual

se comporta de forma creciente, el ahorro de combustible por generación representa cuanto se ahorra Cuba en combustible para producir dicha energía y el ahorro por pago de electricidad representa la cantidad monetaria que dejan de pagar anualmente los centros universitarios en estudio en miles de pesos totales (MPT).

Tabla 3.5: Ahorros obtenidos con el sistema fotovoltaico.

<b>Ahorros</b>	<b>ISMM</b>	<b>SUREB</b>
Ahorro (MWh) por generación	1102	1298,0
Ahorro en combustible (ton)	364	429,0
Ahorro de combustible por generación (MPT)	277	327,0
Ahorro por pago de electricidad (MPT)	143	169,0
Ahorro Total (MPT)	415	489,0

Los resultados obtenidos demuestran que el proyecto otorga mayores valores de ahorros en la sede universitaria “Regino Eladio Boti” (SUREB) debido a que la generación del sistema fotovoltaico es mucho mayor.

### **2.13. Impacto medioambiental**

Una de las fuentes de contaminación más importantes son los gases de efecto invernadero, ya que inciden gravemente en el cambio climático de la Tierra. El gas más significativo es el dióxido de carbono, generado en toda combustión de materiales carbonados. Para el cálculo de la cantidad de dióxido de carbono dejados de emitir por el Sistema Electroenergético Nacional se tuvo en cuenta el factor de emisión utilizado por la Unión Nacional Eléctrica para el año 2016, con un valor de 0,862 ton de dióxido de carbono por MWh generado (ofrecido por Unidad Empresarial Básica de Ingeniería Ambiental). De los resultados obtenidos se tiene que los sistemas fotovoltaicos diseñados para el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y la sede “Regino Eladio Boti”, según la producción de energía de los mismos, el Sistema Electroenergético Nacional deja de transmitir 314 y 370 t de dióxido de carbono respectivamente a la atmósfera.

