

**REPÚBLICA DE CUBA.
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR.
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS.
FACULTAD DE INGENIERÍA**



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS

INGENIERÍA

TRABAJO DE DIPLOMA

**TÍTULO: Metodología para la inspección energética de
equipos de aire acondicionado tipo ventana y split.**

**AUTOR: Rubén Goicochea Rodríguez
TUTOR: Mario Álvarez Guerra Plasencia**

**“AÑO 62 DE LA REVOLUCIÓN.”
Cienfuegos, 2020**

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD



Sistema de Documentación y Proyecto.

Hago constar que el presente trabajo constituye la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Cienfuegos, autorizando a que el mismo sea utilizado por el Centro de Estudio Superior para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de dicha institución.

Firma del autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido según acuerdo de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnico
Nombre y Apellidos. Firma.

Vice Decano.

Firma del Tutor

Nombre y Apellidos. Firma.

Sistema de Documentación y Proyecto.

*“La lógica te llevara de la A a la Z, la imaginación
te llevara a todas partes”*

Albert Einstein

AGRADECIMIENTOS

- *A mis padres por su guía y apoyo incondicional.*
- *A mi esposa por estar siempre a mi lado, por darme la fortaleza para seguir luchando y alentarme a cumplir mis sueños.*
- *A mi familia en general, por su preocupación y apoyo.*
- *A mi tutor Mario Álvarez Guerra Plasencia por mostrarme el camino en el desarrollo de este proyecto.*

A todos, muchas gracias.

DEDICATORIA

- *A quienes me dieron la vida y enseñaron a conducirme en ella, mis padres.*
- *A mi esposa, quien es mi compañera y mi motor.*
- *A mi tutor por estar siempre a mi disposición y brindarme las herramientas para llevar a cabo este trabajo.*
- *A todas aquellas personas que contribuyeron al desarrollo de este trabajo.*

RESUMEN

Mediante el siguiente proyecto se plasma una metodología de inspección energética de los aires acondicionados. Se incluye una búsqueda de información bibliográfica para determinar los procedimientos de inspección de equipos de climatización de tipo ventana y Split, así como sus características fundamentales. Con la implementación de esta metodología se obtiene la estrategia de inspección más favorable para la instalación, que muestra resultados desde el punto de vista de ahorro energético y emisiones al medio ambiente.

Palabras claves: metodología, inspección, climatización, implementación.

Summary

Through the following project, an energy inspection methodology for air conditioners is reflected. A search of bibliographic information is included to determine the inspection procedures for window and split type equipment, as well as its fundamental characteristics. With the implementation of this methodology, the most favorable inspection strategy for the installation is obtained, which shows results from the point of view of energy saving and emissions to the environment.

Key words: methodology, inspection, air conditioning, implementation.

Índice

INTRODUCCIÓN	10
Hipótesis:	12
Objetivo general:	12
Objetivos específicos:	12
CAPITULO 1: Revisión bibliográfica.	13
1.1. Situación actual y perspectiva de la climatización en el sector residencial y de servicios.	13
1.2. Tipología de equipos utilizados: ventana y split. Características, ventajas y aplicaciones.	14
1.2.1. Equipos de aire acondicionado de ventana.	14
1.2.2. Equipos de aire acondicionado tipo Split.	15
1.3. Indicadores energéticos.	17
1.4. Requisitos legales.	18
1.5. Oportunidades de mejora.	20
1.5.1 Estrategias de operación.	20
1.5.2 Rendimiento del equipo.	21
1.5.3 Disminución de Ganancias de Calor.	22
1.6. Características de los proyectos de eficiencia energética en sistemas de aire acondicionado.	23
1.6.1 Línea de base energética e información del nuevo proyecto.	23
1.6.2 Potencial de ahorro energético y reducción de emisiones de GEI. ..	24
1.6.3 Descripción de la tecnología.	25
1.6.4 Criterios de elegibilidad.	25
1.6.5 Monitoreo, reporte y verificación del proyecto.	26
1.7 Conclusiones parciales:	27
CAPÍTULO 2: Metodología para la inspección energética de equipos de aire acondicionado tipo ventana y split.	28
2.1. Recolección de información técnica y datos de operación del sistema o equipo.	28
2.1.1. Equipos e instrumentos de medición necesarios.	29
2.3. Metodología para la evaluación de eficiencia energética del sistema o equipo y de sus prestaciones.	32
2.3.1. Método general.	32
2.3.2. Método específico de evaluación de la eficiencia energética para los equipos tipo split.	35

2.4 Conclusiones parciales.....	37
Capitulo III: Estudio de caso en EMCE UEB Cienfuegos.....	39
3.1. Descripción de la instalación.....	39
3.2. Resultados de la inspección.....	40
3.3. Conclusiones parciales.....	45
Conclusiones Generales	46
Recomendaciones.....	47
Bibliografía	48
Anexos.....	50

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los sistemas de climatización se han convertido en una necesidad básica presente en diversas áreas de los sectores de bienes y servicios que van desde el uso doméstico hasta sus múltiples aplicaciones tanto en la industria como en oficinas, establecimientos comerciales, museos, laboratorios, hospitales, restaurantes, etc.

La misión del aire acondicionado es la realización de determinadas funciones destinadas a proporcionar, durante todo el año, el confort térmico y la calidad de aire interior para la vida de las personas o el mejoramiento de los diferentes procesos industriales (Ecured).

La sociedad moderna basa su modo de vida en un consumo intensivo de energía y el sector del aire acondicionado tiene una participación importante en este consumo. Esta gran demanda energética hace necesario utilizar una gran cantidad de recursos, muchos de ellos no renovables.

El incremento en el uso de sistemas de acondicionamiento de aire es uno de los retos más importantes para el desarrollo energético en el futuro de los países en desarrollo. Las mejoras en el nivel de vida en las economías emergentes, la mayoría de ellas ubicadas en climas cálidos, aumentará la demanda de aire acondicionado en las próximas décadas. Se estima que en la década 2010-2020 el incremento de la demanda de electricidad en los países en desarrollo para los sistemas de aire acondicionado, solo en el sector residencial, será de 600 TWh/año (1 TWh/año = 1000 KWh/año). Esto representa más de la mitad de toda la energía solar y eólica que se proyecta producir en el mismo período (1.100 TWh/año) a nivel mundial (Editor CAF Banco de Desarrollo de América Latina).

De acuerdo con el Lawrence Berkeley National Laboratory, para 2030 cerca del 80% de los hogares mexicanos contarán con un sistema de aire acondicionado, en comparación con el 20% que contaban con esta tecnología en el 2005. En Brasil la demanda de aire acondicionado se multiplicará por 2 en el mismo período, y en el resto de Latinoamérica el crecimiento será de 3,6 veces el actual.

Adicionalmente, el crecimiento en el uso del aire acondicionado tiene asociados importantes impactos ambientales debido a las emisiones de gases de efecto invernadero durante la generación de electricidad y al uso de refrigerantes que agotan la capa de ozono. Por años el refrigerante más usado fue el R-22 (HCFC 22), que quedó fuera del mercado por los acuerdos alcanzados en el Protocolo de Montreal. Sin embargo, en los países en desarrollo se seguirá usando al menos hasta el año 2030. Actualmente, el refrigerante más usado es el R410A (HCFC-410A), el cual es considerado amigable con la capa de ozono, pero tiene un alto GWP (Global Warming Potencial por sus siglas en inglés) de 1.924 Kg de CO₂ equivalentes por cada Kg de refrigerante que se escapa a la atmósfera (IPCC,

2014)(Future air conditioning energy consumption in developing countries and what can be done about it: the potential of efficiency in the residential sector).

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 la evaluación de la misma 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).

Ante la creciente necesidad de disminuir los consumos energéticos y las emisiones al medio ambiente, en Cuba se toman medidas para lograr una mayor eficiencia en el manejo y consumo de los portadores energéticos. Una de las más significativas es la adopción de la norma internacional ISO 50001 (Organización Internacional de Normalización), que en Cuba se estableció en el año 2011 bajo la denominación NC ISO 50001:2011 Sistemas de gestión de la energía — requisitos con orientación para su uso y fue actualizada a la nueva versión en 2018 (NC ISO 50001:2018, 2018).

Esta norma instituye los requisitos que deben cumplir los sistemas de gestión de la energía y se basa en el establecimiento de la mejora continua del desempeño energético y el propio sistema de gestión energética en la organización, que facilita a las instituciones, independientemente de su sector de actividad o su tamaño, una herramienta para la reducción de los consumos de energía, los costes financieros asociados al uso de la misma y consecuentemente a la disminución de los efectos negativos sobre el medio ambiente.

Con la implementación de esta norma el país pretende implementar en las empresas un sistema de gestión energética que permita disminuir los costos, controlar y reducir al máximo las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) trazando estrategias para el correcto uso de los portadores energéticos. Todo esto permite el desarrollo de una conciencia energética en la sociedad que es indispensable para lograr disminuir la influencia del ser humano en el curso de la vida de la naturaleza.

En la etapa de Planificación Energética de la implementación de la norma resulta necesario realizar la revisión energética de la organización, en la cual la organización debe:

1. Analizar el uso y el consumo de la energía basándose en mediciones y otro tipo de datos.

2. Basarse en el uso y el consumo de la energía, identificar las áreas de uso significativo de la energía.
3. Identificar, priorizar y registrar oportunidades para mejorar el desempeño energético.

Las instalaciones de aire acondicionado son identificadas, muy frecuentemente, como áreas de uso significativo de la energía, focos rojos y áreas para la mejora del desempeño energético, por lo que resulta imprescindible realizar evaluaciones físicas en sitio con el fin de llevar a cabo la revisión energética.

En el caso del sector de las edificaciones predominan los sistemas de climatización tipo ventana y split, por lo que para la realización de las mismas resulta necesario contar con una metodología para la inspección energética de ese tipo específico de equipamiento.

Problema científico:

La revisión energética de equipos de aire acondicionado tipo ventana y split requiere una detallada metodología para su inspección energética, que permita cumplimentar los requisitos establecidos en la NC ISO 50001:2018.

Hipótesis:

Integrando criterios termodinámicos y operacionales es posible desarrollar una metodología de inspección energética para equipos de aire acondicionado tipo ventana y split que satisfaga los requisitos de la revisión energética exigidos por la NC ISO 50001:2018.

Objetivo general:

Desarrollar una metodología de inspección energética de equipos de aire acondicionado tipo ventana y Split.

Objetivos específicos:

- Recopilar y procesar información sobre aplicaciones y tipología de aires acondicionados, así como sus indicadores energéticos, requisitos legales y oportunidades de ahorro.
- Desarrollar metodología de inspección energética de equipos de aire acondicionado tipo ventana y split.
- Realizar estudio de caso en la EMCE UEB Cienfuegos para evaluar la efectividad de la metodología propuesta.

CAPITULO 1: Revisión bibliográfica.

1.1. Situación actual y perspectiva de la climatización en el sector residencial y de servicios.

La demanda de equipos de aire acondicionado se está incrementando rápidamente a nivel internacional, especialmente en regiones con clima caluroso. A medida que el nivel de ingreso crece y aumenta la calidad de vida, las ventas y uso de aires acondicionados crecen significativamente, como es el caso de las economías emergentes de India, Indonesia, México y Brasil. Los aires acondicionados son una importante fuente de consumo energético en los hogares que los utilizan y son causa de picos de demanda eléctrica, especialmente en los días calurosos del verano.

Estos equipos son un factor clave en el crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero, debido al uso de refrigerantes que tienen un impacto climático significativo, así como el consumo eléctrico que lidera las emisiones de gases de efecto invernadero debido al funcionamiento de plantas de generación eléctrica que utilizan combustibles fósiles.

En 2015, los aires acondicionados de viviendas representaron aproximadamente el 20% de la demanda eléctrica residencial de 150 países en desarrollo y emergentes. El stock global de equipos de aire acondicionado se espera que se incremente desde los 660 millones de unidades en 2015 a más de 1,5 billones de unidades en 2030, incrementando con ello de manera significativa las emisiones de CO₂ del sector.

Los múltiples beneficios de la transición a aires acondicionados de alta eficiencia y bajos niveles de refrigerantes están bien documentados. Los siguientes son algunos ejemplos de los beneficios, como, por ejemplo, ahorros de energía, reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero y beneficios del consumidor:

- Se estima que 369 TWh/año de electricidad (equivalente a cerca de 123 plantas generadoras de tamaño medio) pueden ser ahorrados por las 12 mayores economías en 2020 si se adoptan las mejores tecnologías de aire acondicionado disponibles actualmente.

