

**EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA DE  
AIRE ACONDICIONADO DEL BLOQUE 25 DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
PASCUAL BRAVO.**

**JULIAN ARLEY GARCIA ECHEVERRY  
JOSE IGNACIO JIMENEZ GARCES  
HAMILTON RIVERA ROLDAN**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2023**

**EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA DE  
AIRE ACONDICIONADO DEL BLOQUE 25 DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
PASCUAL BRAVO.**

**JULIAN ARLEY GARCIA ECHEVERRY  
JOSE IGNACIO JIMENEZ GARCES  
HAMILTON RIVERA ROLDAN**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO  
ELECTRICISTA**

**Asesor Técnico  
Bayron Álvarez Arboleda  
Doctorado Estudios Organizacionales**

**Asesor Metodológico  
Arley Salazar Hincapié  
Ingeniero mecánico**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2023**

## **Dedicatoria**

Doy gracias a Dios y a mi esposa Josefa por su paciencia, apoyo y confianza en este proceso, porque ella se convirtió en mi luz en todos esos momentos de dificultad y desespero que invadían mi ser.

A la Institución Universitaria Pascual Bravo y a nuestros asesores (Bayrón y Arley) por brindarme las ayudas, asesorías y el acompañamiento necesario para superar las dificultades en el presente proyecto de grado.

**Hamilton Rivera Roldan**

## Contenido

Resumen.....	8
Glosario .....	10
1. Planteamiento del problema.....	13
1.1 Descripción.....	13
1.2 Formulación .....	13
2. Justificación.....	14
3. Objetivos .....	15
3.1 Objetivo general .....	15
3.2 Objetivos específicos.....	15
4. Referentes teóricos .....	16
4.1 Consumo de energía.....	16
4.2 Aire acondicionado .....	16
4.3 Refrigeración por compresión de vapor.....	17
4.4 Ciclo de refrigeración ideal por compresión mecánica.....	19
4.5 El proceso de compresión .....	20
4.5.1 El proceso de condensación .....	20
4.5.2 El proceso de expansión.....	20
4.5.3 El proceso de evaporación.....	21
4.6 Recalentamiento y subenfriamiento.....	21
4.6.1 Recalentamiento .....	21
4.6.2 Subenfriamiento .....	21
4.7 Tipos de aire acondicionado.....	22
4.7.1 Unidad de paquete.....	22
4.7.2 Unidades Split .....	22
4.8 Elementos del sistema de aire acondicionado .....	23

4.9 La eficiencia en los sistemas de aire acondicionado .....	24
4.9.1 E.E. R .....	25
4.9.2 S.E.E.R. ....	25
4.9.4 Diferencias entre el EER y el SEER .....	26
4.9.5 La tecnología Inverter .....	27
5. Metodología .....	29
5.1 Tipo de proyecto.....	29
5.2 Método .....	29
5.3 Instrumentos de recolección de información. ....	30
5.3.1 Fuentes primarias. ....	30
5.3.2 Fuentes secundarias.....	30
6. Resultados .....	31
1) Conclusiones .....	55
2) Recomendaciones.....	56
3) Referencias bibliográficas .....	58

**Lista de tablas**

	Pág.
Tabla 3. <i>Mediciones eléctricas caja breaker desde ML Aire A.A Bloque 25</i>	39
Tabla 4. <i>Mediciones eléctricas equipos Aire Acondicionado Bloque 25 (Administrativo)</i>	44
Tabla 5. <i>Corriente tablero TGA Bloque 25 (Administrativo)</i>	49
Tabla 6. <i>Corriente Tablero Iluminación Bloque 25 (Administrativo)</i>	50
Tabla 7. <i>Corriente Tablero Regulado Hall Bloque 25 (Administrativo)</i>	51
Tabla 8. <i>Corriente Tablero Normal Hall Bloque 25 (Administrativo)</i>	52
Tabla 9. <i>Inventario de equipos para medición de potencia</i>	54
Tabla 10. <i>Información mínima requerida para evaluar un proyecto de sustitución de A.A</i>	58
Tabla 11. <i>Costos de inversión aproximados en proyectos de A.A</i>	59
Tabla 12. <i>Matriz de riesgos técnicos, financieros, ambientales y sociales</i>	60

## Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Consumo de energía	16
Figura 2. Elementos de un sistema de refrigeración por compresión a vapor	19
Figura 3. Diagrama de Presión-entalpía (p-h) del sistema teórico de refrigeración por compresión de vapor.	20
Figura 4. Comparación del funcionamiento de un equipo con Inverter y un equipo tradicional de aire acondicionado.	30
Figura 5. Fases de la estrategia de evaluación	35
Figura 6. Tablero ML Aire Acondicionado bloque 25 (Administrativo)	37
Figura 7. Mediciones eléctricas ML A.A bloque 25 (Administrativo)	38
Figura 8. Caja de breaker desde ML Aire Acondicionado del Bloque 25 (Administrativo)	39
Figura 9. Mediciones Caja de breaker desde ML A.A del Bloque 25 (Administrativo)	40
Figura 10. Falta protección eléctrica en tablero ML Aire Acondicionado Bloque 25	40
Figura 11. Falta marcación protecciones de ML A.A Bloque 25 (Administrativo)	41
Figura 12. Caja de breaker desde ML Aire Acondicionado (Con Observaciones)	42
Figura 13. Tubería incorrecta, además falta marcación en caja de breaker A. A	43
Figura 14. Placa de características equipos de A.A Bloque 25 (Administrativo)	43
Figura 15. Cajas de paso de alimentación de A.A Bloque 25 (Administrativo)	45
Figura 16. Tubería suelta e inapropiada	46
Figura 17. Medición de corriente elevada de la unidad # 2 de A.A bloque 25	47
Figura 18. Tablero TGA Bloque 25 (Administrativo)	48
Figura 19. Tablero iluminación Bloque 25 (Administrativo)	49
Figura 20. Tablero Regulado Hall	50
Figura 21. Corriente de tablero iluminación CIS bloque 25 (Administrativo)	51
Figura 22. Tablero Normal Hall	52
Figura 23. Comportamiento de actividades administrativas	55

## **Resumen**

# **EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO DEL BLOQUE 25 DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO.**

**JULIAN ARLEY GARCIA ECHEVERRY**

**JOSE IGNACIO JIMENEZ GARCES**

**HAMILTON RIVERA ROLDAN**

Esta investigación abordó el tema de evaluación del consumo energético del sistema de aire acondicionado en la Institución Universitaria Pascual Bravo bloque 25 (administrativo) en la cual se detectaron fallas, anomalías y perturbaciones del sistema eléctrico instalado, por lo tanto y debido a que este bloque cuenta con algunos años de construido se consideró su respectiva evaluación de consumo energético realizada.

*Palabras clave:* evaluación de consumo energético, aire acondicionado, bloque 25, sistema eléctrico.



## **Abstract**

This research addressed the issue of evaluation of the energy consumption of the air conditioning system in the Pascual Bravo University Institution block 25 (administrative) in which failures, anomalies and disturbances of the installed electrical system were detected, therefore and because this block has some years of construction, its respective evaluation of energy consumption was considered.

*Keywords:* energy consumption assessment, air conditioning, block 25, electrical system.

## Glosario

**Ahorro energético:** hacer uso racional (adecuado) de cualquier electrodoméstico.

**Aire acondicionado:** equipo que tiene todos los mecanismos y dispositivos necesarios para refrigerar un espacio habitable.

**Beneficio - costo:** relación que existe entre los costes de un proyecto y los beneficios que otorga.

**Calidad de aire:** presencia en el aire de materias o formas de energía que implican riesgo, daño o molestia grave para las personas y otros seres.

**Confort térmico:** correlación entre la satisfacción de una persona y el ambiente térmico en el interior de una vivienda o edificio.

**Gases de efecto invernadero (GEI):** son aquellos gases que se acumulan en la atmósfera terrestre y que son capaces de absorber la radiación del sol y como consecuencia, retienen y aumentan el calor en la atmósfera.

**Huella de carbono:** indicador ambiental que pretende reflejar «la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo.

## Introducción

Hoy en día el uso de aire acondicionado es un recurso necesario y ampliamente utilizado para el confort térmico de espacios como oficinas, colegios, empresas, entre otros, y requieren grandes cantidades de aire para asegurar la comodidad y bienestar de las personas que hacen uso de dichos espacios y que a su vez afectan la condición térmica del recinto. El efecto térmico generado por las personas y sus actividades diarias, junto con las condiciones climáticas de un territorio, afectan la calidad de aire con el que interactúan generando condiciones donde el desarrollo de las actividades no es totalmente agradable para las personas.

Tradicionalmente para el acondicionamiento de estos espacios es común utilizar sistemas de aire acondicionado los cuales funcionan basados en un ciclo de compresión mecánica de un refrigerante de compuestos clorofluorocarbonados, los cuales no son muy amigables con el medio ambiente y además el uso prolongado de estos sistemas de aire acondicionado generan un alto consumo energético debido a la implementación de equipos de compresión de gases los cuales requieren altas demandas de potencia para poder operar.

En algunas regiones de Colombia el calor es una molestia y se hace difícil convivir con él, pese a que hay espacios en donde se implementan sistemas de aire acondicionado tradicional, algunas zonas no cuentan con un buen servicio eléctrico, además de su costo, y por esta razón, se complica el uso de dicho sistema. Asimismo, es una prioridad disminuir la huella de carbono, que no solo es responsabilidad de las empresas, sino de cada uno de los habitantes, puesto que actualmente el 30% de la energía eléctrica en Colombia se genera a partir del carbón.

Como solución al problema de refrigeración, incluye reducción en el consumo energético, huella de carbono y emisión de gases de efecto invernadero, muchos centros de investigación han realizado numerosos estudios en sistemas de refrigeración que utilizan fuentes de energía alternativa, por ejemplo, sistemas de refrigeración por absorción implementando energía solar

que no emitan gases contaminantes a la atmósfera al no usar refrigerantes a base de clorofluorocarbonos (CFC) y que sean de fácil adquisición por el bajo costo de sus materiales e instalación.