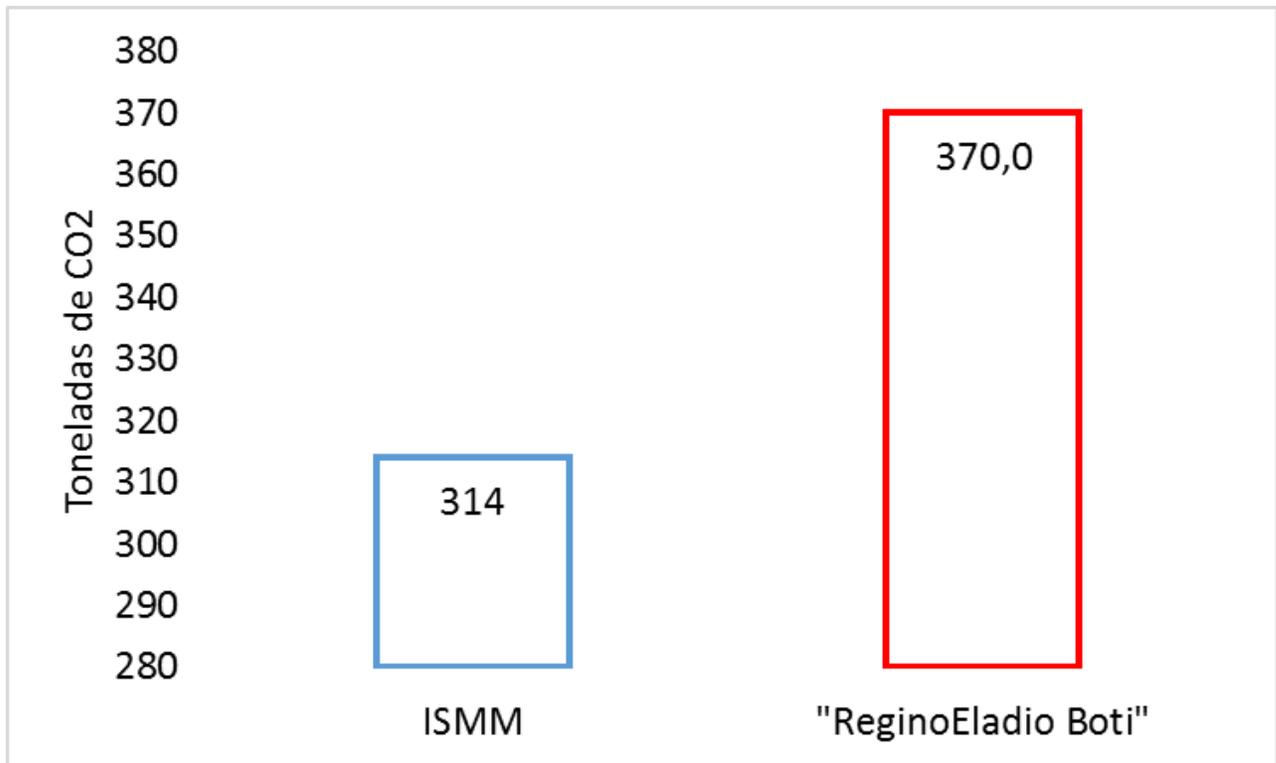


Figura 3.7: Toneladas de dióxido de carbono dejadas de emitir por los sistemas fotovoltaicos en los dos centros universitarios.

De acuerdo con la figura 3.7, la sede universitaria “Regino Eladio Boti” tiene valores mayores que el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa en un 15 % debido a que la generación de “energía limpia” es mayor.

#### 2.14. Conclusiones del capítulo

1. En el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez” existe mayor carga térmica de climatización, entre otros factores, debido a la existencia de mayor cantidad de locales climatizados que en la sede universitaria “Regino Eladio Boti” de la Universidad de Guantánamo.
2. El mayor porcentaje de consumo de energía eléctrica pertenece a los aires acondicionados de dos toneladas de refrigeración con aproximadamente el 50 % de los equipos en cada instalación.
3. Los sistemas fotovoltaicos producen un ahorro para 25 años total al Sistema Electroenergético Nacional, de 1 102 y 1 298 MWh en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y la sede universitaria “Regino Eladio Boti” respectivamente.

**CONCLUSIONES GENERALES**

1. Se propuso un sistema fotovoltaico que satisface el consumo de energía eléctrica por concepto de clima en las instalaciones estudiadas, garantizando el menor costo posible, el mínimo consumo y el menor impacto al medioambiente.