- Mejorando la eficiencia de los aires acondicionados de habitación (~30% más eficiente que la tecnología actual) en paralelo con refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global en estos productos se podrían evitar por sobre los ~25 billones de toneladas de CO₂ en 2030, ~33 billones en 2040, y ~40 billones en 2050, i.e. ahorros acumulados sobre los 98 billones de toneladas de CO₂ al 2050 (Ministerio de Energía Chile, 2017).

1.2. Tipología de equipos utilizados: ventana y split. Características, ventajas y aplicaciones.

Los equipos de climatización tipo ventana y split clasifican como sistemas autónomos y de expansión directa, también llamados climatizadores individuales. Un equipo autónomo es una máquina frigorífica cuya función es la de extraer la energía calorífica de los locales para expulsarla al ambiente exterior. Su funcionamiento se basa sobre el intercambio de energía y cambio de fases o estado de un fluido frigorífico.

1.2.1. Equipos de aire acondicionado de ventana.

Características generales.

Comúnmente también conocido como sistema de ventana o autónomo. Es un equipo unitario, compacto y de descarga directa, es decir el aire enfriado es expulsado directamente al espacio a través de la unidad (Lopez, 2011)(Figura 1). Este tipo de equipo suele disponer de un único motor que se engrana con el compresor y ventiladores de aire. Eso genera que el ruido de funcionamiento se propaga al interior del local.



(Figura 1: Aire acondicionado de ventana)

Ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Puede ser instalado en cualquier ventana o pared que dé hacia el exterior.
- Asegura la ventilación del espacio, ya que introduce aire fresco al interior y renueva el aire viciado.
- Su precio es accesible en comparación con otros equipos de aire acondicionado.
- Bajo costo de instalación.
- Fácil mantenimiento.
- No requiere instalación eléctrica especializada.

Desventajas:

- La vista al exterior es obstruida por el equipo de aire acondicionado, cuando es ubicado en una ventana.
- Limita el ingreso de luz a través de la ventana al espacio.
- Suelen consumir más electricidad, en comparación a otros equipos de aire acondicionado.
- Por lo general son bastante ruidosos.
- Poco estético.
- Su instalación en pared requiere hacer un hueco.
- Deben estar protegidos en la parte exterior para evitar el robo del aparato.
- El aparato debe ser instalado de modo que el ruido o el aire caliente procedente de la unidad condensadora no cause molestias a las edificaciones colindantes.
- El sistema debe contar con un drenaje para el condensado, ya que en caso contrario estará goteando hacia el exterior.

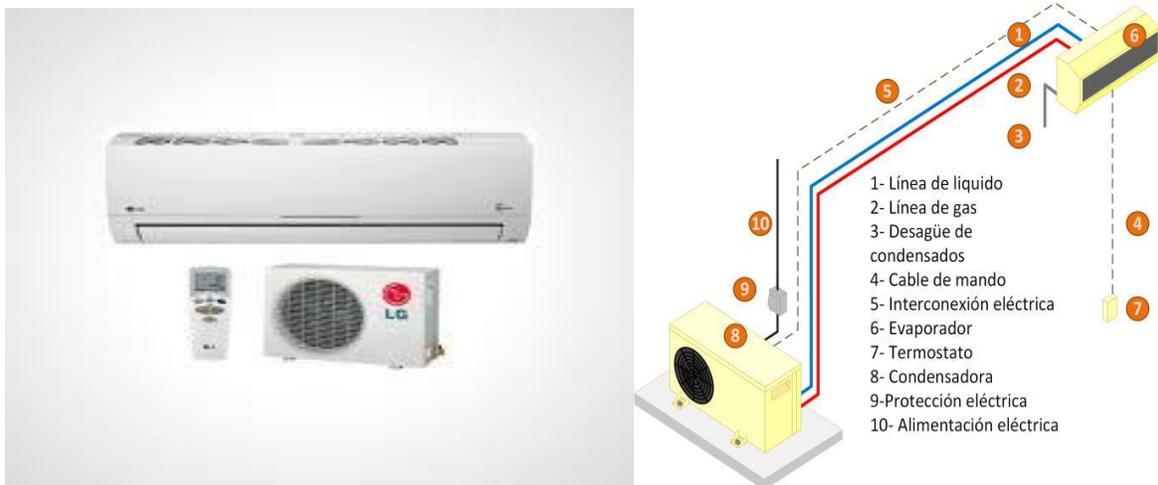
Aplicaciones:

Generalmente se utilizan para acondicionar espacios pequeños e individuales. Se utilizan en lugares donde es difícil acceder a la parte exterior y en edificios altos donde no se puede instalar una unidad exterior. Son utilizados cuando la única posibilidad de instalación es en la ventana.

1.2.2. Equipos de aire acondicionado tipo Split.

Características generales.

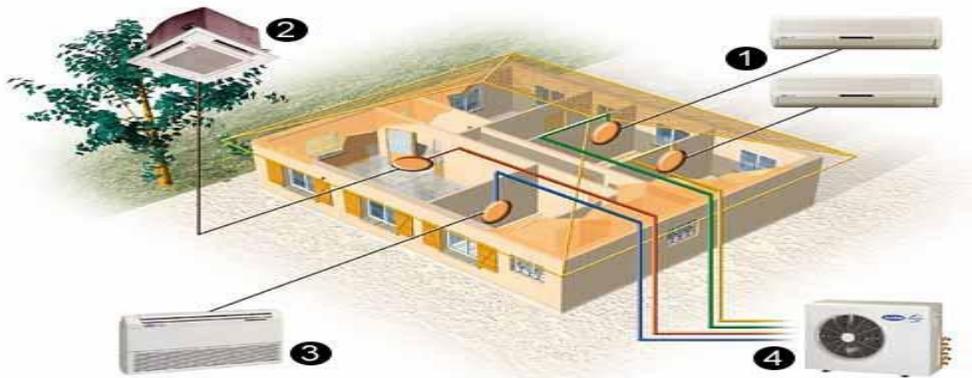
Son equipos de descarga directa llamados también descentralizados. Se diferencian de los compactos ya que la unidad formada por el compresor y el condensador está situada en el exterior, mientras que la unidad evaporadora se instala en el interior. Se comunican entre sí por las líneas de refrigerante y conexiones eléctricas (Figura 2) (LG , 2019).



(Figura2: Aire acondicionado tipo Split)

Hay diferentes tipos de unidades evaporadoras, la diferencia principal está en la forma de instalación (Figura 3).

1. La más común es la que se instala en la parte alta de una pared por lo que se conoce como pared alta (high wall).
2. La unidad que se instala en el cielo falso de un espacio (tipo cassette).
3. La que se instala en la parte baja de una pared, esta unidad se le conoce como flexiline (piso-techo).
4. Unidad condensadora que puede manejar diferentes tipos de evaporadoras.



(Figura 3: Tipos de unidades evaporadoras).

También existen equipos multi-split y la diferencia está en que puede haber varias unidades evaporadoras manejadas por una sola unidad condensadora. Los rangos de capacidad de los equipos split oscilan entre 2,04 y 7,02 kW (7000 y 24000 BTU/h).(Figura 4)



(Figura 4 Multi-split)

Ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Son unidades fáciles de adaptar a cualquier espacio.
- Instalación sencilla.
- Se requiere un simple enlace de la unidad exterior a la unidad interior.
- Pueden ser manejados por control remoto.
- Bajo nivel de ruido.
- Mantenimiento sencillo.
- Consume menos energía que otros equipos.
- Modelos que facilitan la colocación en distintos lugares.

Desventajas:

- Su instalación conlleva hacer una perforación en la pared.
- La instalación de la unidad condensadora en el exterior puede generar problemas si no es considerada dentro del diseño.
- Poco estético en el interior y en el exterior si queda visible.
- Es difícil de colocar en determinados sitios, como paredes prefabricadas.
- El aparato debe ser instalado de modo que el ruido o el aire caliente procedente de la unidad condensadora no cause molestias a los colindantes.

Aplicaciones:

Se utilizan preferiblemente en lugares que se necesita poco ruido de equipos en el interior del espacio a climatizar, tales como habitaciones individuales, oficinas y salas de reuniones de bajo uso.

1.3. Indicadores energéticos.

La eficiencia energética de un sistema de aire acondicionado se expresa como la relación entre la potencia de enfriamiento del equipo y la potencia eléctrica que consume, a esta relación se le denomina EER (Energy Efficiency Ratio por sus siglas en inglés) o COP (Coeficient of Performance) dependiendo de las unidades que se usen para su cálculo.

Es decir, un EER con un valor de 1 significa que por cada unidad de energía eléctrica utilizada se produce una unidad de energía térmica, un EER de 5, quiere decir que el equipo produce cinco veces más energía térmica que la electricidad que consume. Es decir, en cuanto mayor sea el valor del EER mayor será la eficiencia energética del equipo.

Actualmente está muy extendida la utilización de las etiquetas de eficiencia energética tanto en electrodomésticos como en equipos de aire acondicionado para garantizar que los compradores tomen una decisión informada sobre las eficiencias de los equipos que compran. En la figura 5 se presenta un ejemplo de una etiqueta energética y su interpretación.

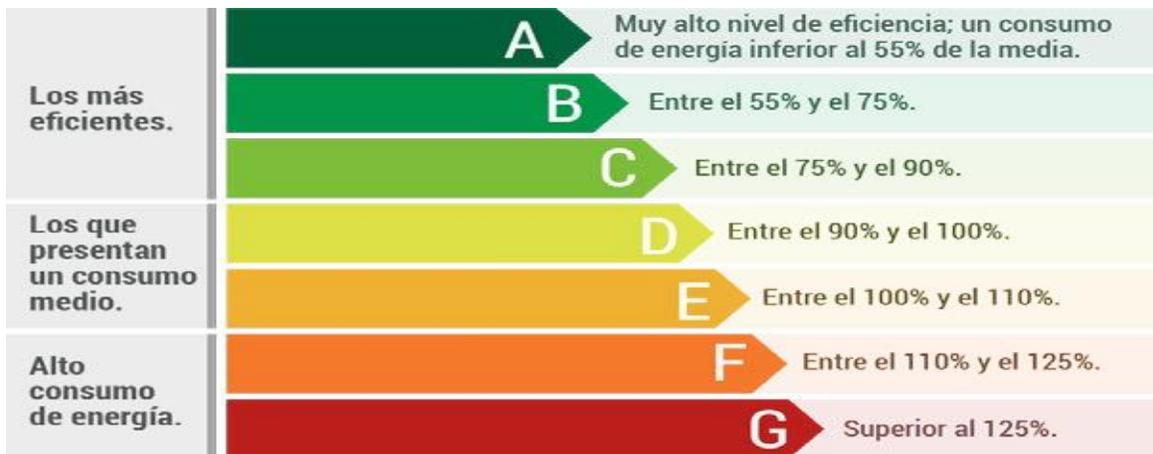


Figura 5: (Certificados energeticos)

1.4. Requisitos legales.

A nivel internacional numerosos países han establecido normas técnicas como respuesta a la necesidad de incrementar el ahorro de energía y la preservación de recursos energéticos; además de proteger al consumidor de productos de menor calidad y consumo excesivo de energía eléctrica que pudieran llegar al mercado nacional específicamente en acondicionadores de aire. Generalmente esas normas técnicas tienen la finalidad de establecer el nivel mínimo de eficiencia energética que deben cumplir los acondicionadores de aire y especifican, además, los métodos de prueba que deben usarse para verificar dicho cumplimiento.

Ejemplos:

Panamá: NORMA TÉCNICA DGNTI-COPANIT 509:2016, Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido con flujo de refrigerante variable, descarga libre y sin ductos de aire. Límites y métodos de prueba (NORMA TÉCNICA DGNTI-COPANIT 509, 2016).

México: NOM-021-ENER/SCFI/ECOL-2000 establece, en su punto 4.32, la relación de Eficiencia Energética (REE), como la eficiencia energética de un acondicionador de aire tipo cuarto y establece los valores mínimos que deben cumplirse cuando se expresan en W_t/W_e o máximos cuando se expresan en kW/TR (NOM-021-ENER/SCFI/ECOL, 2020).

Argentina: Norma IRAM 62406:2007, Eficiencia energética para equipos acondicionadores de aire. Etiqueta energética (Norma IRAM 62406:2007).

Ecuador: Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 072 (2R), "Eficiencia energética para acondicionadores de aire sin ductos" (Eficiencia energética para acondicionadores de aire sin ductos, 2020).

Chile: Norma chilena NCh3081:2007 Eficiencia energética - Equipos de aire acondicionado - Clasificación y etiquetado (Eficiencia energética - Equipos de aire acondicionado - Clasificación y etiquetado, 2007).