Este trabajo se desarrollará con el objetivo de determinar el comportamiento energético de un sistema de aire acondicionado que será evaluado para diferentes condiciones climáticas de temperatura y humedad relativa tomando como espacio de acondicionamiento el Bloque 25 de la Institución Universitaria Pascual Bravo. Para la implementación del proceso se empleará un software de simulación de procesos.

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1 Descripción**

Actualmente el sistema de aire acondicionado del bloque 25 (Administrativo) de la Institución Universitaria Pascual Bravo se encuentra obsoleto, debido a que es un sistema que carece de mantenimiento y presenta algunas averías (fugas-calentamiento etc.) lo cual genera un consumo desmesurado de energía eléctrica y por ende un alto costo en la factura de servicios públicos. Por ende, se pretende realizar el cambio del sistema de aire acondicionado existente por uno que este a la par con las innovaciones tecnológicas de automatización y ahorro energético.

### **1.2 Formulación**

¿Cómo optimizar el sistema de aire acondicionado del bloque 25 (Administrativo) de la Institución Universitaria Pascual Bravo de manera que sea más eficiente y brinde una mejor satisfacción a los usuarios?

## **2. Justificación**

La industria hoy en día exige profesionales más competitivos que estén a la par con los cambios tecnológicos que se incorporan a los diferentes sectores. En este sentido la refrigeración y aire acondicionado han tomado importancia como un proceso de soporte de la producción y calidad en las empresas.

Adicionalmente la preocupación por el tema ambiental hace imperante la necesidad de evaluar y mejorar en el diseño y eficiencia de los equipos para disminuir los altos consumos de energía y el deterioro acelerado de la capa de ozono.

Por tal razón se llevará a cabo en el bloque 25 (Administrativo) de la Institución Universitaria Pascual Bravo el diseño y evaluación de un nuevo sistema de aire acondicionado eficiente tanto energética como económicamente, beneficiando a toda su comunidad académica (Profesores, empleados y estudiantes).

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Implementar la evaluación del consumo de energía en el sistema de aire acondicionado del bloque 25 de la institución Universitaria Pascual Bravo mediante el uso de datos capturados por dispositivos de medida como parte del proyecto de investigación en Proure de los docentes del departamento de eléctrica.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Definir la estrategia de evaluación del consumo de energía en el sistema de aire acondicionado del bloque 25 de la institución Universitaria Pascual Bravo.

Realizar la evaluación del consumo de energía en el sistema de aire acondicionado del bloque 25 de la institución Universitaria Pascual Bravo.

Analizar los resultados del consumo de energía en el sistema de aire acondicionado del bloque 25 de la institución Universitaria Pascual Bravo.

## 4. Referentes teóricos

### 4.1 Consumo de energía

Es la cantidad de energía utilizada para distintos usos, como la fabricación industrial, mover vehículos eléctricos o el uso de dispositivos electrónicos. Consumir energía es necesario para el desarrollo económico y social actual.

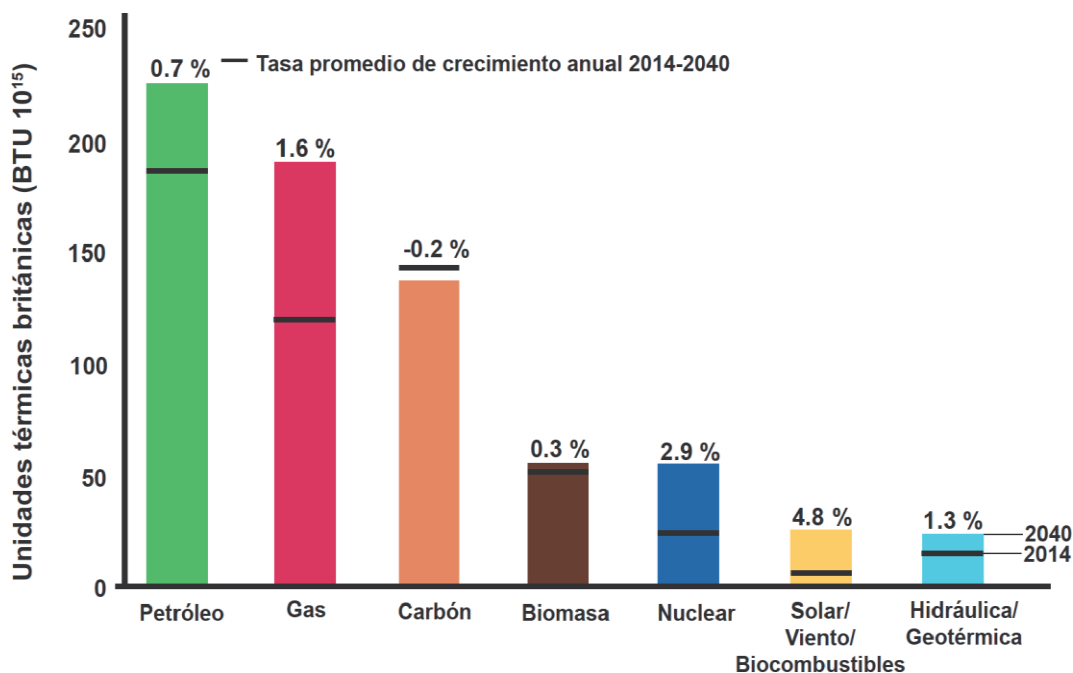


Figura 1. Consumo de energía

Fuente: [https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf)

### 4.2 Aire acondicionado

El acondicionamiento de aire es el proceso de tratamiento de las condiciones del ambiente interior para establecer estándares requeridos de temperatura, humedad, limpieza y movimiento. Estos procesos consisten en lo siguiente:

Temperatura: La temperatura del aire se controla enfriándolo o calentándolo (Enfriamiento: eliminación de calor, Calentamiento: adición de calor).



**Humedad:** La humedad, que es el contenido de vapor de agua en el aire, se controla agregando o quitando vapor de agua al aire (humidificación o deshumidificación).

**Limpieza:** La limpieza o calidad del aire se controla ya sea mediante filtración que es la eliminación de contaminantes indeseables por medio de filtros u otros dispositivos, o mediante ventilación, que es la introducción de aire exterior al espacio interior, con el cual se diluye la concentración de contaminantes.

**Movimiento:** Movimiento del aire se refiere a su velocidad y a los lugares hacia donde se distribuye. Se controla mediante el equipo adecuado para la distribución de aire.

El aire acondicionado es una aplicación de la refrigeración, por lo cual es necesario analizar algunos conceptos sobre el tema.

En este sentido la refrigeración se puede entender como un proceso en el que la combinación de una serie de elementos produce un efecto refrigerante, que permite la transferencia de calor entre dos espacios. Existen varios sistemas de refrigeración:

- Sistemas de compresión de vapor o compresión mecánica.
- Sistemas por absorción.
- Sistemas de expansión de gas.
- Sistemas termoeléctricos.

### **4.3 Refrigeración por compresión de vapor**

El sistema de refrigeración más usado es el de compresión mecánica. Emplea como fuente de energía trabajo mecánico y un fluido llamado refrigerante y se basa en someter el refrigerante a un ciclo termodinámico de compresión, condensación, expansión y evaporación. En su forma

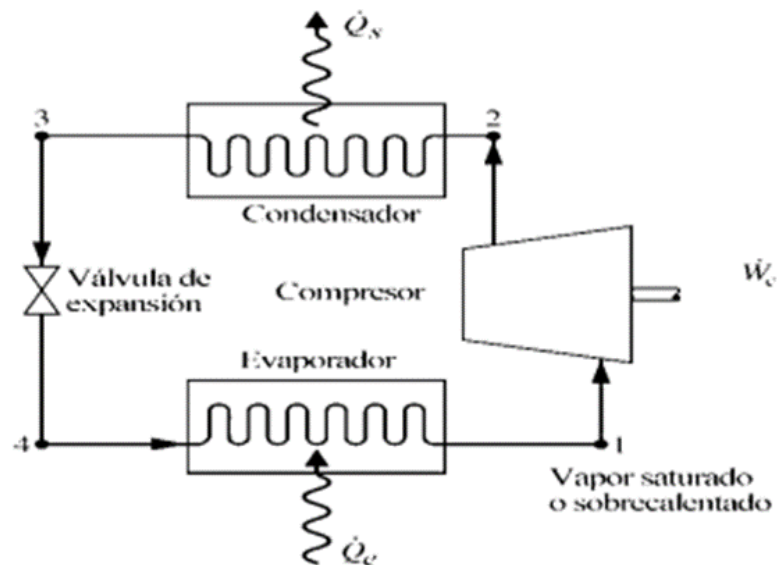
más simple estará conformado por elementos como el compresor mecánico, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador (Ver figura 2).

El ciclo se fundamenta en la compresión de un vapor que al hallarse a mayor temperatura que el medio caliente cede calor. Con ello el vapor se enfría y, si la presión es adecuada, incluso condensa.

El condensado se expande en una válvula de expansión o en un tubo capilar, con lo que, de una parte, pierde presión proporcionada por el compresor y, por otra parte, experimenta un enfriamiento súbito que hace posible la absorción de calor del medio frío que produce la vaporización del líquido.

El gas será nuevamente comprimido por el compresor y de esta forma el ciclo prosigue.

Los elementos fundamentales de un ciclo de compresión de vapor son: el evaporador, el compresor, el condensador y un dispositivo de expansión que puede ser una válvula o un simple tubo capilar.



