

Análisis de clasificación de desempeño aplicado a acondicionadores de aire sin ducto y refrigeradores-congeladores domésticos

Ángel Andrade-Morales¹, Yonathan Heredia-Aricapa², Álvaro Restrepo-Victoria³, Juan Manuel Belman⁴

¹Grupo de Investigación en Gestión Energética (GENERGÉTICA), Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira., Colombia. Email: aaandrade@utp.edu.co

²Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato., México. Email: ye.herediaaricapa@ugto.mx

³Grupo de Investigación en Gestión Energética (GENERGÉTICA), Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira., Colombia. Email: arestrep@utp.edu.co

⁴Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato., México. Email: jfbelman@ugto.mx

Resumen

Desde 1970 los programas de etiquetado energético han sido implementados como herramientas de políticas públicas que incentivan el uso de equipos más eficientes y contribuyan a la reducción de la creciente demanda de energía eléctrica. Este estudio presenta un análisis de las clasificaciones de desempeño aplicadas a acondicionadores de aire sin ducto y refrigeradores-congeladores domésticos, de acuerdo con los programas de etiquetado de algunos países de Sur América. La contribución es establecer las diferencias en la clasificación de un equipo según las distintas reglamentaciones. Estos resultados pueden ser de gran interés para desarrollar políticas que aceleren la transformación del mercado hacia el uso de productos de alta eficiencia y alcanzar los objetivos trazados por la disminución de emisiones de dióxido de carbono y la mitigación de los efectos del calentamiento global.

Palabras clave: análisis de desempeño, acondicionadores de aire sin ductos, calentamiento global, refrigerador-congelador, reglamentos de etiquetado.

Abstract

Since 1970, energy labeling programs have been implemented as public policy tools that encourage the use of more efficient equipment that contributes to reducing the growing demand for electricity. This study aims to present an analysis of the performance classifications applied to non-ducted air conditioners and domestic refrigerator-freezers, according to the labeling programs of some South American countries. The contribution is to establish the differences in the classification of equipment according to the distinct regulations. These results may be of great interest to develop policies that accelerate the transformation of the market towards the use of high-efficiency products and achieve the objectives set for the reduction of carbon dioxide emissions and the mitigation of the effects of global warming.

Keywords: performance analysis, non-ducted air conditioners, global warming, refrigerator-freezers, labeling regulations.

1. Introducción

Actualmente, los sistemas de acondicionamiento de aire y refrigeración los cuales funcionan principalmente mediante el ciclo termodinámico de compresión de vapor son ampliamente usados en varias

áreas que incluyen aplicaciones residenciales y comerciales [1]. Estos sistemas son algunos de los electrodomésticos que presentan mayores consumos de energía e impactan ambientalmente por la emisión no controlada de gases efecto invernadero del tipo *CFCs*, *HFCs* y *HCFCs* provenientes del fluido de trabajo

(refrigerantes). A medida que aumenta la demanda energética en las últimas décadas, aumentan también los problemas ambientales asociados al uso de energía, las emisiones de gases efecto invernadero y el calentamiento global, debido a que en la mayor parte del mundo la energía eléctrica proviene de fuentes combustibles fósiles. Teniendo en cuenta los compromisos trazados por la humanidad en la disminución de la temperatura media del planeta y la mitigación en las emisiones de gases de efecto invernadero, el uso de tecnologías de baja eficiencia se considera ambientalmente insostenible. Con el fin de incrementar la eficiencia por parte de los fabricantes y promover el uso masivo de tecnologías más eficientes por parte de los consumidores, la mayoría de países han establecidos sus propias políticas y regulaciones e incentivos financieros [2]. Estas políticas son definidas como programas, leyes o reglamentos de etiquetado y en general son un compendio de requisitos técnicos que deben cumplir los productos de mayor uso final de energía, ya sea en forma eléctrica o gas combustible, que se comercializan en una región o país [3].

Como se presenta en la Figura 1, la mayoría de los programas de etiquetado deben tener en cuenta unos contenidos mínimos como lo son los procedimientos de muestreo y ensayo para certificación de producto, las normas técnicas de ensayo para la determinación de la eficiencia, el tipo y características de la etiqueta de eficiencia energética, y en algunos casos los incentivos financieros por el uso de tecnologías más eficientes y/o ambientalmente sostenibles.