2. El consumo total por climatización en los centros universitarios tiene un valor de 36,235 MWh en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y 31,602 MWh en la sede universitaria “Regino Eladio Boti”.
3. Los sistemas de módulos fotovoltaicos en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y la sede universitaria “Regino Eladio Boti” entregarán 47,104 y 55,481 MWh respectivamente representando el 56,9 y 23,1 % del consumo total de las instalaciones.
4. El ahorro total por emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera es de 314 toneladas en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y 370 toneladas de dióxido de carbono la sede universitaria “Regino Eladio Boti”.

## RECOMENDACIONES

- Realizar en estudio detallado del sistema eléctrico necesario para la instalación de un sistema fotovoltaico de inyección a red para suministro de electricidad a los equipos de aire acondicionado.
- Valorar el uso de sistemas de aire acondicionado tipo *“inverter”*.
- 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.

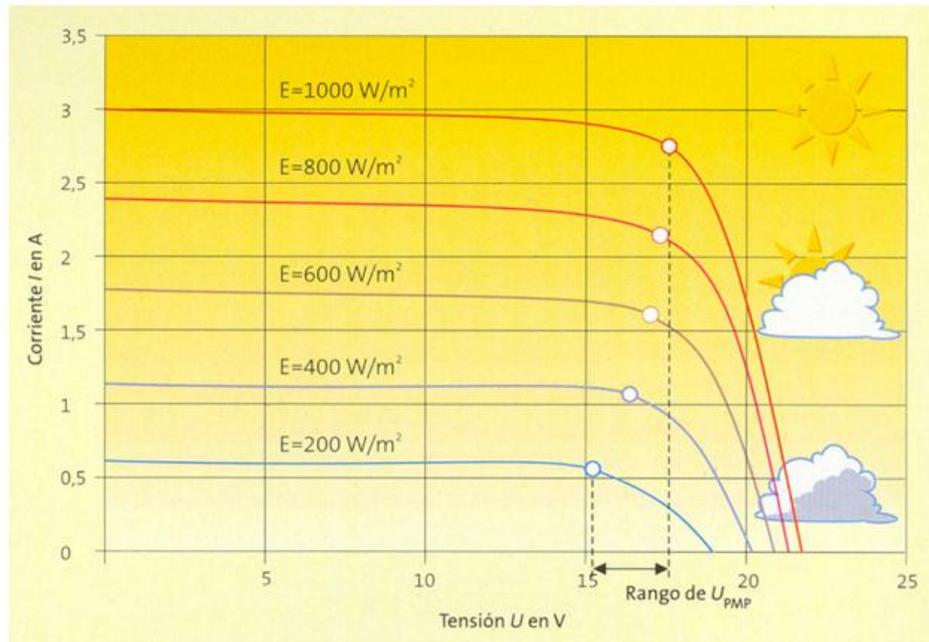
**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