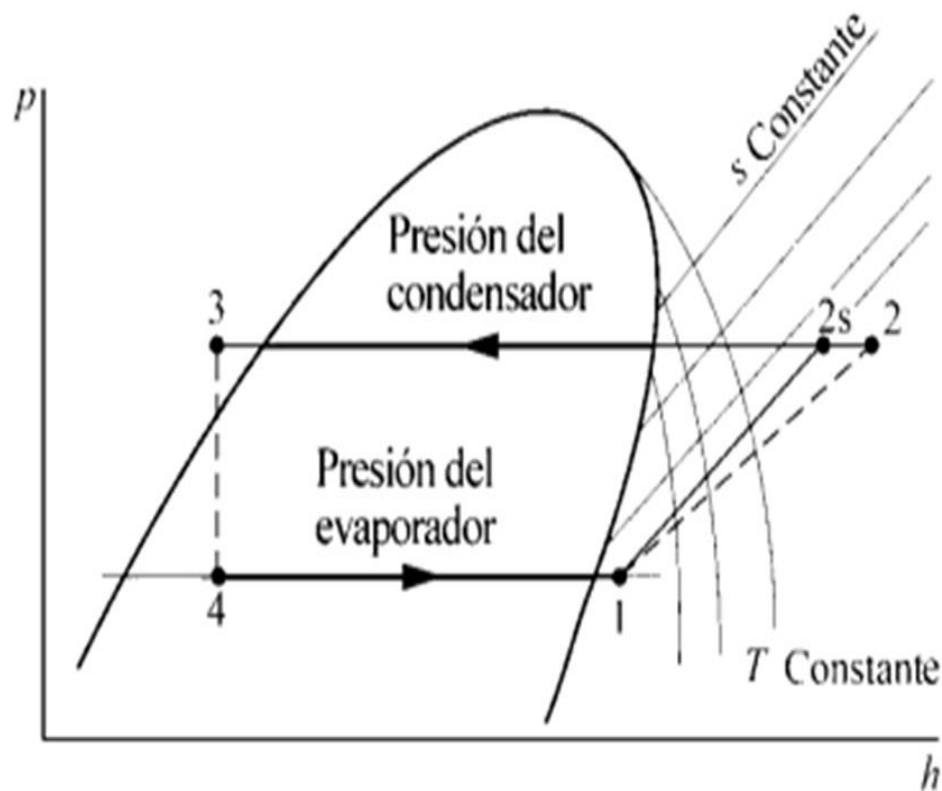
*Figura 2.* Elementos de un sistema de refrigeración por compresión a vapor  
Fuente: Adoptado de MORAN y SHAPIRO, Fundamentals of engineering thermodynamics 7ED

En el ciclo de refrigeración por compresión intervienen tres variables principales, como se muestra en la figura 2:

- $Q_e$ = Cantidad de calor entregada al vapor desde el espacio refrigerado.
- $Q_s$ = Cantidad de calor cedida en el condensador hacia un sumidero de temperatura baja.
- $W_c$ = Cantidad de trabajo que necesita el ciclo.

#### 4.4 Ciclo de refrigeración ideal por compresión mecánica

El ciclo de refrigeración (Ver figura 2), consta de cuatro procesos que son: compresión (1-2), condensación (2-3), expansión (3-4) y evaporación (4-1).



*Figura 3.* Diagrama de Presión-entalpía (p-h) del sistema teórico de refrigeración por compresión de vapor.

Fuente: Adoptado de MORAN y SHAPIRO, Fundamentals of engineering thermodynamics 7ED

## **4.5 El proceso de compresión**

El proceso de 1–2 se efectúa en el compresor a medida que se incrementa la presión del vapor debido a la compresión, desde la presión de evaporación hasta la presión de condensación.

Se supone que en un ciclo teórico simple el proceso de compresión es isoentrópico; es decir, una compresión —adiabática-no fricción.

Durante el proceso de compresión se realiza un trabajo sobre el vapor refrigerante, dando como resultado un aumento en su temperatura provocando un efecto de sobrecalentamiento en el sistema.

### **4.5.1 El proceso de condensación**

El proceso de 2-d es isobárico e indica el sobrecalentamiento que debe retirarse del vapor antes de que este comience el proceso de condensación.

Este proceso se efectúa en la tubería de descarga y en los primeros tramos del condensador. La línea de d-3 representa el cambio de estado del refrigerante de vapor a líquido a presión y temperatura constante, el cual se efectúa en el condensador.

### **4.5.2 El proceso de expansión**

Este proceso se encuentra entre los puntos de estados 3 y 4; el punto de estado 3 se ubica sobre la línea de líquido saturado y se halla a la entrada del dispositivo de expansión (válvula de expansión o tubo capilar).

El refrigerante fluye a través del elemento de expansión, por consiguiente, su presión disminuye inmediata y bruscamente hasta el punto de estado 4.

Lo que da como resultado que el refrigerante empiece a hervir, absorbiendo calor del mismo refrigerante; teniendo como resultado un enfriamiento hasta la temperatura de saturación correspondiente a la presión inferior.

El proceso de expansión es adiabático irreversible, en el cual la entalpía del fluido refrigerante permanece constante.

### **4.5.3 El proceso de evaporación**

Este es un proceso isotérmico e isobárico y está representado por la línea entre los puntos de estado 4 y 1. El refrigerante en el punto de estado 4, es en su mayoría líquido con excepción del gas de vaporización súbita.

El calor que adquiere el refrigerante líquido del medio exterior a través de la superficie de transferencia de calor del evaporador, que está a una mayor temperatura; hace que este se evapore hasta llegar al punto de estado 1, donde el refrigerante se encuentra totalmente evaporado.

## **4.6 Recalentamiento y subenfriamiento**

### **4.6.1 Recalentamiento**

Es el incremento de temperatura del gas refrigerante sobre la temperatura de evaporación que debería de tener según su presión de baja (la que marca el manómetro de baja).

Es decir, si tomamos la temperatura al inicio del evaporador, debe corresponder con la que marca el manómetro según su presión, y si medimos la temperatura a la salida, la diferencia será el recalentamiento.

El sobrecalentamiento sirve para asegurarse de que el gas refrigerante se ha evaporado completamente antes de pasar al compresor para evitar daños en el equipo.

### **4.6.2 Subenfriamiento**

Es el mismo concepto, pero aplicado al condensador de aire, es decir el refrigerante caliente a alta presión, una vez que se ha condensado (se ha convertido en líquido), lo enfriamos un poco más, para asegurarnos que todo sea líquido, y para ello lo enfriamos unos 5 o 7° C más, antes de mandarlo a la válvula de expansión o capilar.

## **4.7 Tipos de aire acondicionado**

Hay dos tipos básicos de equipos de acondicionamiento de aire: los equipos tipo paquete o integrales y los equipos de sistema dividido.

### **4.7.1 Unidad de paquete**

Todos los elementos usados para enfriar el aire se incorporan en un único contenedor. Utilizan refrigerante R22 o R410a con una presión en baja de 60–75 psi y en la descarga 250–375 psi.

Son máquinas que se les acoplan ductos, sus capacidades pueden ir desde 3 toneladas en adelante. El control total de estas máquinas son los termostatos. Estos termostatos por lo general llevan 24 voltios.

Cuando el condensador es enfriado con agua se le conoce como unidad de torre. Por este motivo se utiliza una torre de enfriamiento que bombea el agua hacia la parte superior de la torre logrando el enfriamiento del condensador por la evaporación del agua.

### **4.7.2 Unidades Split**

En las unidades Split o divididas la unidad evaporadora se encuentra a cierta distancia de la condensadora.

El condensador se ubica en el exterior del edificio y se conecta con el evaporador por conductos para el refrigerante. Utilizan R22 o R410a a una presión de 60-75 psi, con una presión de baja de 100-120 psi y en alta 400 psi.

Normalmente son de voltaje monofásico 200v 60Hz. Puede ser una unidad mini Split si solo tiene un evaporador y una condensadora, y multisplit o extrasplit si tienen una condensadora y más de un evaporador.

---

#### 4.8 Elementos del sistema de aire acondicionado

Los elementos son los mismos que en los sistemas de refrigeración. El refrigerante circula en un circuito en el que se debe diferenciar la parte del circuito que está sometida a alta presión y la que está sometida a baja presión:

- La parte correspondiente a alta presión está comprendida entre la descarga del compresor y la entrada del dispositivo de expansión. Entre la salida del compresor y la entrada del condensador el fluido está en estado de gas (vapor recalentado).

Se condensa a una temperatura menor y sale del condensador a esa misma temperatura o menor si se sub-enfría, con lo cual, la temperatura del fluido a la entrada del dispositivo de expansión puede ser igual o menor que la de condensación.

- La parte correspondiente a baja presión está comprendida entre la salida del dispositivo de expansión y la entrada del compresor. En este tramo, también la temperatura varía (aumenta) desde el evaporador hasta la entrada del compresor.

Los elementos principales de los sistemas de aire acondicionado son:

- Compresor. Es la unidad que aspira el fluido refrigerante procedente del evaporador a la presión de baja establecida y lo comprime elevando su presión y temperatura hasta unos valores tales que se pueda efectuar la condensación, la descarga la efectúa al condensador.

El factor más importante que regula la capacidad de un compresor es la temperatura de vaporización del líquido en el evaporador.

- Condensador. Se tiene que entender como un intercambiador de calor cuya función es disipar el calor extraído por el refrigerante en el evaporador hacia un medio condensante. Como resultado de la pérdida de calor del refrigerante hacia el medio condensante, este primero es

enfriado hasta su temperatura de saturación y después condensado hasta su fase de estado líquido.

- Evaporador. Es básicamente un intercambiador de calor entre el fluido refrigerante y el medio que lo rodea, de donde se pretende extraer calor para mantenerlo a una cierta temperatura.

Como ya es sabido el refrigerante entra en el evaporador en estado líquido a baja presión, y en consecuencia también a baja temperatura. Como el medio que le rodea está a una temperatura superior, existe una cesión de calor que proviene del ambiente, la cual será absorbida por el fluido refrigerante para poder así llevar a cabo su cambio de estado de líquido a vapor.

- Dispositivos de expansión. Entre las funciones que realizan estos elementos, debemos destacar los siguientes:

Regulan la cantidad de fluido refrigerante, que debe entrar en el evaporador,

En unión del compresor, mantienen las presiones de alta y baja; podríamos decir, que son las "fronteras" entre el alta y la baja presión del circuito,

Producen la expansión del fluido. El fluido pasa del alta a la baja presión necesaria en el evaporador.

#### **4.9 La eficiencia en los sistemas de aire acondicionado**

La eficiencia en aires acondicionados se refiere a la cantidad de energía relativa requerida para remover una cantidad específica de calor, así una unidad con eficiencia mayor consumirá menos energía que otras para realizar el mismo trabajo.