Cuba: Resolución No. 136/2009 del Ministerio de la Industria Básica; “Reglamento técnico de eficiencia energética para los equipos de uso final de la energía eléctrica” (Resolución No. 136/2009 del Ministerio de la Industria Básica, 2009).

Esta resolución tiene como objetivo establecer y controlar los requisitos técnicos de eficiencia energética, seguridad eléctrica y tropicalización a los equipos de uso final de la energía eléctrica importados, fabricados o ensamblados en el país por personas jurídicas nacionales o extranjeras, para fomentar el uso racional y eficiente de la energía eléctrica, protegiendo al consumidor mediante la utilización de equipos de alta eficiencia energética y calidad.

Son objeto de este Reglamento los equipos de Uso Final de la Energía Eléctrica descritos a partir del Anexo 6 de la resolución y todos los que sean aprobados por los Comités Técnicos Nacionales pertenecientes al Comité Electrotécnico Cubano (CEC).

Así, en el ANEXO No. 10 se establecen los requisitos técnicos mínimos que deben cumplir las máquinas y aparatos para acondicionamiento de aire que clasifican por las subpartidas arancelarias 8415.10 (PARED O VENTANA); 8415.82 y 8415.83 (TIPO SPLIT).

Las máquinas y aparatos deben garantizar, según sus capacidades frigoríficas, los siguientes parámetros de eficiencia energética (Tabla 1):

● Para los de pared o ventana:

Capacidad Frigorífica	REE* ((BTU/h)/W)	REE* (W/W)
2625 W (9000 BTU/h)	≥ 9.00	≥ 2.63
3500 W (12000 BTU/h)	≥ 9.00	≥ 2.63
5250 W (18000 BTU/h)	≥ 8.50	≥ 2.48
7000 W (24000 BTU/h)	≥ 8.00	≥ 2.34

● Para los del Tipo Split:

Capacidad Frigorífica	REE* ((BTU/h)/W)	REE* (W/W)
2625 W (9000 BTU/h)	≥ 9.00	≥ 2.63
3500 W (12000 BTU/h)	≥ 9.00	≥ 2.63
5250 W (18000 BTU/h)	≥ 8.50	≥ 2.48
7000 W (24000 BTU/h)	≥ 8.50	≥ 2.48
10500 W (36000 BTU/h)	≥ 8.50	≥ 2.48
17500 W (60000 BTU/h)	≥ 10.4	≥ 3.05

(Tabla 1: REE)

Se especifica que la Relación de Eficiencia Energética o Coeficiente de Rendimiento Energético (REE), se calcula para temperatura de bulbo seco y

húmedo interior de 27/19.5°C, respectivamente, con temperatura ambiente exterior de 35/24 °C (Ministerio de Justicia).

También en Cuba existe la NC1072: 2015 Climatización industrial – Indicadores para el desempeño energético, aplicable a aquellas instalaciones cuya máxima demanda de carga térmica es igual o superior a 175 kW (50 Toneladas de refrigeración), por lo que no resulta de interés para este trabajo (NC 1072: 2015 Climatización industrial – Indicadores para el desempeño energético, 2015).

1.5. Oportunidades de mejora.

Las estrategias de ahorro energético en aire acondicionado se pueden dividir en (Diagrama 1):

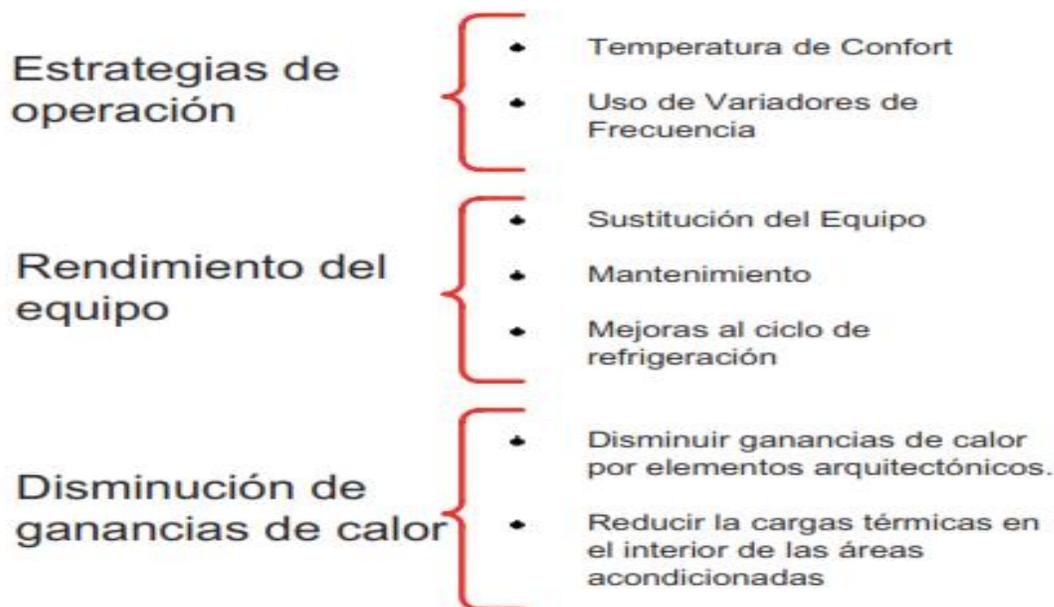


Diagrama 1: Estrategias de ahorro energético en aire acondicionado.

A continuación, se explican brevemente estas estrategias.

1.5.1 Estrategias de operación.

Las estrategias de operación consisten en tomar acciones de conservación de la energía y eficiencia energética que busquen que la operación del equipo existente sea más eficiente. Dichas estrategias incluyen hacer un uso racional del aire acondicionado, configurando los termostatos a temperaturas razonables, administrando la demanda de forma eficiente o implementando tecnologías de control, tales como variadores de frecuencia.

Una opción tecnológicamente viable, es la instalación de termostatos programables, los cuales son termostatos que permiten una configuración personalizada de la temperatura. La idea consiste en mantener temperaturas más

elevadas durante horas de alta ganancia de calor solar y baja ocupación (tal como durante la hora del almuerzo). Además, dependiendo de las condiciones de cada edificación, se puede optimizar las temperaturas de acuerdo a las temporadas, tipos de espacios, etc. Los termostatos programables son relativamente baratos y su recuperación de inversión es rápida.

Otra alternativa de ahorro consiste en mejorar las estrategias de operación utilizando variadores de frecuencia. Un variador de frecuencia permite variar la velocidad de operación de un motor mediante la variación de su frecuencia de operación. La velocidad del motor se puede ajustar a la necesidad y con ello se reduce el consumo de energía. Las posibilidades de aplicación de variadores de frecuencia en sistemas de aire acondicionado incluyen: compresores centrífugos, ventiladores de manejadoras de volumen de aire, bombas de agua helada de sistemas tipo chiller y ventiladores en torres de enfriamiento.

1.5.2 Rendimiento del equipo.

Entre las medidas de mejora de la eficiencia energética en sistemas de aire acondicionado, relacionadas a la mejora del rendimiento del equipo, se pueden mencionar:

- Sustitución del equipo
- Mantenimiento
- Mejoras al ciclo de refrigeración

Sustitución del equipo

La sustitución del equipo es una medida muy rentable cuando se observan las siguientes condiciones:

- El equipo es de baja eficiencia
- La eficiencia del equipo se encuentra degradada por antigüedad y/o daños sufridos.
- El equipo es de uso intensivo

En algunos casos, con la presencia de una sola de estas condiciones es suficiente para justificar la sustitución del equipo. Se recomienda realizar una auditoría energética a modo de determinar la factibilidad de esta medida para su instalación.

Mantenimiento

Un mantenimiento adecuado es fundamental para garantizar la alta eficiencia energética de los sistemas de aire acondicionado. Se recomienda implementar planes de mantenimiento preventivo y predictivo que incluyan las siguientes acciones:



(Figura 6: Tipos de mantenimiento)

Mejoras al ciclo de refrigeración:

Otra alternativa para mejorar el desempeño, bajo ciertas condiciones, consiste en lograr mejoras en el ciclo de refrigeración mediante:

- Utilización de refrigerantes de más alto desempeño
- Instalación de turbuladores que propicien un mejor arrastre del aceite lubricante en el evaporador.
- Instalación de intercambiadores de calor que produzcan un subenfriamiento del líquido al evaporador.

1.5.3 Disminución de Ganancias de Calor.

El aire acondicionado debe su consumo energético a dos factores: la ganancia de calor a través de la envolvente (paredes, vidrios, techos) y la ganancia de calor generado por equipos y personas. Si se logra reducir dichas ganancias, se reducirá el consumo de energía del aire acondicionado.

Medidas recomendadas:

- Colocar materiales aislantes en muros y techos
- Aplicar acabados reflectivos en muros y techos
- Instalar cortinas en puertas y ventanas de vidrio
- Instalar elementos que produzcan sombra en puertas y ventanas
- Instalar dobles puertas o cortinas de aire en accesos de alto tránsito
- Sellar hendiduras por donde se tengan infiltraciones

De las medidas recomendadas anteriormente, las más convenientes son la instalación de elementos de sombra (aleros, quiebrasoles), pues impiden que el sol incida directamente sobre la envolvente del edificio. La opción de cortinas es menos eficiente que la de elementos de sombra, pues una cortina simplemente retarda el calentamiento, ya que el material de la cortina está adentro del edificio y se calienta con el sol, lo cual a su vez producirá que el aire circundante se caliente (AES).

1.6. Características de los proyectos de eficiencia energética en sistemas de aire acondicionado.

Para realizar un proyecto de eficiencia energética en un sistema de aire acondicionado es importante determinar la siguiente información:

1. Identificar la situación actual de la instalación.
 - a. Tipo de tecnologías existentes.
 - b. Eficiencia de los equipos actuales medido como EER o COP.
2. Analizar posibilidades de mejora.
 - a. Potencial de ahorro energético.
 - b. Potencial de ahorros en mantenimiento.
3. Proponer soluciones de renovación.
 - a. Mantenimiento de equipos actuales.
 - b. Renovación de equipos.
 - c. Renovación de equipos y automatización.

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:

- I. La eficiencia energética del sistema actual, se compara con los coeficientes de REE, kW/TR o el COP.
- II. Uso de la instalación (horas de operación diaria) y aprovechamiento del acondicionamiento natural (free cooling).
- III. Mantenimiento (limpieza, cambio de filtros, sustitución de partes).

1.6.1 Línea de base energética e información del nuevo proyecto.

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:

$$\text{Consumo} = \text{Capacidad} \times \frac{\text{Horas de operación}}{\text{Año}} \times \frac{1}{\text{REE} * 1000}$$

Donde

Consumo=kWh/año

Capacidad=W

Horas de operación al año=h/año

REE=W/W

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

- (i) su capacidad nominal, que se encuentra en la placa de los aires
- (ii) la eficiencia, que se puede encontrar en el manual o ficha técnica.

1.6.2 Potencial de ahorro energético y reducción de emisiones de GEI.

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 equipos.

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 siguiente:

Parámetro	Unidad	Fuente/Formula	Parámetro	Unidad	Fuente / Fórmula
A. Capacidad nominal del sistema actual.	TR	Datos de placa de los equipos.	H. Inversión en el nuevo sistema de aire acondicionado.	USD	Dato de inversión del proyecto.
B. Eficiencia del sistema actual.	EER*	Ficha técnica de los equipos actuales.	I. Precio de la energía eléctrica.	USD/kWh	Factura eléctrica de la instalación.
C. Horas de operación promedio por año.	h/año	Datos de la instalación.	J. Ahorro de energía anual.	kWh/año	D – G.
D. Consumo de energía del sistema actual.	kWh/año	$A*(12/B)*C$.	K. Ahorro económico anual.	USD/año	J * I.
E. Capacidad nominal del nuevo sistema.	TR	Ficha técnica de los equipos nuevos.	L. Período de retorno simple.	Años	H/K.
F. Eficiencia del nuevo sistema.	EER*	Ficha técnica de los equipos nuevos.	M. Factor de emisión.	Kg CO ₂ /kWh	EIA o IPCC.
G. Consumo de energía del nuevo sistema.	kWh/año	$E*(12/F)*C$.	N. Reducción de emisiones de GEI.	Kg CO ₂ /año	J*M.

(Tabla 2. Información mínima requerida para evaluar un proyecto de sustitución de aire acondicionado).

La reducción de emisiones de GEI se calcula teniendo en cuenta al factor de emisión de la energía eléctrica que se consume en el sistema de aire acondicionado (AA). En caso que se use energía de la red eléctrica, el factor de

emisión se puede obtener de la base de datos de Agencia Internacional de Energía(Agencia Internacional de Energia).