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. DE ANDRÉS, RODRÍGUEZ – PAMOTO, JUAN A. Climatización II. 2da edición, Madrid. España. 1992. Pág. - 546.
3. DURÁN, Y. Cálculo verificativo de la carga térmica de Climatización del Centro Comercial Moa. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 2004.
4. FONG, K. F., CHOW, T. T., LEE, C. K., LIN, Z., CHAN, L. S. Comparative study of different solar cooling systems for buildings in subtropical city. Solar Energy 84. 2010. 227 – 244.
5. FONG, K. F., LEE, C. K., CHOW, T. T. Comparative study of solar cooling systems with building – integrated solar collectors for use in sub – tropical regions like Hong Kong. Applied Energy 90. 2012. 189 – 195.
6. GARCÍA, P. Estudio de la Climatización en el Hospital Pediátrico de Moa. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 1998.
7. 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.
8. HERNÁNDEZ, D. Proyecto técnico de la climatización de la Dirección de Trabajo Social y Educativo en Moa. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 2005.
9. IBÁÑEZ GALLARDO, GUILLERMO. Instalación fotovoltaica conectada a red integrada en un edificio. Proyecto de fin de grado de ingeniería eléctrica. Escuela Politécnica Superior “Universidad Carlos III de Madrid”. España. 2012.
10. JIE, J., KELIANG, L., TIN-TAI, C., WEI, P., HANFENG H. Performance analysis of a photovoltaic heat pump. Applied Energy 85. 2008. 680 – 693.

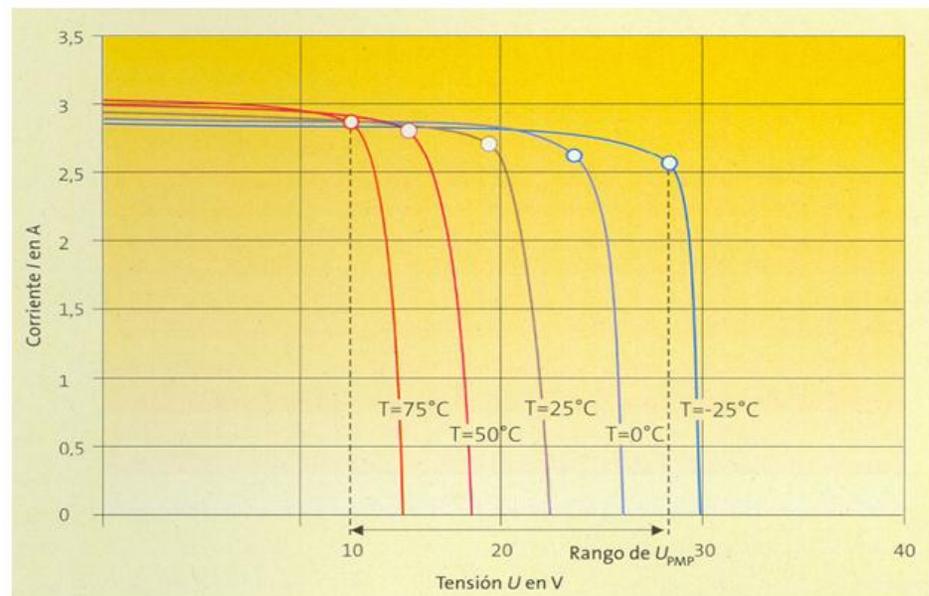
11. JIMÉNEZ, M. Diseño de planta solar fotovoltaica de 20 MW en California y conexión a la red de distribución. Tesis de Diploma. Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI). Ingeniero Industrial. 2012.
12. LAMOTH, Y. Cálculo térmico verificativo de la instalación de climatización del edificio de la empresa de Ingeniería y Proyectos de la unión del Níquel. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 2005.
13. MANUEL DE AIRE ACONDICIONADO: Estimación de carga térmica. Carrier Air Conditioning Company, 2da reimpresión. MARCOMBO. S.A. de Boisareu. Barcelona. España. 1972. Pág. - 244.
14. MONSERRATE ÁLVAREZ ALAY. Sistemas fotovoltaicos de Conexión a la red. "Curso paneles y conexión a red". 2013.
15. 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.
16. OTANICAR, T., TAYLOR, R., PHELAN, P. Prospect for cooling – An economic and environmental assessment. Solar Energy 86. 2012. Pág. 1 827 – 1 299.
17. POIRIER, D. L., HENDRICKS, W. & KOENKER, R. Residential Demand for Electricity: An Econometric Approach', Journal of Econometrics 9. R. Development Core. 1979
18. POLAINO DE LOS SANTOS, LÁZARA. Instalaciones de climatización. Roberto Fuente. Ciudad de la Habana. ISPJAE. 1987.
19. QUILES, P. V., ALEDO, S., AGUILAR, F. J. Análisis energético de un equipo de aire acondicionado "inverter" conectado directamente a paneles solares fotovoltaicos. 2013.
20. RETIRADO, Y. Modelación matemática del proceso de secado natural de las menas lateríticas. Tesis doctoral. Facultad Metalurgia y Electromecánica. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 2012.