En términos prácticos es similar a los kilómetros por litro para automóviles, pero en vez de km/l, los equipos de Aire Acondicionado estiman la relación entre el Calor Total suministrado



expresado en unidades térmicas británicas por hora (Btu/h) versus la energía eléctrica requerida para lograrlo (KWh).

Existen dos formas de evaluar el desempeño de un equipo a lo largo de un amplio rango de condiciones de operación y certificar su eficiencia: el método EER del Instituto AHRI y el método SEER del Departamento de Energía de los Estados Unidos. Instituciones y programas reconocidos que certifican la eficiencia de los equipos.

#### **4.9.1 E.E. R**

El Instituto AHRI (Air-Conditioning, and Refrigeration Institute) representa a más de 300 empresas manufactureras, lo cual constituye el 90% de los equipos residenciales o comerciales de aire acondicionado, calentamiento de agua, calefacción y refrigeración comercial fabricados o vendidos en América del Norte.

Para ser certificados, los productos del fabricante son sometidos a pruebas. Los equipos y sus componentes son evaluados usando los estándares propios de la industria para certificar que los niveles de rendimiento publicados sean exactos.

La certificación se basa en la designación E.E.R. (Energy Efficiency Ratio), que indica la capacidad de enfriamiento de los equipos en Btu/hr por vatio de consumo (W) en condiciones estándar de 95° F.

#### **4.9.2 S.E.E.R.**

El Departamento de Energía de los Estados Unidos de Norteamérica, ha desarrollado el SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) como método más para evaluar el desempeño de la operación del Acondicionador de Aire durante la temporada de frío. El SEER es la producción de energía (BTU) de refrigeración durante su uso anual normal, dividido por la entrada de energía eléctrica total en vatios-horas durante el mismo periodo. Cuanto mayor sea el SEER más eficiente es la unidad. En enero de 2006, el Departamento de Energía aumentó el mínimo de eficiencia de 10.0 a 13.0 SEER.

### 4.9.3 Cálculo del consumo energético

Para calcular la demanda de energía se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Demanda de Energía (KW)} = \frac{\text{Tons} * 12}{\text{Eficiencia}} = \frac{\text{BTU/h}}{\text{EER ó SEER} * 1000}$$

Si aumenta la eficiencia del sistema de aire acondicionado, la demanda de energía se reducirá. Por ejemplo, si consideramos una unidad de 12,000 BTU/h con un SEER de 10 y la comparamos con otra unidad de igual capacidad, pero con un SEER de 15, la demanda de energía será:

$$\text{Para SEER} = 10, \text{KW} = \frac{12000 \text{ BTU/h}}{10 * 1000} = 1.2 \text{ KW/h}$$

$$\text{Para SEER} = 15, \text{KW} = \frac{12000 \text{ BTU/h}}{15 * 1000} = 0.8 \text{ KW}$$

Si se quiere determinar el costo de operación (CO) del equipo se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{CO} = T * H * \frac{C}{E * 1000}$$

Donde:

*CO*: Costo de Operación

*T*: Tarifa eléctrica en \$/Kw-h

*H*: Cantidad de horas de consumo en un período dado

*C*: Capacidad real del equipo en BTU/h

*E*: Eficiencia (EER ó SEER)

### 4.9.4 Diferencias entre el EER y el SEER

La principal diferencia entre EER y SEER es la temperatura exterior a que se prueba su desempeño. En el SEER se mide el desempeño del equipo a 82°F de temperatura exterior, el EER a 95°F, de ahí que sea más adecuado para climas calientes y húmedos. Por lo anterior el valor correspondiente al SEER es considerablemente superior al EER para un mismo equipo, de

tal manera que un equipo que tiene SEER 10 consumirá más energía que uno de EER 10, haciendo que sólo sean comparables equipos que tengan el mismo indicador de eficiencia.

#### **4.9.5 La tecnología Inverter**

Un regulador tipo inverter sirve para regular el voltaje, la corriente y la frecuencia de un aparato, es un circuito de conversión de energía que regula el mecanismo del aire acondicionado mediante el cambio de la frecuencia del ciclo eléctrico.

En lugar de arrancar y parar frecuentemente, el compresor gira de forma continua, lo que ayuda a mantener constante la temperatura del espacio.

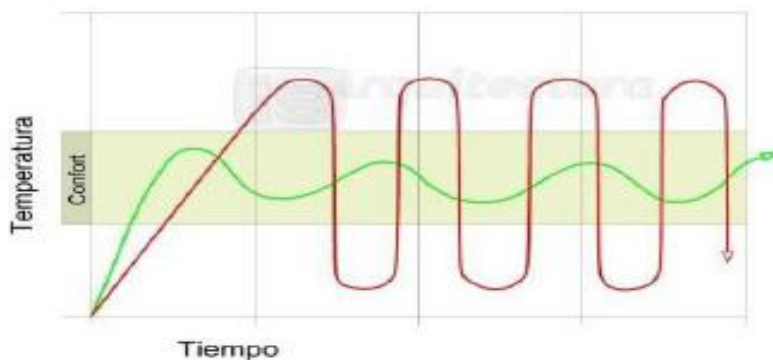
Se asegura un gasto energético directamente proporcional a la capacidad de refrigeración requerida, evitando así consumos innecesarios y prolongando la vida del compresor.

Mientras los equipos convencionales consiguen la temperatura deseada mediante arranques y paros de compresor, los equipos con tecnología Inverter regulan la frecuencia de funcionamiento del compresor para alcanzar antes la temperatura idónea.

Mientras que un sistema de aire acondicionado tradicional que quiera, por ejemplo, enfriar una habitación de una vivienda a una determinada temperatura necesita repetir continuamente ciclos de encendido/apagado del compresor.

Los equipos con tecnología de tipo Inverter regulan la frecuencia aplicada al motor para alcanzar, de manera más rápida la temperatura deseada sin necesitar esos ciclos como muestra la figura 4.

Una vez alcanzada la temperatura deseada, el compresor funciona a una mínima frecuencia consiguiendo una reducción en el consumo del sistema y manteniendo la temperatura real con menos variaciones sobre la temperatura solicitada, a un menor nivel de sonido y con una mejor deshumidificación.



*Figura 4.* Comparación del funcionamiento de un equipo con Inverter y un equipo tradicional de aire acondicionado.

Fuente: FERNANDEZ, Aire acondicionado con tecnología [Publicación en línea]. 2007

En la figura 4, la línea roja representa la temperatura en esa habitación empleando un sistema tradicional, la verde la de uno con Inverter y el área sombreada es el rango de temperatura de confort. Por ejemplo, se quiere acondicionar un espacio a 24°C, el rango de confort se puede determinar entre 24.2 °C - 23.7 °C, dado que la temperatura regulada por equipos con tecnología Inverter se mantiene siempre dentro del rango de confort no se sentirán grandes fluctuaciones, como si sucede con equipos tradicionales.

En el ejemplo, un equipo no inverter enfriaría el espacio a 23 °C, luego pararía hasta que la temperatura aumente más de 25°C, y luego iniciaría un nuevo ciclo.

## **5. Metodología**

### **5.1 Tipo de proyecto**

Este es un proyecto de desarrollo experimental, debido a que consiste en aprovechar los conocimientos existentes obtenidos de la investigación o la experiencia práctica y dirigirlos a la mejora sustancial del sistema de aire acondicionado del bloque 25 de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

### **5.2 Método**

Para alcanzar los objetivos establecidos, es necesario realizar las siguientes actividades de ingeniería.

Definir la estrategia de evaluación del consumo de energía en el sistema de aire acondicionado del bloque 25 de la institución Universitaria Pascual Bravo.

Realizar la evaluación del consumo de energía en el sistema de aire acondicionado del bloque 25 de la institución Universitaria Pascual Bravo.

Analizar los resultados del consumo de energía en el sistema de aire acondicionado del bloque 25 de la institución Universitaria Pascual Bravo.

Diseñar la estructura, seleccionar los materiales y componentes, construir la estructura.

Calcular la fuente de energía eléctrica, diseñar el modelo de control e Instalar el tablero de control.

Calcular el consumo de energía, medir la cantidad de agua utilizada y diseñar el tanque de almacenamiento.

### **5.3 Instrumentos de recolección de información.**

#### **5.3.1 Fuentes primarias.**

Libros y documentos físicos como virtuales que sirven de soporte bibliográfico para el desarrollo de este proyecto.

#### **5.3.2 Fuentes secundarias.**

Enciclopedias, manuales, revistas y material referido que se encuentra en la web.

## 6. Resultados

La toma de datos del funcionamiento de los equipos y componentes principales. Se contrastarán con los valores obtenidos al realizar la puesta en marcha para tener la certeza de que las condiciones de cada sistema son las exigidas.

Con base en lo anterior se determinará la calidad energética de los equipos y componentes, examinando la posibilidad de modificación de los mismos o mejora de sus especificaciones. La recopilación de los valores globales de los consumos energéticos mensuales, referidos serán las facturas de servicios, estimación de las horas de funcionamiento mensual.

Estas horas de funcionamiento servirán para calcular los consumos energéticos anuales de los distintos equipos, se agruparán de modo lógico y por grupos homogéneos o funcionales (por ejemplo, ventiladores de impulsión; extractores; aerotermos; grupos de calefacción; grupos de producción de agua fría; bombas, etc).

Después de esto se realizarán estudios de modificación de los sistemas. Estos estudios deberán hacerse, partiendo del establecimiento de la Tecnología de Gestión Total de Eficiencia Energética que permita introducir modificaciones de los equipos y componentes. Los resultados esperados de la propuesta son:

Definición de la evaluación del consumo de energía en el sistema de aire acondicionado del bloque 25 de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

Diseño de la evaluación del consumo de energía en el sistema de aire acondicionado del bloque 25 de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

Operación de la evaluación del consumo de energía en el sistema de aire acondicionado del bloque 25 de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

Definir la estrategia de evaluación del consumo de energía en el sistema de aire acondicionado del bloque 25 de la institución Universitaria Pascual Bravo.