Si la energía que consume el sistema de aire acondicionado es autogenerada o cogenerada, el factor de emisión deberá calcularse para el caso específico.

1.6.3 Descripción de la tecnología.

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 busca establecer rangos de costos y eficiencia aproximados para ser usados como valores de referencia.

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.

Tipo de sistema de aire acondicionado	Rango de eficiencia (EER)	Rango de capacidad (TR)	Inversión promedio (USD/TR)
Ventana.	7,5 - 10	0,5 - 2	600
Mini split.	10 - 16	0,5 - 4	1.200
Unidades paquete.	9 - 13	3 - 50	1.150
Chiller condensado por agua.	12 - 24	30 – 2.700	1.200
Chiller enfriado por aire.	9 - 13	10 - 550	1.200
Sistemas centrales de refrigerante variable (VRF).	15 -24	3 - 40	2.500

Tabla 3. Costos de inversión aproximados en proyectos de AA (Universidad Tecnológica de Pereira, 2020).

1.6.4 Criterios de elegibilidad.

Los proyectos de eficiencia energética en sistemas de AA tienen potenciales de reducción de consumo de energía entre el 20% y el 40% en condiciones normales de operación. Al ser sistemas que reducen el consumo de energía de la red en la mayoría de los casos, los potenciales de reducción de emisiones de GEI son de la misma proporción que los de reducción de consumo.

Como criterio general de elegibilidad ambiental del proyecto, se recomienda que la reducción de emisiones de GEI sea mayor al 20% con respecto a la línea de base establecida.

Para proyectos nuevos, la elegibilidad se puede establecer teniendo en cuenta que, si se hace una inversión en un nuevo proyecto con sistemas de AA de alta eficiencia en lugar de tener sistemas de tecnología tradicional, el ahorro de energía comparado con una inversión en sistemas de AA con eficiencias estándar puede ser de más del 15% en condiciones normales de operación.

En la estructuración financiera de estos proyectos se debe considerar la posibilidad de otorgar períodos de gracia en caso de que los equipos sean importados; así mismo, el plazo del crédito debería ser mayor o igual al período de retorno simple de la inversión. Normalmente los proyectos de eficiencia energética en AA tienen tiempos de retorno simple entre 3 y 6 años dependiendo del costo de la energía eléctrica del país donde se ejecute el proyecto (CAF Banco de desarrollo de América Latina, 2020).

1.6.5 Monitoreo, reporte y verificación del proyecto.

El monitoreo de un proyecto de eficiencia energética en aire acondicionado puede hacerse de varias maneras:

Monitoreo continuo: Instalación de medidores de energía en el centro de control del sistema de AA de tal forma que es posible monitorear el consumo y la operación de equipos de gran potencia de enfriamiento.

Monitoreo puntual: En el caso de AA de baja capacidad, lo que se acostumbra es hacer una medición de voltaje y corriente, en condiciones de operación normales y calcular el consumo de acuerdo con las horas de operación del AA.

Los indicadores de monitoreo y verificación que se pueden utilizar para el reporte son el consumo de energía en kWh/año y la reducción de emisiones de GEI expresada en Ton CO₂/año.

El valor de la reducción de emisiones de GEI se calcula teniendo en cuenta el origen de la energía eléctrica con la que opera el AA. Para sistemas conectados a la red, se usa el factor de emisión del país respectivo y para sistemas que cuentan con autogeneración, se debe usar el factor de emisión de acuerdo a la tecnología de generación que se utilice.

La verificación del proyecto se puede hacer mediante el reporte de emisiones de GEI anuales calculadas como se expone arriba. Si el proyecto de AA tiene una eficiencia suficientemente alta, tendrá una reducción de emisiones superior al 20% con respecto a la situación en la que no se implementa el proyecto (UCATEE, 2020).

1.7 Conclusiones parciales:

1. Los equipos de climatización tipo ventana y split clasifican como sistemas autónomos, de expansión directa y son ampliamente utilizados en el sector doméstico, comercial y de servicios. Debido al gran número de unidades en servicio representan una fracción considerable del consumo energético nacional.
2. La normativa cubana establece como parámetro de eficiencia energética que deben garantizar las máquinas y aparatos de aire acondicionado, la Relación de Eficiencia Energética o Coeficiente de Rendimiento Energético (EER) y define valores mínimos a cumplir en función de su tipo y capacidad frigorífica.
3. La determinación del potencial de ahorro de energía y de reducción de emisiones de GEI resultan los objetivos fundamentales de los proyectos de eficiencia energética en equipos de aire acondicionado, aspectos que deben incluirse en la política energética de toda organización que implemente la NC ISO 50001:2018.
4. Para el desarrollo de proyectos de eficiencia energética en equipos de aire acondicionado se requiere recopilar información acerca de la eficiencia energética del sistema actual, las características de uso de la instalación (horas de operación diaria, aprovechamiento del acondicionamiento natural, etc.) y las prácticas de mantenimiento empleadas (limpieza, cambio de filtros, sustitución de partes), cuestiones que debe garantizar toda metodología de inspección o verificación a utilizar.

CAPÍTULO 2: Metodología para la inspección energética de equipos de aire acondicionado tipo ventana y split.

La revisión energética de equipos de aire acondicionado tipo ventana y split requiere una detallada metodología para su inspección energética, que permita cumplimentar los requisitos establecidos en la NC ISO 50001:2018, cuestión que se desarrolla en este capítulo.

La metodología en cuestión consta de 3 etapas fundamentales:

1. Recolección de información técnica y datos de operación del sistema o equipo.
2. Evaluación de eficiencia energética del sistema o equipo y de sus prestaciones.
3. Identificación de las potenciales de ahorro y emisiones de GEI.

2.1. Recolección de información técnica y datos de operación del sistema o equipo.

Para el desarrollo de esta etapa se propone inicialmente el completamiento de la ficha 1. Esta ficha permite la recopilación de la información técnica de los equipos a inspeccionar, registrando datos como:

- No consecutivo
- Ubicación
- Función (confort/tecnológico)
- Tipo de equipo (ventana o split)
- Fabricante
- Capacidad frigorífica, kW (TR o BTU/h)
- Gas refrigerante utilizado
- Dimensiones del espacio a climatizar, m (Largo x ancho x alto)
- Fecha de instalación
- Estado técnico (Bien, regular, mal)

Ficha 1.

No	Ubicación	Función	Tipo de equipo	Fabricante	Capacidad (W)	Gas Refrigerante	Dimensiones espacio Climatizado (m)	Fecha instalación	Estado técnico

Para los datos de operación del sistema se propone la ficha 2, con las mediciones necesarias para evaluar el flujo de aire climatizado y la capacidad de refrigeración.

- Área frontal del evaporador, m^2
- Velocidad del aire a la salida del evaporador, m/s
- Temperatura y humedad relativa del aire a la entrada y salida del evaporador, °C y %

- Potencia consumida por el equipo, W

Ficha 2

No	Área frontal evaporador (m ²)	Velocidad aire (m/s)	Temp. aire entrada evaporador (°C)	Temp. aire salida evaporador (°C)	Humedad Relativa entrada evaporador (%)	Humedad Relativa salida evaporador (%)	Potencia consumida (W)

En el caso de los equipos tipo split también se recopilan los siguientes datos en la ficha 3, que corresponden a datos termodinámicos del ciclo de compresión de vapor característico de cada equipo:

- Presión del refrigerante a la entrada y salida del compresor
- Temperatura del refrigerante a la entrada y salida del evaporador
- Temperatura del refrigerante a la entrada y salida del condensador

Ficha 3.

No	Presión succión compresor (KPa)	Presión descarga compresor (KPa)	Temp. entrada evaporador (°C)	Temp. succión compresor (°C)	Temp. descarga compresor (°C)	Temp. descarga condensador (°C)	Potencia consumida (W)

2.1.1. Equipos e instrumentos de medición necesarios.

Termómetros: da con un nivel alto de certidumbre la temperatura de las diferentes partes del sistema de refrigeración (Figura 7).



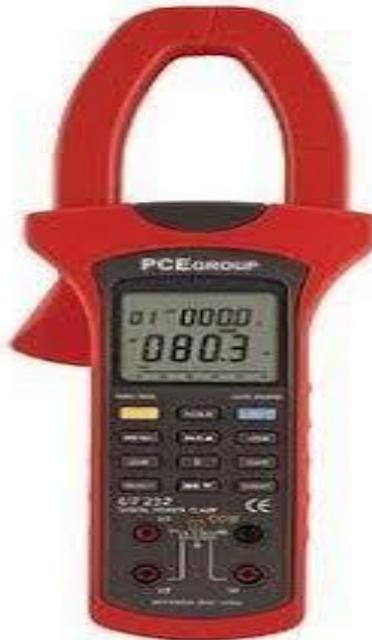
(Figura 7: Termómetro digitales)

Anemómetro: Instrumento para medir la velocidad de circulación de un fluido gaseoso, en especial del aire (Figura 8).



(Figura 8: anemómetro)

Vatímetro: es un instrumento de medida de tipo electrodinámico que permite realizar la medición de potencia eléctrica o la tasa de suministro de energía eléctrica un circuito eléctrico (Figura 9).



(Figura 9: Vatímetro)

Amperímetro: Instrumento para medir la intensidad de una corriente eléctrica (Figura 10).



(Figura 10: Amperímetro digital)

Manómetros de refrigeración: Una de las herramientas fundamentales del Técnico en Refrigeración es el Juego de Manómetros. Si efectuamos el registro adecuado de la presión de descarga y presión de aspiración, podemos elaborar la hoja de ruta para diagnosticar rápidamente si el sistema funciona correctamente o, por el contrario, nos da la indicación de una falla en el equipo (Figura 11).



(Figura 11: Manómetros de refrigeración)

Esta herramienta especializada se compone de 2 manómetros y sus características son las siguientes:

Manómetro azul: Está diseñado para medir la presión de succión o aspiración del compresor. En su escala, del cero hacia arriba mide presión por encima de la atmosférica y del cero hacia abajo mide vacío, es decir, presiones por debajo de la atmosférica. Su rango de medición es de cero a 250 PSIG y de cero hasta 29,92" de Hg. Igualmente dispone de sus equivalencias correspondientes en Kg/cm² y mm de Hg.

Manómetro rojo: Diseñado para medir las presiones de descarga del compresor. Su rango es de cero hasta 500 PSIG (libras por pulgada cuadrada manométricas). Igualmente pueden leerse las presiones en el sistema decimal de cero a 35 Kg./cm².

Mangueras: Estos instrumentos sin importar la marca, vienen acompañados de 3 mangueras (especialmente diseñadas) de color azul, rojo y amarillo, con el fin de adquirir la disciplina de conectarlas así:

Azul: Del puerto de servicio de la válvula de succión del compresor al manómetro de Baja presión.

Roja: Del puerto de servicio de la válvula de descarga del compresor al manómetro de Alta Presión.

Amarilla: Se conecta al racor central del juego de manómetros y se emplea para efectuar todos los servicios requeridos por el sistema: efectuar vacío, presurizar con Nitrógeno, inyectar refrigerante, etc.

Válvulas: Cada uno de los manómetros viene provisto de una válvula, cuya función es la de abrir el paso hacia o desde el racor de servicio (racor central). Cuando se van a conectar las mangueras a los respectivos manómetros las válvulas deben estar cerradas para impedir escapes hacia el racor de servicio.

2.3. Metodología para la evaluación de eficiencia energética del sistema o equipo y de sus prestaciones.

2.3.1. Método general.

Este método permite la evaluación de la capacidad frigorífica de enfriamiento de los equipos en condiciones reales de explotación, la determinación de la Relación de Eficiencia Energética o Coeficiente de Rendimiento Energético (REE), el potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de GEI.

Para ello se propone el siguiente procedimiento(Vega Pousada, 2015).

Paso 1: Determinar la velocidad promedio (v_{prom}) de entrada del aire del local hacia el equipo acondicionador. Para hallarla se miden las dimensiones de la sección de entrada de aire de la unidad interior ($b \times h$) y la velocidad en m/s. Utilizando el anemómetro se realizaron varias mediciones determinándose que la velocidad promedio para los cálculos.