21. RUIZ, A. Cálculo térmico verificativo de la instalación de Climatización del Hospital Guillermo Luis Hernández Fernández Vaquero. Trabajo de Diploma. 2004.
22. TORRES, E. Estudio de la climatización del centro de proyectos de la Unión del Níquel, 1999. Departamento de Mecánica.
23. VALDESPINO, L. Estudio de la climatización de los locales del Sistema de la Vivienda en Moa. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 2004.
24. VARGAS ALDANA, ALEJANDRO. Dimensionado de un sistema fotovoltaico amorfo integrado a la cubierta del Docente #2 del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Tesis de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Eléctrica. Moa. 2015.
25. ZONDAG, H. A. Flat – plate PV-Thermal collectors and systems: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12. 2008. 891 – 959.

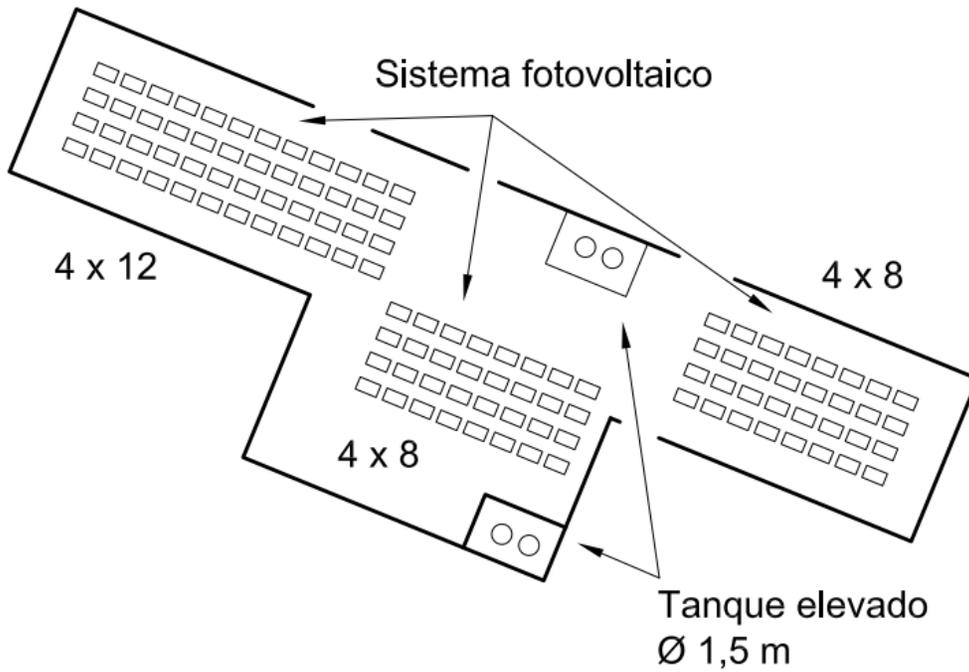
ANEXOS



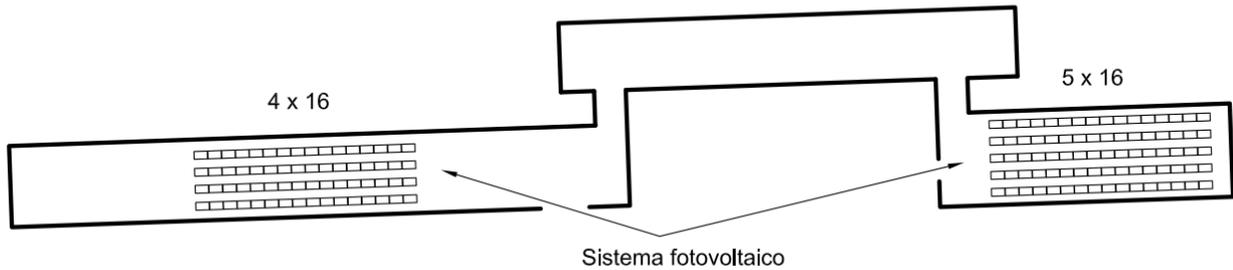
Anexo 1: Variación de las características según la irradiación solar.



Anexo 2: Variación de las características según la temperatura.



Anexo 3: Esquema de distribución de los paneles en la cubierta del edificio docente No. 2 del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.



Anexo 4: Esquema de distribución de los paneles en la cubierta del edificio de la Facultad de Humanidades de la sede universitaria "Regino Eladio Botí".

Anexo 5: Tabla de costos de los componentes de los sistemas fotovoltaicos.

Objeto: Sistema Fotovoltaico de Inyección a Red 28 kWp					
Artículo o Servicio	Cant.	P/Unit (CUC)	P/Unit (MN)	Importe Total (CUC)	Importe Total (MN)
Inversor de Inyección a Red FreeSun FS0020 LVT	1	\$ 2 000	\$ 847,5	\$ 2 000	\$ 847,5
Módulo fotovoltaico DMS-250	112	\$ 250,0	\$ 101,2	\$ 28 000	\$ 11 338,7
Estructuras de Aluminio 4 Módulos FV	28	\$ 115,3	\$ 34,6	\$ 3 227,0	\$ 968,1
Kit de Cables y Accesorios	1	\$ 853,6	\$ 483,0	\$ 853,6	\$ 483,0
Equipamiento e Instalación y Montaje del Sistema de Protección c/ trasientes	0	\$ 802,8	\$ 1 290,8	-	-
Pizarras de AC y PGD (Pizarra General de Distribución) para interconectar el campo de inversores a red	1	\$ 1 009,3	\$ 2 150,6	\$ 1 009,3	\$ 2 150,6
Sistema de Monitoreo	1	\$ 244,6	\$ 254,8	\$ 244,6	\$ 254,8
Estudio y Levantamiento para proyectar un Sistema Fotovoltaico Conectado a red	1	\$ 34,8	\$ 126,3	\$ 34,8	\$ 126,3
Revisión y Diagnóstico Sistema Fotovoltaico Conectado a red de 1 KWp	28	\$ 7,0	\$ 21,8	\$ 196,0	\$ 609,8
Instalación y Montaje Sistema Fotovoltaico Conectado a red de 1 KWp (estructuras, paneles, inversores y pizarras)	28	\$ 38,2	\$ 135,0	\$ 1 069,6	\$ 3 780,0
Mantenimiento Sistema Fotovoltaico Conectado a red de 1 KWp	28	\$ 16,0	\$ 54,4	\$ 448,0	\$ 1 524,3
COMPONENTE A PAGAR EN CUC				\$ 37 083	
COMPONENTE A PAGAR EN MN				\$ 13 637	