Los pasos para llevar a cabo la estrategia de evaluación del consumo son:

Preparación de la estrategia, en donde se incluye analizar el sector (Bloque 25) que se evaluara.

Implementación: es necesario contar con un inventario de servicios energéticos y los equipos que se tienen para poder analizar el estado del rendimiento energético, se debe reportar dicho seguimiento a la institución (Asesor), explicando las oportunidades de ahorro de energía con sus respectivos indicadores económicos y así poder ayudar a que la Institución tome la decisión para la implementación de las medidas de ahorro. Los detalles de la estrategia de evaluación se ven en la tabla 1.

Tabla 1.  
*Estrategia de evaluación del consumo de energía*

<b>Actividad</b>	<b>Objetivos</b>
Preparación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir la estrategia</li> <li>- Planear la estrategia</li> </ul>
Ejecución	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inventario de equipos y medición del consumo de energía.</li> <li>- Diagnóstico de los sistemas eléctricos de la Institución.</li> <li>- Evaluación de la rentabilidad (beneficio-costos).</li> </ul>
Reporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redactar el reporte de la estrategia de evaluación.</li> <li>- Exponer a la institución los resultados de la evaluación.</li> </ul>
Post evaluación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Priorizar con la institución las medidas para el ahorro de energía.</li> <li>- Implementar las medidas de ahorro de energía.</li> </ul>

Fuente: diseño propio



Realizar la evaluación del consumo de energía en el sistema de aire acondicionado del bloque 25 de la institución Universitaria Pascual Bravo.

Las fases planteadas para lograr dicha evaluación serán:

Levantamiento del sistema eléctrico.

Realizar mediciones eléctricas.

Análisis de mediciones eléctricas realizadas.

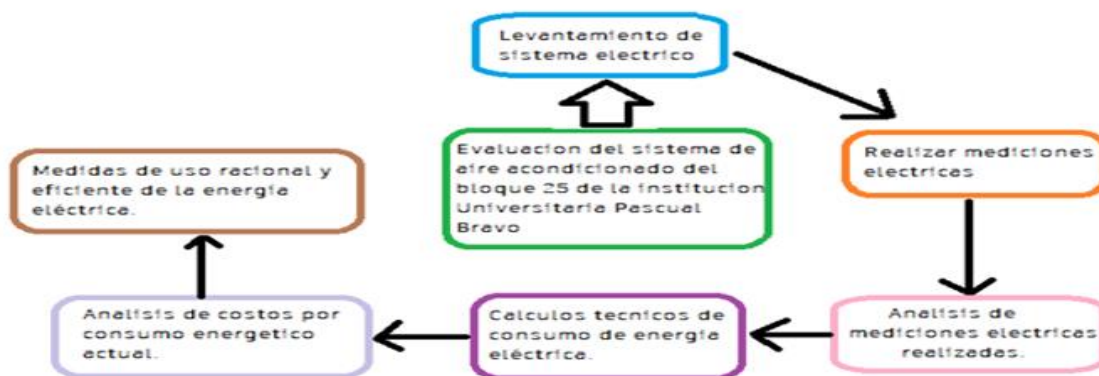
Cálculos técnicos de consumos de energía eléctrica.

Análisis de costos por consumo energético actual.

Medidas de uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

*Figura 5.* Fases de la estrategia de evaluación del consumo

Fuente: propia



Levantamiento del sistema eléctrico. Se debe recorrer toda la infraestructura para actualizar los planos arquitectónicos del bloque 25 e inspeccionar superficialmente las instalaciones, a la vez que se censan todos los equipos consumidores de energía, con la finalidad de determinar el conjunto de cargas y los parámetros eléctricos de los equipos instalados en este bloque.

Esto es requerido en virtud de que el Bloque 25 tiene varios años de funcionamiento y con este levantamiento físico se permite determinar la demanda máxima instalada en el mismo. Es significativo indicar que para gestionar la información recopilada se generaran cuadros técnicos

en Excel denominados: Demanda Instalada, Circuitos Derivados y Distribución del Consumo por piso y por ambiente. Lo cual permitirá la elaboración de gráficos de circulares y de barras según la distribución del consumo energético.

Mediciones eléctricas. Posteriormente se realizarán mediciones eléctricas para determinar el consumo energético de la edificación (Bloque 25).

Se utilizará el equipo de medición analizador de red. Este se conectará en el interruptor principal del Bloque 25, con miras a obtener información precisa del consumo de energía eléctrica.

Se realizará un registro correspondiente a dos semanas de funcionamiento, guardando parámetros eléctricos de corriente, tensión, potencia, energía entre otros con un intervalo de 600s.

Análisis de las mediciones realizadas. Todas las mediciones eléctricas que se realizarán se guardarán en una memoria USB, y se llevarán a un computador, esta data permitirá al software de evaluación realizar gráficos de corriente efectiva, corriente promedio, factor de potencia, potencia real, potencia aparente, la energía acumulada, entre otros parámetros importantes para el análisis y discusión de los resultados.

A partir de estos datos se podrá obtener el perfil de consumo eléctrico, sus tiempos de operación con el fin de establecer:

La potencia máxima, el número de horas al que se demanda energía, entre otros aspectos importantes.

Tablero de distribución tipo ML de aire acondicionado: este tablero se encuentra ubicado en la cubierta del Bloque 25 (Administrativo) fijado con anclaje a muro, su acometida viene desde el tablero TGA del cuarto técnico (Subestación) y se encarga de alimentar con energía eléctrica todos los equipos de aire acondicionado.



*Figura 6.* Tablero ML aire acondicionado bloque 25 (administrativo)

Fuente: diseño propio

El tablero cuenta con un totalizador principal MERLIN GERIN NB250N de 250A y una corriente de cortocircuito  $I_{cu}$  de 30 kA a 220/240 VAC que es la encargada de vigilar el comportamiento de todas las cargas que van a depender de este tablero de distribución, en sus cargas nos encontramos con dos protecciones termomagnéticas MELTA MECABS 203b de 150A  $I_{cu}$  50 kA a 220/240 VAC cada una. Para realizar el estudio de las mediciones eléctricas se pone en servicio todas las cargas que contiene el tablero de distribución para garantizar unas mediciones reales de trabajo al 100%.

Las mediciones fueron las siguientes:



*Figura 7.* Mediciones eléctricas Aire Acondicionado

Fuente: diseño propio

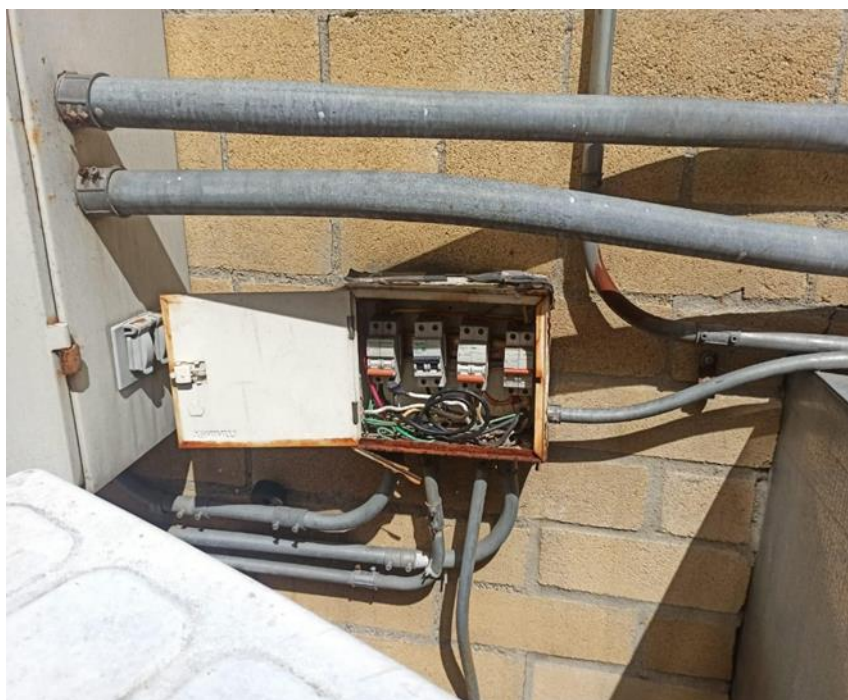
Tabla 2.

*Mediciones eléctricas ML Aire Acondicionado bloque 25*

PROTECCION	CORRIENTE (A)			TENSION (V)
	FASE (R)	FASE (S)	FASE (T)	
MERLIN GERIN 250A PRINCIPAL	138.6	144.1	148.7	203
MELTA MEC 150A # 1	44.8	42.2	46.4	205
MELTA MEC 150A # 2	79.3	82.4	85.1	203

Fuente: diseño propio

Adicional a estas cargas, del barraje secundario del ML donde se conectan estas cargas, se deriva una acometida la cual no cuenta con protección para alimentar una caja de breaker, la cual tiene tres protecciones termomagnéticas de 40A y una protección termomagnética de 63A activa.



*Figura 8. Caja breaker desde ML aire acondicionado del bloque 25*

Fuente: diseño propio

Para realizar el estudio de las mediciones eléctricas de esta caja de breaker se pone en servicio todas las cargas que contiene el tablero de distribución para garantizar unas mediciones reales de trabajo al 100%.

Las mediciones fueron las siguientes:

Tabla 3.

*Tablero Distribución ML Aire Acondicionado Bloque 25 (Administrativo)*

PROTECCION	CORRIENTE (A)			TENSION (V)
	FASE (R)	FASE (S)	FASE (T)	
C63A	19.3	19.2	19.3	204
C40A	0	0	0	204
C40A	0	0	0	204
C40A	0	0	0	204

Fuente: diseño propio

La derivación que sale del barraje del tablero de distribución tipo ML del aire acondicionado para alimentar con energía eléctrica la caja de breaker no tiene totalizador de protección



Figura 9. Mediciones caja breaker desde ML Aire Acondicionado Bloque 25 (Administrativo)

Fuente: propia

Por lo anterior se debe colocar su respectiva protección eléctrica de acuerdo a la corriente total de las cargas que maneja para que cumpla con la norma y así garantizar la seguridad de las personas y de la instalación eléctrica como tal.