Paso 2: Calcular el flujo másico de aire que atraviesa el evaporador (masa de aire que maneja el ventilador interior). Este parámetro se determina a través de la siguiente expresión:

$$M = 3600 * A * v_{prom} * \rho$$

Donde:

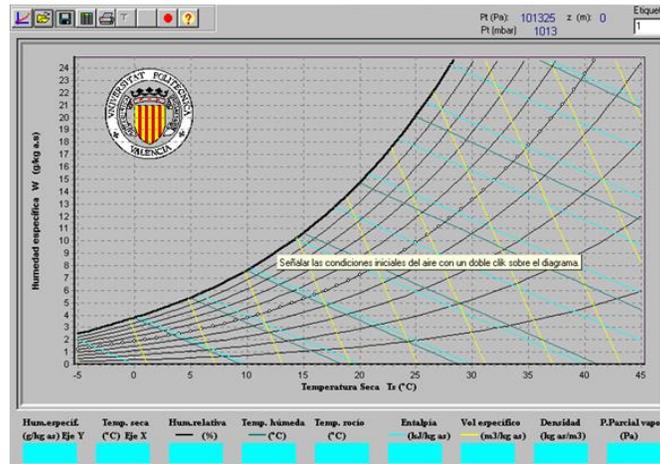
M: Flujo másico de aire que maneja el equipo [Kg/h].

A: Sección a través de la cual fluye el aire (rejilla) [m^2].

ρ : Densidad del aire a Temperatura y presión normal. (1.18 Kg/ m^3)

Paso 3: Cálculo de las entalpías del aire

A partir de las lecturas obtenidas de temperatura de bulbo seco y humedad relativa del aire a la entrada y salida del evaporador pueden obtenerse las entalpías a través del diagrama psicrométrico. Como alternativa se propone el software Psicro Versión 1.5.1 que permite obtener resultados mucho más exactos en el cálculo de las entalpías (Figura 12) (Domingo Cañas).



(Figura 12: Ventana de Psicro)

Paso 4: Determinación de la capacidad de enfriamiento real del equipo.

Finalmente, la capacidad de enfriamiento real del equipo se calcula por la siguiente expresión:

$$Q = M * (h_I - h_{II})$$

Donde:

Q: Capacidad de enfriamiento real [Kcal/h].

M: Masa de aire que maneja el equipo en [Kg/h].

h1 y h2: entalpía del aire en los puntos de entrada y salida [KJ/kg]

Paso 5: Comparación de la capacidad frigorífica real y la de diseño.

Se comparan los valores de capacidad frigorífica real obtenidos a través de las mediciones con el dato de diseño del equipo, determinándose las posibles desviaciones en las prestaciones del equipo.

$$\Delta Q = \text{Capacidad frigorífica calculada} - \text{Capacidad frigorífica de diseño}$$

Paso 6: Determinación de la Relación de Eficiencia Energética o Coeficiente de Rendimiento Energético (REE).

$$REE_{\text{Real}} = \text{Capacidad de climatización}_{\text{Real}} / \text{Potencia}_{\text{Real}}$$

Paso 7: Comparación de la REE real con los valores normados o de diseño.

Se comparan los valores de la REE real obtenidos a través de las mediciones con el valor establecido en la legislación cubana en función del tipo de equipo y su capacidad nominal. A partir de esta comparación es posible determinar las posibles desviaciones en las prestaciones del equipo, así como el potencial de ahorro energético posible.

$$\Delta REE = REE_{\text{Calculado}} - REE_{\text{Normado}}$$

Paso 8: Determinación del Indicador de Desempeño Energético y la Línea Energética Base.

Para la línea energética base se propone como Indicador de Desempeño Energético el consumo energético anual (kWh/año). Se determina teniendo en cuenta la capacidad del equipo en las condiciones actuales, la eficiencia y las horas de operación del aire, calculando el consumo de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo}_{\text{anual}} = \frac{\text{Capacidad frigorífica} \times \text{Horas de operación anuales}}{1000 \times REE}$$

Paso 9: Determinar potencial de ahorro energético y reducción de emisiones de GEI.

El potencial de ahorro energético (kWh/año) se calcula a partir de la diferencia del consumo energético del sistema actual y el que tendría cuando su REE correspondiera al valor normado:

$$\text{Potencial de ahorro} = \text{Consumo real} - \text{Consumo normado}$$

La reducción de emisiones de GEI (ton CO₂ equivalente/año) se obtendría como:

$$\text{Reducción de emisiones de GEI} = \text{Potencial de ahorro} \times \text{Factor de emisiones}$$

Como puede apreciarse este procedimiento no utiliza la evaluación del ciclo de refrigeración que siguen los equipos de aire acondicionado a partir de sus parámetros termodinámicos, sino la determinación de su capacidad frigorífica a partir del flujo másico de aire enfriado entregado por el equipo. Se recomienda

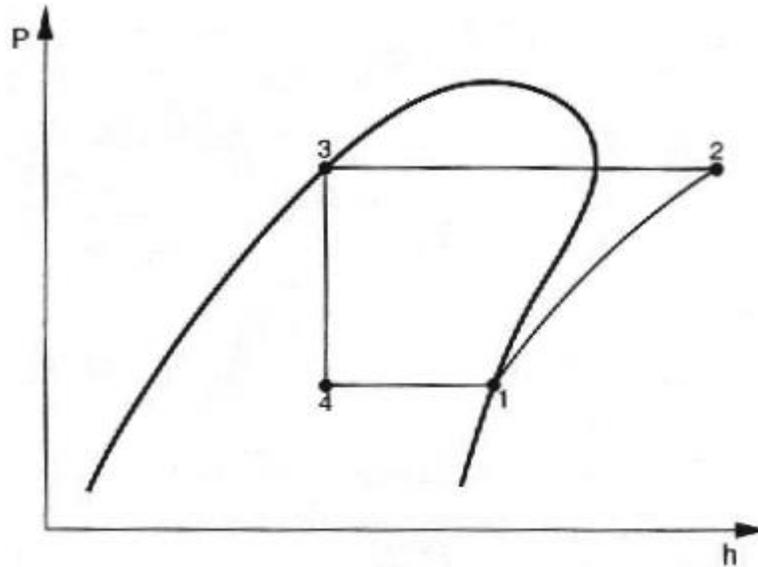
fundamentalmente para los equipos de acondicionamiento de aire tipo ventana, que habitualmente no disponen de puertos para el acceso a los conductos del refrigerante y la conexión de los manómetros.

Para el caso de los equipos tipo split, además de esta evaluación puede realizarse otra, basada en el análisis del ciclo de refrigeración por compresión de vapor, tal y como se explica a continuación.

2.3.2. Método específico de evaluación de la eficiencia energética para los equipos tipo split.

Este método se fundamenta en la evaluación del ciclo termodinámico de compresión de vapor que siguen estas unidades. El ciclo estándar de compresión de vapor se muestra en la Figura 13 y comprende los siguientes procesos:

- 1-2 Compresión adiabática y reversible, desde la condición de vapor saturado hasta la presión del condensador.
- 2-3 Cesión reversible de calor a presión constante en la zona de recalentamiento y posterior condensación.
- 3-4 Expansión reversible a entalpía constante desde líquido saturado hasta la presión del evaporador.
- 4-1 Adición reversible de calor a presión constante durante la evaporación del vapor saturado.



(Figura 13: Representación del ciclo ideal de compresión de vapor)

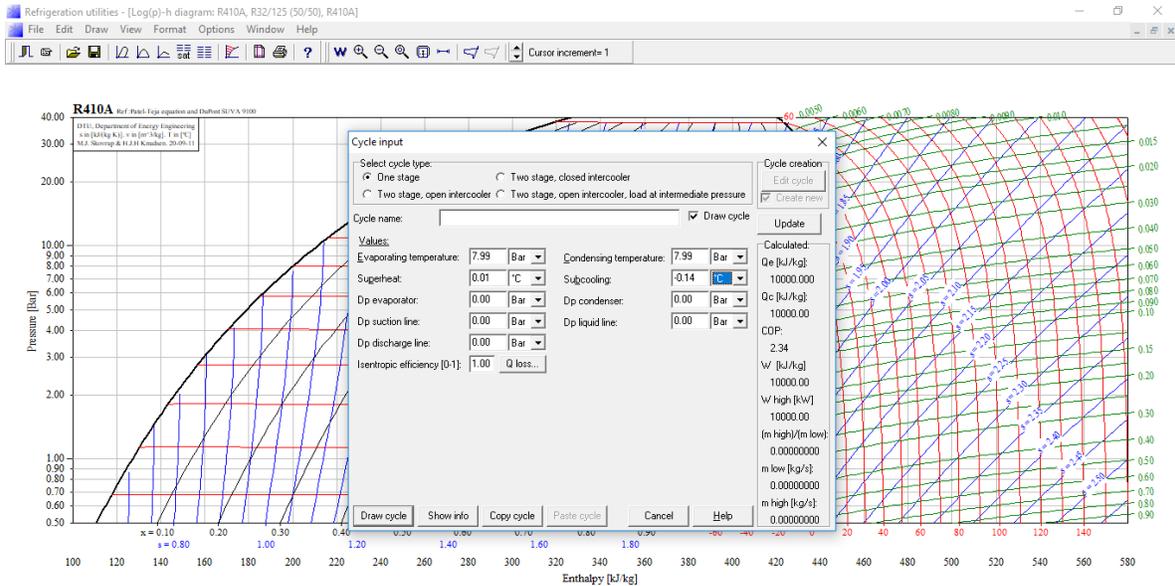
Para el estudio de este ciclo, se debe hacer referencia obligada a su representación en el diagrama Presión-Entalpía (P vs. h), la que constituye una herramienta fundamental del técnico frigorista.

El ciclo real de compresión de vapor no es exactamente igual al ciclo estándar, en la práctica ocurren los siguientes cambios fundamentales:

- a) Sobrecalentamiento del vapor en la succión del compresor.
- b) Subenfriamiento del líquido a la salida del condensador.
- c) Caída de presión del refrigerante al circular por las líneas.

A partir de las mediciones recogidas en la ficha No. 3 se procede del modo siguiente:

Paso 1: Cálculo de las entalpías del refrigerante en los puntos característicos del ciclo. Se propone la utilización del software CoolPack (Figura 14).



(Figura 14: CoolPack)

Paso 2: Obtención del flujo de refrigerante a partir de los datos del fabricante.

Paso 3: Determinación de la capacidad de refrigeración $Q(W)$. Igualmente se propone la utilización del software CoolPack.

$$Q = m \times (h_1 - h_4)$$

Donde

m : Flujo másico del refrigerante

h_1 : Entalpía a la salida del evaporador

h_4 : Entalpía a la entrada del evaporador

A partir de este punto se repiten los pasos establecidos en el método general descrito anteriormente.

2.4 Conclusiones parciales

1. La metodología propuesta permite la evaluación de eficiencia energética del sistema o equipo (según sus características y equipamiento de medición disponible) así como la identificación de las potenciales de ahorro y emisiones de GEI.
2. Se propone como indicador de desempeño energético de estos equipos el consumo energético anual. A partir de estos datos es posible determinar la línea energética base y meta que utilizan los sistemas de gestión energético basados en la NC ISO 50001:2018.

3. Para los equipos tipo split se propone un método específico basado en la evaluación del ciclo de compresión de vapor basados en la disponibilidad de la instrumentación necesaria.
4. Se desarrolló aplicación en Excel para la realización de los cálculos necesarios en cada método.

Capítulo III: Estudio de caso en EMCE UEB Cienfuegos.

3.1. Descripción de la instalación.

La Empresa de Mantenimiento a Centrales Eléctricas de Cienfuegos EMCE UEB Cienfuegos tiene su sede en La Habana y se dedica al montaje, mantenimiento y reparación de centrales y subestaciones eléctricas. Se encuentra situada en la carretera de O´Bourke KM 2^{1/2} # 1016 (Figura 15).

La edificación consta de una estructura alargada, con techos de metal y falso techos en el interior de las oficinas y salones. Recibe la incidencia del sol en la mayoría de las oficinas lo cual contribuye a la carga térmica. La temperatura promedio anual es de 28°C y la humedad relativa de 70%



(Figura 15: Vista satelital de la instalación)

Los vidrios opalescentes de las ventanas de dejan pasar la luz solar, aunque cómo es posible apreciar en el plano, solo en la pared. Este incide sobre ellos la luz del sol directamente. Esto permite aprovechar la luz natural sin provocar niveles de calentamiento importante en el interior de los mismos. A pesar de ello estas ventanas poseen cortinas interiores para evitar el calentamiento excesivo. Estas condiciones de aislamiento pueden significar ahorros de 15% a 20%.

La actividad que se desarrolla en estos locales es el trabajo en computadoras, lo que conlleva la presencia de ordenadores. En las oficinas como promedio existen de 3 a 4 ordenadores, un refrigerador y lámparas led de 9W y 18W. En las habitaciones existen refrigeradores, televisores y cuatro personas por habitación y en los salones la mayor carga es la estancia de personas y la infiltración de aire por la puerta de entrada y salida, pero estos solo se utilizan por cortos períodos de tiempo.