Figura 10. Falta protección eléctrica en tablero ML Aire Acondicionado Bloque 25

Fuente: propia

Falta etiquetado o marcación en las protecciones de las cargas de los equipos de aire acondicionado en el tablero ML, en el momento está marcado con lapicero lo cual no cumpliría con la norma RETIQ (etiquetado energético). Se pueden tener las opciones de marcación con cinta Panduit o acrílicos.



*Figura 11.* Falta marcación protecciones de ML Aire Acondicionado Bloque 25 (Administrativo)  
Fuente: diseño propio

La caja de breaker que viene alimentada desde el tablero ML del A.A no cumple con la IP requerida para este tipo de ambiente al que está expuesta.

Lo recomendable sería utiliza, como mínimo una IP65, también se encuentra sin tapa por lo cual en el momento está expuesta a polvo y agua en su interior.

Se observan empalmes con cinta (sin estañar) en los conductores de neutro y tierra por lo cual se recomienda que la caja tenga sus barras de neutro y tierra para evitar dichos empalmes, los cables destinados para fase no se encuentran marcados con el color correspondiente según el diagrama trifásico R,S, T (amarillo, azul, rojo) y según el código de colores correspondiente a la tensión trifásica 220V.



*Figura 12.* Caja de breaker desde ML Aire Acondicionado (Con Observaciones)

Fuente: diseño propio

La tubería eléctrica que entra y sale a la caja de breaker que está alimentada desde el tablero ML A.A se encuentra en tipo EMT, este tipo de tubería no está autorizada según la norma RETIE para ambientes abrasivos exteriores (intemperie) donde puedan sufrir de salpicaduras o chorros de agua, para este tipo de ambientes la norma exige instalación de tubería pesada IMC (galvanizada), adicionalmente tampoco está marcada la tubería con la franja naranja de 10cm que exige la norma (Retie) para identificar que esta tubería pertenece a una instalación eléctrica.



*Figura 13.* Tubería incorrecta, además falta marcación en caja de breaker Aire Acondicionado

Fuente: diseño propio

Equipos de aire acondicionado: el bloque 25 (Administrativo) de la Institución Universitaria Pascual Bravo cuenta con dos equipos de aire acondicionado de tipo paquete sencilla con las siguientes características cada una:

Modelo: CB17-95V-3

Capacidad de enfriamiento: 150.000 Btu/h

Clasificación eléctrica: 220 V3 AC 60Hz

Consumo: 13,7 kW

Voltaje MIN/MAX: 208-230 VAC

Amperaje MIN de circuito: 65,86A

Refrigerante: NITROGEN/HELIUM 6.24

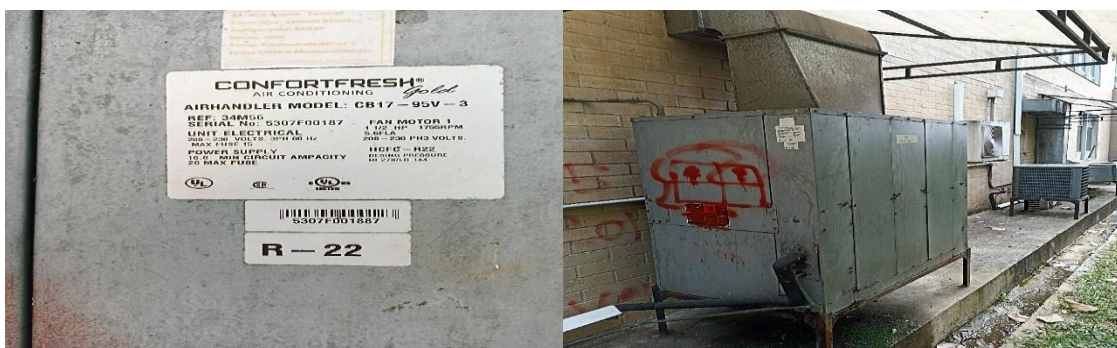


Figura 14. Placa de características equipos de Aire Acondicionado Bloque 25 (Administrativo)

Fuente: diseño propio

Para realizar las mediciones eléctricas se colocan a trabajar ambas unidades durante un tiempo de 15 minutos para iniciar con los equipos de medición las pruebas reales y se obtienen los siguientes datos:

Tabla 4.

Mediciones eléctricas equipos Aire Acondicionado Bloque 25 (Administrativo)

PROTECCION	CORRIENTE (A)			TENSION (V)
	FASE (R)	FASE (S)	FASE (T)	
Unidad # 1	42.3	44.8	43.6	207
Unidad # 2	82.6	84.0	83.7	208

Fuente: diseño propio



Después de realizada la inspección a estos equipos de aire acondicionado del Bloque 25 (Administrativo) se determinaron las siguientes correcciones:

Se encuentran cajas de paso en la canalización para la alimentación de estos equipos de aire acondicionado desde el tablero ML las cuales no cumplen con el IP (índice de protección) adecuado para el ambiente exterior, ni con el tamaño para la cantidad de cables (conductores) que pasan por dicha caja.

El cableado se encuentra sin marcar esto implica un riesgo (confusión) en la instalación a la hora de un mantenimiento eléctrico.

Se necesitan cajas de mayor tamaño y con un IP65 como mínimo, y se requiere identificar el cableado en las cajas de paso con el circuito en vacío (des energizado).



*Figura 15.* Cajas de paso de alimentación de Aire Acondicionado Bloque 25 (Administrativo)  
Fuente: diseño propio

Las tuberías para la alimentación de las unidades de aire acondicionado se encuentran en tipo EMT la cual no se permite según la norma RETIE para este tipo de ambientes expuestos a la intemperie (polvo y agua) se debe instalar tubería IMC tipo pesada.

También se encuentra que dicha tubería no está fijada correctamente al muro por lo que se puede ocasionar un accidente de caída o de electrocución porque la misma tiene suelta sus uniones y debido a esto se dañara el cableado y se aterrizará dicha corriente a la tubería, también falta marcar (rotular) la tubería con la franja de color naranja de 10 cm que indica que es una tubería eléctrica.

Adicionalmente se encuentran tramos en tubería flexible (coraza) en mal estado (cristalizada) y con los cables expuestos, se recomienda cambiar y garantizar que la unión y sus acoples queden bien instalados.



*Figura 16. Tubería suelta e inapropiada*  
*Fuente: diseño propio*

La unidad de paquete sencilla # 2 de aire acondicionado presenta problemas con el consumo de corriente, el equipo trabajando presenta una corriente muy elevada con respecto a la unidad número 1 de aire acondicionado, se requiere de un mantenimiento correctivo a la unidad de aire acondicionado, donde se verifique el correcto funcionamiento de los componentes internos de la misma



*Figura 17.* Medición de corriente elevada de la unidad # 2 de Aire Acondicionado bloque 25  
Fuente: diseño propio

Mediciones a tablero TGA (Tablero General de Acometidas). El tablero TGA (Tablero General de Acometidas), se encuentra ubicado en el cuarto de energía del bloque 25 (Administrativo) de la Institución Universitaria Pascual Bravo, es el encargado de manejar todas las acometidas eléctricas para las cargas de todo el cómo: alumbrado, energía, regulada, etc.

Tablero TGA principal: el tablero TGA es el tablero principal de las acometidas para las cargas del bloque 25 (Administrativo) de la Institución Universitaria Pascual Bravo, es un tablero trifásico de 8 circuitos con espacio para un totalizador principal Merlin Gerin NB400N de 300A Icu 30kA encargado de monitorear tensiones y corrientes de las cargas aguas abajo, en el momento cuenta con 5 cargas equipadas y 3 reservas no equipadas.

En las cargas se encuentran elementos como un totalizador Merlin Gerin EZC100B de 60A para tablero de iluminación, un totalizador Merlin Gerin EZC100B de 60A para tablero regulado hall, un totalizador Merlin Gerin EZC100B de 60A para tablero alumbrado CIS, un totalizador Merlin Gerin EZC100B de 60A para tablero normal hall, un totalizador Merlin Gerin EZC100N de 100A para tablero equipos de cómputo.



*Figura 18.* Tablero TGA Bloque 25 (Administrativo)

Fuente: diseño propio

Se recomienda hacer un mantenimiento general al tablero ya que se encuentra con mucho polvo y material particulado y esto puede ocasionar fallas de aislamiento, daños en los equipos, pérdidas en la vida útil de los materiales. En los espacios para las reservas no equipadas se recomienda sellar con tapas plásticas que se adosen al frente muerto del tablero para seguridad de las personas.

Tabla 5.

*Corriente tablero TGA Bloque 25 (Administrativo)*

<b>PROTECCION</b>	<b>CORRIENTE (A)</b>			<b>TENSION (V)</b>
Merlin Gerin NB400N de 300A	FASE (R)	FASE (S)	FASE (T)	

Fuente: diseño propio

Tablero de Iluminación: viene alimentado del tablero TGA por medio del totalizador Merlin Gerin EZC100B de 60A el cual se encarga de alimentar todos los circuitos de iluminación del bloque 25, su consumo de corriente es adecuado para su alimentación principal y aun cuenta con capacidad para futuras ampliaciones.



*Figura 19.* Tablero iluminación Bloque 25 (Administrativo)

Fuente: diseño propio

Tablero Regulado Hall: alimentado del tablero TGA por medio del totalizador Merlin Gerin EZC100B de 60A el cual se encarga de respaldar las cargas de equipos electrónicos como computadores, pantallas, etc.

Tabla 6.

*Corriente Tablero Iluminación Bloque 25 (Administrativo)*

PROTECCION	CORRIENTE (A)			TENSION (V)
	FASE (R)	FASE (S)	FASE (T)	
Merlin Gerin NB400N de 300A	12.3	13	12.8	207

Fuente: diseño propio

El consumo de corriente se encuentra entre los estándares del totalizador principal.



*Figura 20.* Tablero Regulado Hall

Fuente: diseño propio

Tabla 7.

*Corriente Tablero regulado Hall Bloque 25 (Administrativo)*

PROTECCION	CORRIENTE (A)			TENSION (V)
	FASE (R)	FASE (S)	FASE (T)	
Merlin Gerin NB400N de 300A	1.2	1.3	1.1	207

Fuente: diseño propio

Observaciones: se debe organizar la marcación según la norma de etiquetado RETIQ ya que se encuentra con una marcación en cinta de enmascarar y ello no cumple con la norma.

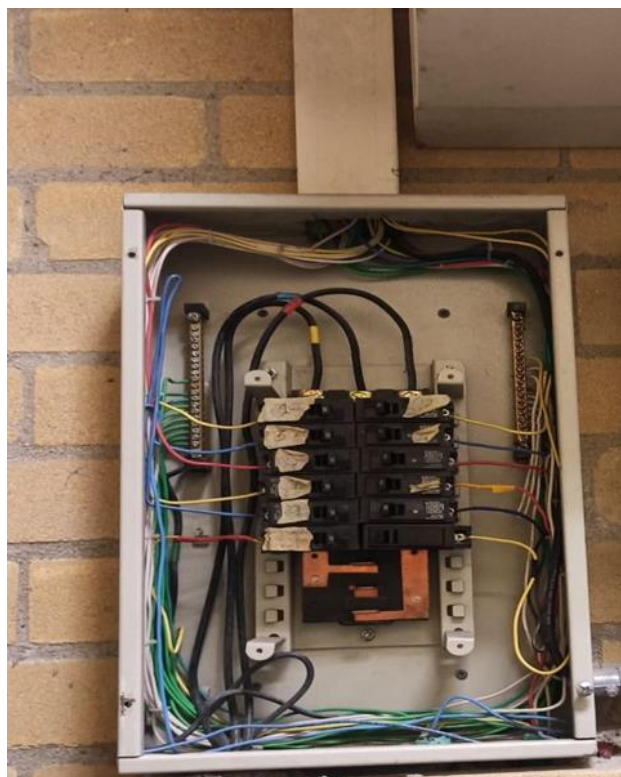
Tablero Iluminacion CIS: Alimentado del tablero TGA por medio del totalizador Merlin Gerin EZC100B de 60A se encarga de manejar todo el sistema de iluminación de la oficina del CIS del bloque 25 (Administrativo), la mayoría de la carga de iluminación es tipo LED por lo cual el consumo de corriente no es alto.

*Figura 21. Corriente de tablero iluminación CIS bloque 25 (Administrativo)*

Fuente: diseño propio

Tablero Normal Hall: alimentado del tablero TGA por medio del totalizador MerlinGerin EZC100B de 60A y se encarga de manejar todo el sistema de potencia del bloque 25

(Administrativo) por medio de un tablero eléctrico trifásico de 18 circuitos sin espacio para totalizador de los cuales cuenta con 12 circuitos equipados y 6 circuitos no equipados para reserva. Se encuentra balanceado según las medidas de corriente tomadas por el equipo de medición.



*Figura 22.* Tablero Normal Hall

Fuente: diseño propio

Cálculos Técnicos de Consumo de energía eléctrica, a partir de la indagación previamente realizada con lo cual determinamos consumo inicial de la edificación (bloque 25) por áreas basados en un levantamiento eléctrico de cargas del Bloque 25.

Tabla 8.

*Corriente Tablero normal Hall Bloque 25 (Administrativo)*

PROTECCION	CORRIENTE (A)			TENSION (V)
	FASE (R)	FASE (S)	FASE (T)	
Merlin Gerin EZC100B de 60A	1.73	1.32	1.19	207

Fuente: diseño propio

En este sentido para determinar la situación energética actual en el edificio, es necesario gestionar a partir de las mediciones eléctricas y las anotaciones previas de las cargas eléctricas.

Se realizarán cálculos técnicos del consumo de energía eléctrica de la edificación, con la finalidad de conocer puntos de mayor consumo energético.

Análisis de Costos por Consumo Energético Actual. Se realizará una indagación referente a las facturas de pago a EPM, con el fin de determinar el consumo de energía eléctrica.

Medidas de uso racional y eficiente de la energía eléctrica. Las medidas o propuestas tienen la finalidad de disminuir el consumo de energía y la demanda de potencia, para obtener beneficios económicos.

Para establecer las medidas de ahorro energético se toma en cuenta el estudio realizado en cuanto a la caracterización del consumo eléctrico.

Analizar los resultados del consumo de energía en el sistema de aire acondicionado del bloque 25 de la institución Universitaria Pascual Bravo.

Dentro del inmueble (Bloque 25) se encuentran diferentes tipos de equipos que demandan energía eléctrica como son: Aires acondicionados, computadoras, fotocopiadoras, equipos audiovisuales, conmutadores de datos y luminarias.

Para estimar su consumo es necesario realizar un inventario de la cantidad de equipos y proceder a medir la potencia de cada uno de ellos, ver la siguiente tabla:

Equipos de medición utilizados:

Medidor portátil de energía

Medidor analizador de redes



Tabla 9.

*Inventario de equipos para medición de potencia*

ITEM	TIPO DE EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA (Kw)	POTENCIA TOTAL (Kw)
1.	Aires acondicionados 3 ton, monofásico	6	4.50	27.00
2.	Aires acondicionados 5 ton, trifásico	8	3.50	28.00
3.	Aires acondicionados 5 ton, monofásico	6	3.72	22.32
4.	Computadoras	88	0.175	15.4
5.	Fotocopiadora	12	0.5	6
6.	Luminarias de 2 x 32 w	25	0.75	18.75
7.	Luminarias de 3 x 32 w	51	0.150	7.65
8.	Luminarias de 4 x 32 w	31	0.190	5.89
			Potencia Total	131.01 (Kw)

La tabla 9 permite visualizar la diversidad de equipos conectados en el Bloque 25; esto facilita calcular la demanda máxima a la que puede ser sometida la subestación cuando todas las cargas estén en operación. También que los datos ingresados en esta tabla muestran que la potencia total demandada es menor a la capacidad de la subestación.

Para determinar el consumo total de la instalación, se necesita de un analizador de redes o equipo auditor energético eléctrico en el circuito que suministra la energía al Bloque 25 para obtener las curvas de carga de la instalación de una semana completa.

Consumo en iluminación interior del Bloque 25: En el inmueble se mantienen encendidas las luminarias dependiendo del horario de actividades; con los datos obtenidos de las mediciones se calculó el consumo o demanda en energía eléctrica; y luego se procedió a elaborar la línea base correspondiente a iluminación.

Es de aclarar, que en la figura 23 se representa el comportamiento de actividades administrativas según horarios proporcionados por los encargados del Bloque 25.

**Figura 23.** Comportamiento de actividades administrativas

Fuente: diseño propio

DIA LUNES																								
HORAS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
CONSUMO POR HORAS (Kwh)	0	0	0	0	0	0	0	2	7	8	9	7	6	4	6	7	6	4	3	0	0	0	0	0
CONSUMO TOTAL (Kwh)	69																							

DIA MARTES																								
HORAS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
CONSUMO POR HORAS (Kwh)	0	0	0	0	0	0	0	3	5	9	8	7	6	4	5	7	6	4	3	0	0	0	0	0
CONSUMO TOTAL (Kwh)	67																							

DIA MIERCOLES																								
HORAS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
CONSUMO POR HORAS (Kwh)	0	0	0	0	0	0	0	2	6	9	9	10	5	6	5	5	3	3	3	0	0	0	0	0
CONSUMO TOTAL (Kwh)	66																							

DIA JUEVES																								
HORAS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
CONSUMO POR HORAS (Kwh)	0	0	0	0	0	0	0	1	8	8	6	7	6	4	4	7	3	2	2	0	0	0	0	0
CONSUMO TOTAL (Kwh)	58																							

DIA VIERNES																								
HORAS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
CONSUMO POR HORAS (Kwh)	0	0	0	0	0	0	0	2	7	8	9	7	6	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0
CONSUMO TOTAL (Kwh)	49																							

DIA SABADO																								
HORAS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
CONSUMO POR HORAS (Kwh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7	8	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CONSUMO TOTAL (Kwh)	17																							

DIA DOMINGO																								
HORAS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
CONSUMO POR HORAS (Kwh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CONSUMO TOTAL (Kwh)	0																							

Calcular la fuente de energía eléctrica, diseñar el modelo de control e Instalar el tablero de control.

Para el diseño de equipos de aire acondicionado tenga en cuenta que una alta REE de los equipos no es garantía de un alto desempeño del sistema.

Un Uso Racional de la Energía de los sistemas de aire acondicionado. se obtiene con:

Seleccionando o diseñando la unidad apropiada (cálculo adecuado de cargas térmicas)

Minimizando las infiltraciones de aire externo

Mejorando la eficiencia de la iluminación.

Alta eficiencia de los equipos empleados en aire acondicionado: alto COP o REE.

Alta eficiencia de ventiladores, compresores y motores eléctricos.

Usar velocidad variable en ventiladores de manejadora o condensadora.

Optimización del diseño de ductos y distribución del aire.

Aplicar un programa de mantenimiento apropiado (preventivo y predictivo)

Emplear el control automático (PID). con programación de eventos.

Adoptar Sistemas de manejo de energía.

Emplear sistemas de recuperación de calor.

Para cada caso es necesario diseñar un procedimiento de cálculo de los ahorros y estimar el tiempo de recuperación de capital adicional invertido.

Calcular el consumo de energía, medir la cantidad de agua utilizada y diseñar el tanque de almacenamiento.

Un sistema de aire acondicionado energéticamente eficiente, permite obtener altas prestaciones de calidad y confort reduciendo el consumo de energía y además reduciendo costos de mantenimiento.

Para el desarrollo del proyecto se requiere como mínimo conocer la siguiente información:



La eficiencia energética del sistema actual, se compara con los coeficientes de EER, kW/TR o el COP.



Uso de la instalación (horas de operación diaria) y aprovechamiento del acondicionamiento natural (free cooling).



Mantenimiento (limpieza, cambio de filtros, sustitución de partes).