Todos los equipos según la administración de la empresa están instalados en correspondencia con su carga térmica.

3.2. Resultados de la inspección.

La tabla siguiente muestra el inventario de equipos de climatización presentes en la empresa y sus características fundamentales.

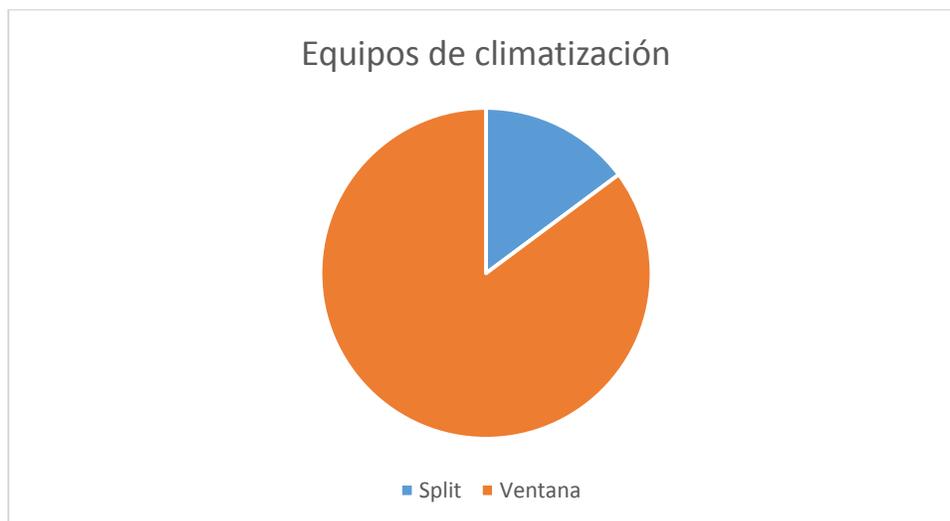
No	Ubicación	Función	Tipo de equipo	Fabricante	Capacidad (Watt)	Gas Refrigerante	Volumen a refrigerar (m ³)	Fecha instalación	Estado técnico
1	Oficina de sistema	Confort	Ventana	Airwell	7030	R-410a	54	2016	Bien
2	Salón de reuniones	Confort	Ventana	Airwell	7030	R-410a	72	2016	Bien
3	Oficina de calderas	Confort	Ventana	Airwell	7030	R-410a	108	2016	Bien
4	Oficina de economía	Confort	Ventana	Airwell	7030	R-410a	72	2016	Bien
5	Oficina de JB apoyo	Confort	Ventana	Airwell	7030	R-410a	36	2016	Bien
6	Oficina de OTS	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	36	2016	Bien
7	Oficina de CM	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
8	Oficina de transporte	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
9	Oficina de carpetera	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	67	2016	Bien
10	Habitación 1	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
11	Habitación 2	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
12	Habitación 3	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
13	Habitación 4	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
14	Habitación 5	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
15	Habitación 6	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
16	Habitación 7	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
17	Habitación	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien

	8								
18	Habitación 9	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
19	Habitación 10	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
20	Habitación 11	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
21	Habitación 12	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
22	Habitación 13	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
23	Habitación 14	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
24	Habitación 15	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
25	Habitación 16	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
26	Habitación 17	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
27	Habitación 18	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
28	Habitación 19	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
29	Habitación 20	Confort	Ventana	Daytron	3517	R-410a	54	2016	Bien
30	Oficina de Prog y Cont	Tecnológica	Ventana	Gree	3517	R-410a	36	2016	Bien
31	Servidor de redes	Confort	Ventana	Gree	3517	R-410a	54	2016	Bien
32	Oficina de RRHH	Confort	Ventana	Gree	3517	R-22	48	2004	Regular
33	Oficina del director	Confort	Ventana	Gree	3517	R-22	54	2004	Regular
34	Oficina de Jefe de NT	Confort	Ventana	Gree	3517	R-22	36	2004	Regular
35	Oficina de Tec de NT	Confort	Ventana	Gree	3517	R-22	36	2004	Regular
36	Oficina de calderas	Confort	Ventana	Samsung	3517	R-22	54	2004	Regular
37	Oficina de Serv. Gen.	Confort	Ventana	Samsung	3517	R-22	36	2004	Regular
38	Oficina de seg y prot	Confort	Ventana	Samsung	3517	R-22	24	2004	Regular
39	Secretaría del Director	Confort	Ventana	LG Gold	2491	R-22	27	2004	Regular
40	Oficina de Jefe de cal	Confort	Ventana	LG Gold	2491	R-22	36	2004	Regular
41	Oficina del jurídico	Confort	Ventana	LG Gold	2491	R-22	36	2004	Regular
42	Oficina de electrome	Confort	Ventana	LG Gold	1758	R-22	72	2004	Regular

	c.								
43	Oficina de jefe de elec	Confort	Ventana	LG Gold	1758	R-22	27	2004	Regular
44	Oficina de jefe de RH	Confort	Ventana	LG Gold	1758	R-22	48	2004	Regular
45	Oficina de Seg Inf	Confort	Ventana	LG Gold	1758	R-22	27	2004	Regular
46	Oficina de jefe de SyP	Confort	Ventana	LG Gold	1758	R-22	12	2004	Regular
47	Sala de juegos	Confort	Split	Lennox	14067	R-410a	150	2016	Bien
48		Confort	Split	Lennox	14067	R-410a	150	2016	Bien
49	Comedor	Confort	Split	Lennox	14067	R-410a	300	2016	Bien
50	Teatro	Confort	Split	Lennox	14067	R-410a	200	2016	Bien
51		Confort	Split	Lennox	14067	R-410a	200	2016	Bien
52		Confort	Split	Lennox	14067	R-410a	200	2016	Bien
53		Confort	Split	Lennox	14067	R-410a	200	2016	Bien
54		Confort	Split	Lennox	14067	R-410a	200	2016	Bien

(Tabla 4: Tabla de datos de los equipos)

Del total de 54 equipos existentes, 8 son tipo split y el resto de ventana; Gráfico 1:



(Gráfico 1: Equipos de climatización)

Por su función la inmensa mayoría son de confort, solo el ubicado en el local del servidor clasifica como tecnológico.

Siguiendo la metodología propuesta se obtuvieron los siguientes resultados.

Resultados Método general:

Metodo General												
Potencia de chapa	Flujo masico de aire	Capacidad frigorifica	Capacidad frigorifica calculada	Capacidad frigorifica de diseño	Diferencia de capacidad frigorifica	REE calculado	REE normado	Diferencia de EER	IDEn base	IDEn meta	Potencial ahorro	Potencial reduccion GEI
P (W)	M (kg/h)	Q (kcal/h)	Q (W)	Q (W)	ΔQ (W)	W/W	W/W	W/W	kWh/año	kWh/año	kWh/año	kg CO2/año
2340	694.7	5974.5	6943.6	7030.0	-86.4	2.8	3.0	-0.2	5765.8	5353.9	411.84	374.77
2340	669.0	5485.7	6375.4	7030.0	-654.6	2.5	3.0	-0.5	5752.0	5353.9	398.11	362.28
2340	694.7	5905.1	6862.9	7030.0	-167.1	2.7	3.0	-0.3	5774.9	5353.9	420.99	383.10
2340	694.7	5974.5	6943.6	7030.0	-86.4	2.8	3.0	-0.2	5754.3	5353.9	400.40	364.36
2340	720.4	6051.7	7033.3	7030.0	3.3	2.8	3.0	-0.2	5765.8	5353.9	411.84	374.77
1160	358.6	2797.2	3250.9	3517.0	-266.1	2.3	3.0	-0.7	3235.2	2654.1	581.15	528.85
1160	375.7	2892.8	3362.1	3517.0	-154.9	2.4	3.0	-0.6	3178.0	2654.1	523.95	476.80
1160	358.6	2582.0	3000.8	3517.0	-516.2	2.1	3.0	-0.9	3244.4	2654.1	590.30	537.18
1160	358.6	2761.3	3209.2	3517.0	-307.8	2.3	3.0	-0.8	3235.2	2654.1	581.15	528.85
1160	358.6	2725.5	3167.6	3517.0	-349.4	2.2	3.0	-0.8	3232.9	2654.1	578.86	526.77
1160	358.6	2653.8	3084.2	3517.0	-432.8	2.3	3.0	-0.8	3093.4	2654.1	439.30	399.76
1160	375.7	3005.5	3493.0	3517.0	-24.0	2.4	3.0	-0.6	3276.4	2654.1	622.34	566.33
1160	392.8	2867.2	3332.3	3517.0	-184.7	2.3	3.0	-0.7	3317.6	2654.1	663.52	603.80
1160	392.8	3063.6	3560.5	3517.0	43.5	2.5	3.0	-0.5	3237.5	2654.1	583.44	530.93
1160	392.8	2985.1	3469.2	3517.0	-47.8	2.5	3.0	-0.6	3239.8	2654.1	585.73	533.01
1160	358.6	2761.3	3209.2	3517.0	-307.8	2.3	3.0	-0.7	3194.0	2654.1	539.97	491.37
1160	358.6	2653.8	3084.2	3517.0	-432.8	2.2	3.0	-0.9	3276.4	2654.1	622.34	566.33
1160	358.6	2653.8	3084.2	3517.0	-432.8	2.1	3.0	-0.9	3306.2	2654.1	652.08	593.39
1160	358.6	2582.0	3000.8	3517.0	-516.2	2.1	3.0	-0.9	3249.0	2654.1	594.88	541.34
1160	358.6	2761.3	3209.2	3517.0	-307.8	2.6	3.0	-0.5	2878.3	2654.1	224.22	204.04
1160	341.5	2664.0	3096.1	3517.0	-420.9	2.1	3.0	-0.9	3351.9	2654.1	697.84	635.03
1160	358.6	2689.6	3125.9	3517.0	-391.1	2.3	3.0	-0.7	3120.8	2654.1	466.75	424.74
1160	375.7	2855.3	3318.4	3517.0	-198.6	2.3	3.0	-0.7	3239.8	2654.1	585.73	533.01
1160	392.8	3024.3	3514.9	3517.0	-2.1	2.5	3.0	-0.6	3278.7	2654.1	624.62	568.41
1160	409.8	3237.8	3763.0	3517.0	246.0	2.7	3.0	-0.4	3237.5	2654.1	583.44	530.93
1160	341.5	2459.1	2857.9	3517.0	-659.1	2.0	3.0	-1.0	3237.5	2654.1	583.44	530.93
1160	358.6	2582.0	3000.8	3517.0	-516.2	2.1	3.0	-0.9	3239.8	2654.1	585.73	533.01
1160	358.6	2761.3	3209.2	3517.0	-307.8	2.3	3.0	-0.8	3237.5	2654.1	583.44	530.93
1160	358.6	2366.9	2750.8	3517.0	-766.2	1.9	3.0	-1.1	3249.0	2654.1	594.88	541.34
1160	358.6	3048.2	3542.7	3517.0	25.7	3.0	3.0	-0.1	2743.3	2654.1	89.23	81.20
1160	375.7	3268.5	3798.7	3517.0	281.7	3.1	3.0	0.1	2759.3	2654.1	105.25	95.78
1390	445.4	3073.3	3571.8	3517.0	54.8	2.5	2.5	0.0	3249.0	3180.3	68.64	62.46
1390	445.4	3028.7	3520.0	3517.0	3.0	2.5	2.5	0.0	3207.8	3180.3	27.46	24.98
1390	475.1	3373.2	3920.3	3517.0	403.3	2.8	2.5	0.3	3191.8	3180.3	11.44	10.41
1390	445.4	3028.7	3520.0	3517.0	3.0	2.5	2.5	-0.1	3262.7	3180.3	82.37	74.95
1230	469.7	3006.4	3494.0	3517.0	-23.0	2.4	2.9	-0.5	3390.8	2814.2	576.58	524.68
1230	445.0	3204.1	3723.9	3517.0	206.9	3.0	2.9	0.2	2818.8	2814.2	4.58	4.16
1230	445.0	2937.1	3413.5	3517.0	-103.5	2.7	2.9	-0.1	2848.6	2814.2	34.32	31.23
810	299.1	1226.1	1425.0	2491.0	-1066.0	1.0	3.1	-2.1	3345.1	1853.3	1491.78	1357.52
810	299.1	1794.4	2085.4	2491.0	-405.6	1.5	3.1	-1.5	3098.0	1853.3	1244.67	1132.65
810	280.4	1626.1	1889.9	2491.0	-601.1	1.8	3.1	-1.3	2420.7	1853.3	567.42	516.36
560	258.3	1058.9	1230.7	1758.0	-527.3	1.3	3.1	-1.9	2196.5	1281.3	915.20	832.83
560	242.1	1356.0	1575.9	1758.0	-182.1	1.6	3.1	-1.6	2283.4	1281.3	1002.14	911.95
560	242.1	1452.8	1688.5	1758.0	-69.5	2.4	3.1	-0.7	1590.2	1281.3	308.88	281.08
560	242.1	1452.8	1688.5	1758.0	-69.5	1.3	3.1	-1.8	2901.2	1281.3	1619.90	1474.11
560	242.1	1331.7	1547.8	1758.0	-210.2	1.1	3.1	-2.0	3102.5	1281.3	1821.25	1657.34
4870	1435.8	11199.4	13016.0	14067.0	-1051.0	2.6	2.9	-0.3	11355.3	11142.6	212.78	193.63
4870	1435.8	11343.0	13182.8	14067.0	-884.2	2.7	2.9	-0.2	11330.2	11142.6	187.62	170.73
4870	1546.3	12215.5	14196.9	14067.0	129.9	2.9	2.9	0.0	11346.2	11142.6	203.63	185.31
4870	1546.3	11442.4	13298.4	14067.0	-768.6	2.8	2.9	-0.1	11000.7	11142.6	-141.86	-129.09
4870	1270.2	11304.4	13137.9	14067.0	-929.1	2.6	2.9	-0.3	11458.3	11142.6	315.74	287.33
4870	1435.8	11917.3	13850.3	14067.0	-216.7	2.9	2.9	0.0	11035.0	11142.6	-107.54	-97.86
4870	1380.6	10630.6	12354.9	14067.0	-1712.1	2.5	2.9	-0.4	11474.3	11142.6	331.76	301.90
4870	1546.3	10360.0	12040.4	14067.0	-2026.6	2.5	2.9	-0.4	11240.9	11142.6	98.38	89.53
											26803.92	24391.57

(Tabla 5: Resultados de los cálculos por método general)

Como se muestra en la tabla, para la mayoría de los equipos (43 de 54) se calcula una capacidad de refrigeración inferior a la de diseño, lo que es lógico debido a los años de explotación y las condiciones de mantenimiento.

En una reducida minoría (11 del total) la capacidad de refrigeración resulta superior al diseño, lo que puede ser debido a errores en la medición o condiciones de trabajo inestables.

Respecto a la razón de eficiencia energética para casi la totalidad de los equipos se calcula un valor inferior al de diseño, resultado esperado por las razones conocidas: años de explotación (algunos más de 15 años) e ineficiencias del mantenimiento.

El potencial de ahorro calculado asciende a un total de 26 803.90 kW/h año y la reducción de emisiones a 24 391,60 kg CO₂/año.

Resultados Método específico para split (Tabla 6):

Capacidad frigorífica		capacida d metodo 1	dif metodos	Capacida d frigorifica	Diferencia Capacidad	REE Calculado	REE normado	Diferencia REE	IDEn base	IDEn meta	Potencial ahorro	Potencial reduccion GEI
kJ/kg	W			W	W	W/W		W/W	kWh/año	kWh/año	kWh/año	kg CO2/año
163.83	13925.55	16184.3	2258.7	14067.00	-141.45	2.81	2.9	-0.08	11355.344	11142.56	212.78	193.63
163.20	13872.00	16122.0	2250.0	14067.00	-195	2.80	2.9	-0.09	11330.176	11142.56	187.62	170.73
161.60	13736.00	15964.0	2228.0	14067.00	-331	2.77	2.9	-0.12	11346.192	11142.56	203.63	185.31
167.20	14212.00	16517.2	2305.2	14067.00	145	2.96	2.9	0.07	11000.704	11142.56	-141.86	-129.09
161.90	13761.50	15993.6	2232.1	14067.00	-305.5	2.75	2.9	-0.14	11458.304	11142.56	315.74	287.33
162.80	13838.00	16082.5	2244.5	14067.00	-229	2.87	2.9	-0.02	11035.024	11142.56	-107.54	-97.86
163.20	13872.00	16122.0	2250.0	14067.00	-195	2.77	2.9	-0.12	11474.32	11142.56	331.76	301.90
167.80	14263.00	16576.5	2313.5	14067.00	196	2.90	2.9	0.01	11240.944	11142.56	98.38	89.53
											1100.53	1001.48

(Tabla 6: Resultados por el método específico)

Al comprobar los resultados de la capacidad frigorífica por ambos métodos (general y específico) se observa una diferencia promedio de 2260 W (0,5 TR), lo que equivale a un error promedio del 12 %.

En la tabla de resultados se evidencia existen pequeñas diferencias entre la relación de eficiencia energética para casi la totalidad de los equipos, lo que se explica porque son los equipos con menos años de explotación (4 años).

En función de ello se obtiene un potencial de ahorro total de 1100,53 kW/h año y la reducción de emisiones a 1001,48 kg CO₂/año.

3.3. Conclusiones parciales

1. La UEB EMCE Cienfuegos cuenta con un total de 54 equipos de climatización, de ellos 8 tipo Split y el resto de ventana, con un tiempo de explotación entre 4 y 16 años.
2. La razón de eficiencia energética calculada a partir de la metodología general propuesta resulta inferior a la de diseño para la mayoría de los equipos evaluados. A partir de ello se evalúa un potencial de ahorro de 26 803.90 kW/h año y una posible reducción de emisiones a 24 391,60 kg CO₂/año.
3. Al aplicar ambas metodologías propuestas para los equipos tipo Split se aprecia una diferencia promedio en la capacidad de refrigeración de 2260 W (0,5 TR), lo que equivale a un error promedio del 12 %.

Conclusiones Generales

1. Los equipos de aire acondicionado tipo ventana y split son responsables de una fracción considerable del consumo energético por climatización, por lo que proyectos de mejora de su eficiencia energética deben incluirse en la política energética de toda organización que implemente la NC ISO 50001:2018.
2. La metodología propuesta permite la evaluación de eficiencia energética del sistema o equipo (según sus características y equipamiento de medición disponible) así como la identificación de las potenciales de ahorro y emisiones de GEI, incluyendo el indicador de desempeño energético, la línea energética base y meta que utilizan los sistemas de gestión energética.
3. Se proponen dos métodos alternativos para la inspección energética: uno general a partir del cálculo de la capacidad frigorífica del lado del aire y otro específico para los equipos tipo split basado en la evaluación del ciclo de compresión de vapor.
4. Los resultados de la inspección energética a los equipos de climatización de la UEB EMCE Cienfuegos evidencian la utilidad de la metodología propuesta y permiten evaluar un potencial de ahorro por la sustitución de estos equipos ascendente a un total de 26 803.90 kW/h año y la reducción de emisiones de 24 391,60 kg CO₂/año.

Recomendaciones

1. Divulgar esta propuesta de metodología a la Oficina Nacional de Uso Racional de la Energía (ONURE) para su evaluación.
2. Diseñar sistema de vigilancia tecnológica acerca de las nuevas tecnologías o normativas de eficiencia energética de estos equipos.
3. Informar los resultados del estudio de caso al energético de la UEB EMCE Cienfuegos para su aplicación inmediata.

Bibliografía

- AES . (s.f.). *Manual de Eficiencia Energética Residencial y Comercial*. El Salvador.
- Agencia Internacional de Energía. (s.f.). Recuperado el 8 de 8 de 2020, de <http://www.iea.org/statistics/topics/co2emissions/>
- CAF Banco de desarrollo de América Latina. (2020). *Guía para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de Proyectos de Eiciencia Energética*.
- (s.f.). *Certificados energeticos*. Recuperado el 8 de 8 de 2020, de <http://certificadosenergeticosleon.com/2013/06/12/interpretacion-de-la-letra-en-la-etiqueta-de-eiciencia-energetica/>
- CONALEP. (s.f.). *Instalación de sistemas de refrigeración*.
- DIANSA. (2020). *Principales problemas de un aire acondicionado*. Recuperado de www.diansa.com
- Domingo Cañas, J. (s.f.). *Psicro MAP version Beta 3*. Recuperado de www.jhg.cl
- Domínguez, R. R. (2020). *Aire acondicionado - coeficientes de eficiencia energética*. Ingeniería Energética General. Recuperado de www.energianow.com
- Ecured. (s.f.). *Aire acondicionado*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Aire_acondicionado
- Editor CAF Banco de Desarrollo de América Latina. (s.f.). *Guía para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de Proyectos de Eiciencia Energética*.
- (2007). *Eficiencia energética - Equipos de aire acondicionado - Clasificación y etiquetado*. Chile.
- (2020). *Eficiencia energética para acondicionadores de aire sin ductos*. Ecuador.
- Frio Instalaciones S.A.C. (2004). *Mantenimiento preventivo-correctivo y preventivo de equipos de aire acondicionado*. Recuperado de www.frioinstalaciones.com
- Future air conditioning energy consumption in developing countries and what can be done about it: the potential of efficiency in the residential sector. (s.f.). Recuperado el 20 de 8 de 2020, de http://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2007/Panel_6/6.306/paper
- Interempresas. (2020). *La importancia del mantenimiento del aire acondicionado*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Instaladores/Articulos/204950-La-importancia-del-mantenimiento-del-aire-acondicionado.html>
- LG . (2019). *Manual de instalaciones*.
- Lopez, B. C. (2011). *Manual basico de sistemas de aire acondicionado*.
- Ministerio de Energía Chile. (2017). *Informe Técnico Estándar Mínimo de Eficiencia Energética Equipos de Aire Acondicionado*. División de Eficiencia Energética . Santiago de Chile .
- Ministerio de Justicia. (s.f.). *Gaceta Oficial 020 Extraordinaria de 22 de junio de 2009*. Cuba.
- Mundo Clima. (2020). *manual de aire acondicionado de ventana*.
- (2015). *NC 1072: 2015 Climatización industrial – Indicadores para el desempeño energético*. Cuba.
- (2015). *NC 1072: 2015 Climatización industrial – Indicadores para el desempeño energético*. Cuba.
- NC ISO 50001:2018. (2018). *Sistemas de gestión de la energía — requisitos con orientación para su uso*.

- (2020). *NOM-021-ENER/SCFI/ECOL*.
- Norma IRAM 62406:2007. (s.f.). *Eficiencia energética para equipos acondicionadores de aire*.
- (2016). *NORMA TÉCNICA DGNTI-COPANIT 509*.
- (2009). *Resolución No. 136/2009 del Ministerio de la Industria Básica*. Cuba.
- Rosasco ingenieros. (s.f.). *La importancia del aire acondicionado en la salud ocupacional*. Recuperado de http://www.rosascoingenieros.com/dnoticias.php?id_galfot=32
- Stoecker, W. F. (2008). *Refrigeración y aire acondicionado*. Felix Varela.
- Termosistemas. (2020). *Refrigeración y aire acondicionado, impacto sobre el medio ambiente*. Recuperado de www.termosistemas.com
- UCATEE. (2020). *Manual Eficiencia Energética para Pymes*.
- Universidad Tecnológica de Pereira. (2020). *Ahorro de Energía y Eficiencia Energética en sistemas de Aire Acondicionado y Refrigeración*.
- Vega Pousada, A. (2015). *Análisis del sistema de climatización en la oficina de desarrollo de la empresa DATYS*.