La línea de base energética se determina teniendo en cuenta la capacidad de los aires actuales, la eficiencia y las horas de operación del aire, calculando el consumo de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo (kWh/Año)} = \text{Capacidad (TR)} * (\text{horas operación/año}) * \left( \frac{12}{\text{EER} * (\text{BTUh/W})} \right)$$

Las condiciones que se deben determinar en los equipos existentes y los equipos nuevos son:

Su capacidad nominal, que se encuentra en la placa de los aires

La eficiencia, que se puede encontrar en el manual o ficha técnica.

Potencial de ahorro energético y reducción de emisiones de GEI.

Tabla 10.

*Información mínima requerida para evaluar un proyecto de sustitución de A.A*

PARAMETRO	UNIDA D	FUENTE/FORMULA
Capacidad nominal del sistema actual	TR	Datos de placa de los equipos
Eficiencia del sistema actual	EER*	Ficha técnica de los equipos actuales
Horas de operación promedio por año	h/año	Datos de la instalacion
Consumo de energía del sistema actual	kWh/año	$A*(12/B) * C$
Capacidad nominal del nuevo sistema	TR	Ficha técnica de los equipos nuevos
Eficiencia del nuevo sistema	EER*	Ficha técnica de los equipos nuevos
Consumo de energía del nuevo sistema	kWh/año	$E*(12/F) * C$
Inversión en el nuevo sistema de A.A	USD	Dato de Inversión del proyecto
Precio de la energía eléctrica	USD/kWh	Factura eléctrica de la instalacion
Ahorro de energía anual	kWh/año	D-G
Ahorro económico anual	USD/año	J * I
Periodo de retorno simple	Años	H / K
Factor de emisión	Kg C02 / kWh	EIA o IPCC
Reducción de emisiones de GEI	Kg C02 / año	J * M

Fuente: diseño propio

El potencial de ahorro de energía y de reducción de emisiones de GEI se calcula teniendo en cuenta, el consumo de energía actual menos el consumo de energía con los nuevos AA.

En general, el potencial de ahorro puede establecerse entre un 20 y 35% del consumo de energía actual, dependiendo de las condiciones de operación y del tipo de sistema que se tenga.

Para la evaluación energética, económica y ambiental de un proyecto de eficiencia energética en Aire Acondicionado, se requiere como mínimo la información que se observa en la tabla 10.

La inversión específica en un proyecto de renovación de aire acondicionado depende del tipo de sistema que se quiera instalar, además de los requerimientos y prestaciones del sistema, tales como la capacidad de refrigeración.

En la siguiente tabla se muestran los costos de inversión aproximados para diferentes sistemas, cabe resaltar que cada sistema es único y sus ahorros y costos varían. La tabla 11 busca establecer rangos de costos y eficiencia aproximados para ser usados como valores de referencia.

Tabla 11.  
*Costos de inversión aproximados en proyectos de A.A*

Tipo de sistema de A.A	Rango de eficiencia (EER)	Rango de capacidad (TR)	Inversión Promedio (USD)
Ventana	7.5 - 10	0.5 - 2	600
Mini split	10 - 16	0.5 - 4	1200
Unidades paquete	9 - 13	3 - 50	1150
Chiller condensado por agua	12 - 24	30 - 270	1200
Chiller enfriado por aire	9 - 13	10 - 550	1200
Sistemas centrales de refrigerante variable (VRF)	15 - 24	3 - 40	2500

Fuente: diseño propio

Es necesario tener en cuenta que, en proyectos de actualización de sistemas antiguos, los costos de inversión pueden incrementarse debido a inversiones adicionales en adecuaciones eléctricas, civiles y requerimientos de instalación.

En la tabla 12 se resumen los potenciales riesgos técnicos, ambientales y sociales de un proyecto de eficiencia energética en sistemas de aire acondicionado y su estrategia de mitigación.

Tabla 12.  
*Matriz de riesgos técnicos, financieros, ambientales y sociales*

Riesgo	Tipo	Estrategia de mitigación
Cobertura de los requerimientos de A.A	Técnico	Realizar los diseños de manera adecuada, teniendo en cuenta las mediciones de carga térmica de la instalación.
Confiabilidad en la operación de la tecnología de A.A	Técnico	Seleccionar equipos de proveedores reconocidos que cuenten con experiencia en proyectos similares y con servicio técnico en el país.
Uso de refrigerantes que agotan la capa de ozono	Ambiental	Verificar que los equipos no utilizan el gas refrigerante R-22. Asegurarse que el refrigerante tenga un potencial bajo de agotamiento de la capa de ozono.
Generación de ahorros y factibilidad financiera	Técnico/financiero	Seleccionar la tecnología adecuada para los requerimientos del proceso y analizar con detalle los precios de la energía eléctrica y sus tendencias en el futuro.
Reducción de emisiones de GEI	Ambiental	Asegurarse que el diseño del proyecto permite la máxima eficiencia operativa y logra la mayor reducción del consumo de energía eléctrica.
Reciclaje de refrigerantes	Ambiental	Asegurarse que los refrigerantes retirados de la instalación antigua sean destruidos en instalaciones especializadas con licencia para su tratamiento.

Fuente: diseño propio

## 1) Conclusiones

De acuerdo con los resultados visuales y numéricos obtenidos se concluye que culturalmente el personal administrativo y académico del Bloque 25 no están conscientes del mal uso que se da a las unidades climatizadoras (A/A).

También se evidencia que los tableros eléctricos tienden a elevar su temperatura cuando son sometidos a demandas de carga, esto puede ser causado por varios factores: falsos contactos, envejecimiento de elementos o exceso en la demanda de energía.

Las unidades de aire acondicionado (A/A) con alimentación monofásica demandan más energía que las trifásicas para una misma capacidad de potencia, inclusive un A/A de 3 toneladas (36,000 BTU) monofásico demanda más energía que uno de 5 toneladas (60,000 BTU) trifásico.

Se concluye que los tres tipos de carga (A/A, PC e iluminación) representan un alto costo energético; siendo la principal, la climatización que en la mayoría de las veces representa el 50% del consumo total.

Es evidente por las tomas termográficas, que existe un mal uso de los aires acondicionados, puesto que se utilizan con las puertas abiertas en los centros de cómputo. Esto ocasiona que la unidad nunca termine de enfriar y por lo tanto continúa consumiendo energía eléctrica.

Es necesario efectuar visitas no intrusivas a las diferentes áreas para evaluar los comportamientos en el uso de los equipos y sus correspondientes consumos de energía.

La determinación de la línea base de energía a partir de las mediciones permite obtener historiales de consumo y esto permitirá evaluar las acciones a tomar.

Es necesario establecer una nueva línea base de energía alcanzable, es decir, que se pueda obtener a partir de los recursos disponibles.

## 2) Recomendaciones

Implementar un programa permanente sobre buen uso de las unidades climatizadoras en el Bloque 25, centros de cómputo y áreas administrativas dirigido a Docentes, personal administrativo y alumnos.

Realizar un plan de mantenimiento preventivo a tableros y protecciones para detectar elementos dañados o excesos de demanda.

Implementar un plan de sustitución de las unidades de aire acondicionado monofásicas por unidades trifásicas o en el mejor de los casos el plan debe contemplar cambiar en dos etapas:

Etapa 1: sustitución de todas las unidades de A/A monofásicas convencionales por climatizadores de Sistema Inverter.

Etapa 2: sustitución de las unidades de A/A trifásicas convencionales por unidades de Sistema Inverter.

Para reducir los costos de energía es necesario cambiar las tecnologías en aires acondicionados, computadoras e iluminación:

Aires acondicionados convencionales por Sistemas Inverter.

Computadoras de más de 5 años por tecnología ENERGY-STAR. El consumo de una computadora eficiente es del 50% menos que el de una de hace 5 años.

Iluminación fluorescente T12 y T8 por tecnología “ECO-ENERGY” que actualmente está representada por las lámparas LED de alta eficiencia. T8 fluorescente de 32 watts se sustituye por una T8 LED de 16 watts, ambas iluminan igual, pero el consumo de la LED es la mitad de la fluorescente.



La gerencia de mantenimiento con el apoyo de la academia debe preparar un plan (URE) de educación para el buen uso de las unidades de aire acondicionado.

Hacer uso de la inspección no intrusiva que consiste en un análisis comparativo de los consumos energéticos de las instalaciones objeto de diagnóstico, con los consumos de instalaciones similares.

Con la línea base de energía obtenida proceder a informar a la gerencia de mantenimiento (Servicios Generales) de la Institución para definir las acciones a ejecutar.

Establecer una nueva línea base para el Bloque 25 que permita reducir el consumo de energía.

### 3) Referencias bibliográficas

- ACEVEDO. El uso de acondicionadores de aire de alta eficiencia le produce ahorros [Artículo en Línea]. En: Corriente Verde Vol. 01, No 03, 2010.
- American Society of Heating, R. a.-C. (2010). ASHRAE standard. New York, USA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Balcells, J. (2016). Eficiencia en el Uso de La Energía Eléctrica. México: Alfaomega, Marcombo.
- CAMPO VERDE, M. y VÉLEZ, A. Diseño y construcción de un banco de pruebas para un sistema de climatización para laboratorio. Tesis de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Ecuador. 2011
- CAMPOVERDE y VÉLEZ. Op cit.5 E-URE curso virtual del uso racional de la energía 2014
- FERNÁNDEZ. Aire acondicionado con tecnología Inverter [Publicación en línea]. 2007.
- FRANCO, J. Manual de Refrigeración. España: Reverté, 2006
- GONZÁLEZ, C. Instalaciones de Climatización y Ventilación. España-Valencia: Conselleria de Cultura, Educación y Deporte, 2006
- JUTGLAR, L. Técnica de Refrigeración. España: Marcombo, 2018
- Miranda, A. (2014). ABC del Aire Acondicionado. México: Alfaomega, Marcombo.
- MORAN, Michael; SHAPIRO, Howard. Fundamentals of engineering thermodynamics 7Ed.Ed John Wiley& Sons Ltd, Chichester (England). 2006

PITA, E. Acondicionamiento de Aire-Principios y Sistemas. 2da. ed. México: Limusa, 2003

RAMÍREZ, D. Diseño, construcción y pruebas de un banco de refrigeración para Laboratorio.  
Ecuador-Riobamba, 2018. (tesis).