Anexos

Tabla de mediciones y resultados de Excel (método 1):

Método General																		
Equipo	Velocidad promedio	Entalpia del aire a la entrada del evaporador	Entalpia del aire a la salida del evaporador	Área de flujo de aire	Potencia eléctrica	Potencia de chapa	Flujo máximo de aire	Capacidad frigorífica	Capacidad frigorífica calculada	Capacidad frigorífica de diseño	Diferencia de capacidad frigorífica	REE calculado	REE normado	Diferencia de EER	IDEn base	IDEn meta	Potencial ahorro	Potencial reducción GEI
	V (m/s)	h1 (kcal/kg)	h2 (kcal/kg)	A (m ²)	P (W)	P (W)	M (kg/h)	Q (kcal/h)	Q (W)	Q (W)	ΔQ (W)	W/W	W/W	W/W	kWh/año	kWh/año	kWh/año	kg CO2/año
1	2.7	17	8.4	0.06057	2520	2340	694.7	5974.5	6943.6	7030.0	-86.4	2.8	3.0	-0.2	5765.8	5353.9	411.84	374.77
2	2.6	17	8.8	0.06057	2514	2340	669.0	5485.7	6375.4	7030.0	-654.6	2.5	3.0	-0.5	5752.0	5353.9	398.11	362.28
3	2.7	17	8.5	0.06057	2524	2340	694.7	5905.1	6862.9	7030.0	-167.1	2.7	3.0	-0.3	5774.9	5353.9	420.99	383.10
4	2.7	17	8.4	0.06057	2515	2340	694.7	5974.5	6943.6	7030.0	-86.4	2.8	3.0	-0.2	5754.3	5353.9	400.40	364.36
5	2.8	17	8.6	0.06057	2520	2340	720.4	6051.7	7033.3	7030.0	3.3	2.8	3.0	-0.2	5765.8	5353.9	411.84	374.77
6	2.1	17	9.2	0.0402	1414	1160	358.6	2797.2	3250.9	3517.0	-266.1	2.3	3.0	-0.7	3235.2	2654.1	581.15	528.85
7	2.2	17	9.3	0.04	1389	1160	375.	2892.	3362.	3517.	-154.9	2.4	3.0	-0.6	3178.	2654.	523.9	476.80

				02			7	8	1	0					0	1	5	
8	2.1	17	9.8	0.04 02	1418	1160	358. 6	2582. 0	3000. 8	3517. 0	-516.2	2.1	3.0	-0.9	3244. 4	2654. 1	590.3 0	537.18
9	2.1	17	9.3	0.04 02	1414	1160	358. 6	2761. 3	3209. 2	3517. 0	-307.8	2.3	3.0	-0.8	3235. 2	2654. 1	581.1 5	528.85
10	2.1	17	9.4	0.04 02	1413	1160	358. 6	2725. 5	3167. 6	3517. 0	-349.4	2.2	3.0	-0.8	3232. 9	2654. 1	578.8 6	526.77
11	2.1	17	9.6	0.04 02	1352	1160	358. 6	2653. 8	3084. 2	3517. 0	-432.8	2.3	3.0	-0.8	3093. 4	2654. 1	439.3 0	399.76
12	2.2	17	9	0.04 02	1432	1160	375. 7	3005. 5	3493. 0	3517. 0	-24.0	2.4	3.0	-0.6	3276. 4	2654. 1	622.3 4	566.33
13	2.3	17	9.7	0.04 02	1450	1160	392. 8	2867. 2	3332. 3	3517. 0	-184.7	2.3	3.0	-0.7	3317. 6	2654. 1	663.5 2	603.80
14	2.3	17	9.2	0.04 02	1415	1160	392. 8	3063. 6	3560. 5	3517. 0	43.5	2.5	3.0	-0.5	3237. 5	2654. 1	583.4 4	530.93
15	2.3	17	9.4	0.04 02	1416	1160	392. 8	2985. 1	3469. 2	3517. 0	-47.8	2.5	3.0	-0.6	3239. 8	2654. 1	585.7 3	533.01
16	2.1	17	9.3	0.04 02	1396	1160	358. 6	2761. 3	3209. 2	3517. 0	-307.8	2.3	3.0	-0.7	3194. 0	2654. 1	539.9 7	491.37
17	2.1	17	9.6	0.04 02	1432	1160	358. 6	2653. 8	3084. 2	3517. 0	-432.8	2.2	3.0	-0.9	3276. 4	2654. 1	622.3 4	566.33
18	2.1	17	9.6	0.04 02	1445	1160	358. 6	2653. 8	3084. 2	3517. 0	-432.8	2.1	3.0	-0.9	3306. 2	2654. 1	652.0 8	593.39
19	2.1	17	9.8	0.04 02	1420	1160	358. 6	2582. 0	3000. 8	3517. 0	-516.2	2.1	3.0	-0.9	3249. 0	2654. 1	594.8 8	541.34
20	2.1	17	9.3	0.04 02	1258	1160	358. 6	2761. 3	3209. 2	3517. 0	-307.8	2.6	3.0	-0.5	2878. 3	2654. 1	224.2 2	204.04
21	2	17	9.2	0.04 02	1465	1160	341. 5	2664. 0	3096. 1	3517. 0	-420.9	2.1	3.0	-0.9	3351. 9	2654. 1	697.8 4	635.03
22	2.1	17	9.5	0.04 02	1364	1160	358. 6	2689. 6	3125. 9	3517. 0	-391.1	2.3	3.0	-0.7	3120. 8	2654. 1	466.7 5	424.74
23	2.2	17	9.4	0.04	1416	1160	375.	2855.	3318.	3517.	-198.6	2.3	3.0	-0.7	3239.	2654.	585.7	533.01

				02			7	3	4	0					8	1	3	
24	2.3	17	9.3	0.04 02	1433	1160	392. 8	3024. 3	3514. 9	3517. 0	-2.1	2.5	3.0	-0.6	3278. 7	2654. 1	624.6 2	568.41
25	2.4	17	9.1	0.04 02	1415	1160	409. 8	3237. 8	3763. 0	3517. 0	246.0	2.7	3.0	-0.4	3237. 5	2654. 1	583.4 4	530.93
26	2	17	9.8	0.04 02	1415	1160	341. 5	2459. 1	2857. 9	3517. 0	-659.1	2.0	3.0	-1.0	3237. 5	2654. 1	583.4 4	530.93
27	2.1	17	9.8	0.04 02	1416	1160	358. 6	2582. 0	3000. 8	3517. 0	-516.2	2.1	3.0	-0.9	3239. 8	2654. 1	585.7 3	533.01
28	2.1	17	9.3	0.04 02	1415	1160	358. 6	2761. 3	3209. 2	3517. 0	-307.8	2.3	3.0	-0.8	3237. 5	2654. 1	583.4 4	530.93
29	2.1	17	10.4	0.04 02	1420	1160	358. 6	2366. 9	2750. 8	3517. 0	-766.2	1.9	3.0	-1.1	3249. 0	2654. 1	594.8 8	541.34
30	2.1	17	8.5	0.04 02	1199	1160	358. 6	3048. 2	3542. 7	3517. 0	25.7	3.0	3.0	-0.1	2743. 3	2654. 1	89.23	81.20
31	2.2	17	8.3	0.04 02	1206	1160	375. 7	3268. 5	3798. 7	3517. 0	281.7	3.1	3.0	0.1	2759. 3	2654. 1	105.2 5	95.78
32	1.5	17	10.1	0.06 99	1420	1390	445. 4	3073. 3	3571. 8	3517. 0	54.8	2.5	2.5	0.0	3249. 0	3180. 3	68.64	62.46
33	1.5	17	10.2	0.06 99	1402	1390	445. 4	3028. 7	3520. 0	3517. 0	3.0	2.5	2.5	0.0	3207. 8	3180. 3	27.46	24.98
34	1.6	17	9.9	0.06 99	1395	1390	475. 1	3373. 2	3920. 3	3517. 0	403.3	2.8	2.5	0.3	3191. 8	3180. 3	11.44	10.41
35	1.5	17	10.2	0.06 99	1426	1390	445. 4	3028. 7	3520. 0	3517. 0	3.0	2.5	2.5	-0.1	3262. 7	3180. 3	82.37	74.95
36	1.9	17	10.6	0.05 82	1482	1230	469. 7	3006. 4	3494. 0	3517. 0	-23.0	2.4	2.9	-0.5	3390. 8	2814. 2	576.5 8	524.68
37	1.8	17	9.8	0.05 82	1232	1230	445. 0	3204. 1	3723. 9	3517. 0	206.9	3.0	2.9	0.2	2818. 8	2814. 2	4.58	4.16
38	1.8	17	10.4	0.05 82	1245	1230	445. 0	2937. 1	3413. 5	3517. 0	-103.5	2.7	2.9	-0.1	2848. 6	2814. 2	34.32	31.23
39	1.6	17	12.9	0.04	1462	810	299.	1226.	1425.	2491.	-	1.0	3.1	-2.1	3345.	1853.	1491.	1357.5

				4			1	1	0	0	1066.0				1	3	78	2
40	1.6	17	11	0.044	1354	810	299.1	1794.4	2085.4	2491.0	-405.6	1.5	3.1	-1.5	3098.0	1853.3	1244.67	1132.65
41	1.5	17	11.2	0.044	1058	810	280.4	1626.1	1889.9	2491.0	-601.1	1.8	3.1	-1.3	2420.7	1853.3	567.42	516.36
42	1.6	17	12.9	0.038	960	560	258.3	1058.9	1230.7	1758.0	-527.3	1.3	3.1	-1.9	2196.5	1281.3	915.20	832.83
43	1.5	17	11.4	0.038	998	560	242.1	1356.0	1575.9	1758.0	-182.1	1.6	3.1	-1.6	2283.4	1281.3	1002.14	911.95
44	1.5	17	11	0.038	695	560	242.1	1452.8	1688.5	1758.0	-69.5	2.4	3.1	-0.7	1590.2	1281.3	308.88	281.08
45	1.5	17	11	0.038	1268	560	242.1	1452.8	1688.5	1758.0	-69.5	1.3	3.1	-1.8	2901.2	1281.3	1619.90	1474.11
46	1.5	17	11.5	0.038	1356	560	242.1	1331.7	1547.8	1758.0	-210.2	1.1	3.1	-2.0	3102.5	1281.3	1821.25	1657.34
47	2.6	17	9.2	0.13	4963	4870	1435.8	11199.4	13016.0	14067.0	-1051.0	2.6	2.9	-0.3	11355.3	11142.6	212.78	193.63
48	2.6	17	9.1	0.13	4952	4870	1435.8	11343.0	13182.8	14067.0	-884.2	2.7	2.9	-0.2	11330.2	11142.6	187.62	170.73
49	2.8	17	9.1	0.13	4959	4870	1546.3	12215.5	14196.9	14067.0	129.9	2.9	2.9	0.0	11346.2	11142.6	203.63	185.31
50	2.8	17	9.6	0.13	4808	4870	1546.3	11442.4	13298.4	14067.0	-768.6	2.8	2.9	-0.1	11000.7	11142.6	141.86	-129.09
51	2.3	17	8.1	0.13	5008	4870	1270.2	11304.4	13137.9	14067.0	-929.1	2.6	2.9	-0.3	11458.3	11142.6	315.74	287.33
52	2.6	17	8.7	0.13	4823	4870	1435.8	11917.3	13850.3	14067.0	-216.7	2.9	2.9	0.0	11035.0	11142.6	107.54	-97.86
53	2.5	17	9.3	0.13	5015	4870	1380	10630	12354	14067	-	2.5	2.9	-0.4	1147	11142	331.7	301.90

							.6	.6	.9	.0	1712.1				4.3	.6	6	
54	2.8	17	10.3	0.13	4913	4870	1546.3	10360.0	12040.4	14067.0	-2026.6	2.5	2.9	-0.4	1124.0.9	11142.6	98.38	89.53
																	2680.3.92	24391.57

Tabla de mediciones y resultados a split (método 2):

Temperatura a la descarga del condensador	Potencia consumida	Flujo másico	Capacidad frigorífica		Capacidad método 1	dif métodos	Capacidad frigorífica Nominal	Diferencia Capacidad Frigorífica	REE Calculado	REE normado	Diferencia REE	IDEn base	IDEn meta	Potencial ahorro	Potencial reducción GEI
(°C)	(W)	(kg/s)	kJ/kg	W			W	W	W/W		W/W	kWh/año	kWh/año	kWh/año	kg CO2/año
40.0	4963	0.085	163.83	13925.55	16184.3	2258.7	14067.00	-141.45	2.81	2.9	-0.08	11355.344	11142.56	212.78	193.63
40.2	4952	0.085	163.20	13872.00	16122.0	2250.0	14067.00	-195	2.80	2.9	-0.09	11330.176	11142.56	187.62	170.73
39.6	4959	0.085	161.60	13736.00	15964.0	2228.0	14067.00	-331	2.77	2.9	-0.12	11346.192	11142.56	203.63	185.31
38.9	4808	0.085	167.20	14212.00	16517.2	2305.2	14067.00	145	2.96	2.9	0.07	11000.704	11142.56	-141.86	-129.09
39.8	5008	0.085	161.90	13761.50	15993.6	2232.1	14067.00	-305.5	2.75	2.9	-0.14	11458.304	11142.56	315.74	287.33
40.2	4823	0.08	162.	13838	16082.5	2244.	14067.	-229	2.87	2.9	-0.02	11035.	11142	-	-97.86

		5	80	.00		5	00					024	.56	107.5 4	
39.4	5015	0.08 5	163. 20	13872 .00	16122.0	2250. 0	14067. 00	-195	2.77	2.9	-0.12	11474. 32	11142 .56	331.7 6	301.90
38.5	4913	0.08 5	167. 80	14263 .00	16576.5	2313. 5	14067. 00	196	2.90	2.9	0.01	11240. 944	11142 .56	98.38	89.53
														1100. 53	1001.4 8