Aunque el contenido de la etiqueta puede variar en presentación de acuerdo con cada país, el objetivo en común es facilitar al consumidor final la comparación de diferentes productos en términos de eficiencia energética. La mayoría de estas etiquetas están basadas en conceptos de clasificaciones de desempeño mediante escalas lineales, barras o estrellas. Por ejemplo, la etiqueta *Energy Star* lanzada en 1992 en los Estados Unidos y Canadá son etiquetas comparativas en una escala lineal continua [4]. La etiqueta energética de la Unión Europea y la etiqueta de eficiencia energética de China son etiquetas comparativas basadas en categorías que utilizan barras. El diseño de

las etiquetas adoptado en Australia, Japón, Tailandia, Corea del Sur e India son etiquetas comparativas basadas en categorías que utilizan esferas con estrellas que indican la eficiencia energética relativa a cada producto. En general, todas estas medidas regulatorias están destinadas a alentar a los consumidores a tener una comprensión más profunda de los beneficios de la eficiencia energética para un futuro ambientalmente sostenible [5]. El uso de la etiqueta de eficiencia energética ofrece la posibilidad a los consumidores de seleccionar los electrodomésticos más adecuados con la menor cantidad de consumo de energía de acuerdo con los requisitos de sus actividades diarias. Las medidas regulatorias también podrían estimular a los fabricantes e importadores a realizar más investigaciones y mejoras para desarrollar e innovar sus productos con una mejor eficiencia energética antes de ser lanzados al mercado [6].

Para el caso de estudio de los sistemas de acondicionamiento de aire tipo inverter, la métrica globalmente utilizada para establecer la eficiencia energética en sistemas de enfriamiento - *EER* (por sus siglas en inglés *Energy Efficiency Ratio*) ha sido reemplazada por métricas de desempeño del tipo estacional las cuales tienen en cuenta la distribución de temperaturas y curvas climáticas propias de cada región [7]. Como consecuencia, los reguladores de políticas públicas en todo el mundo carecen de datos comparativos que contribuyan con el diseño de programas y reglamentos de eficiencia energética cuyo impacto sea más efectivo, principalmente en países en vía desarrollo. Algunos estudios exploran las relaciones entre diferentes métricas de eficiencia energética en equipos acondicionadores de aire de tecnología fija y variable, basadas principalmente en clasificaciones de desempeño del tipo *EER* y *CSPF* (por sus siglas en inglés *Cooling Seasonal Performance Factor*), concluyendo que existen diferencias significativas en la utilización de una métrica de eficiencia en comparación con las condiciones reales de operación como consecuencia de las variaciones de temperatura del medio ambiente en la que el equipo finalmente fue instalado [8]. Estos resultados son consistentes con estudios realizados en Arabia Saudita y Corea del Sur, en los que se analizan

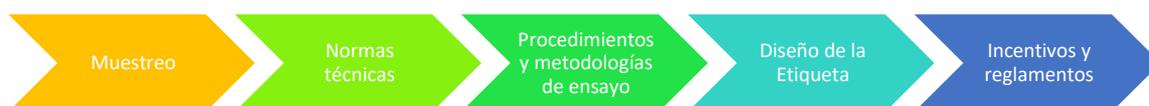


Figura 1. Componentes de un programa de etiquetado en eficiencia energética. Elaboración propia.

los efectos de los ahorros energéticos en sistemas acondicionadores de aire de tecnologías variable (*inverter*) y fija (*on-off*) concluyendo que la tecnología *inverter* es más efectiva incluso en países cálidos en los que las cargas térmicas de las edificaciones y la temperatura ambiente cambian con el tiempo [9]. Los fabricantes tienden a minimizar los costos de fabricación mediante el desarrollo de diseños que incluyan productos fácilmente disponibles en el mercado o estandarizados para su producción, compartiendo el mismo tipo de componentes en varios de sus modelos. Como consecuencia, los fabricantes han evolucionado sus productos cada año mejorando su eficiencia estacional, reflejando una mejor operación en condiciones de carga parcial especialmente para tecnologías del tipo *Inverter* [10]. Estas mejoras en las tecnologías deben ser adoptadas en los programas técnicos de etiquetado los cuales periódicamente deben ser actualizados para incluir mejoras en estrategias para evaluación, medición, verificación e infraestructura de laboratorios para la certificación de productos [11]. Actualmente, la mayoría de los países del mundo están adoptando regulaciones basadas principalmente en las normas técnicas *ANSI-AHRI*, *EN-UNE*, *IEC*, e *ISO* con fines de etiquetado y certificación de producto basado en la eficiencia energética. En el caso de equipos acondicionadores de aire las principales normas técnicas mundialmente adoptadas son *ANSI-ASHRAE 37*, *ANSI-AHRI 210.240*, *EN 14511*, *EN 14825*, *ISO 5151* e *ISO 16358*.

Una descripción general de los estándares de ensayo para refrigeradores y congeladores de la Organización Internacional de Normalización (ISO) incluyen las normas técnicas *ISO 8187*, *ISO 8561*, e *ISO 7371* como las normas pertinentes para determinar el consumo de energía de los refrigeradores-congeladores domésticos que tienen dos o más compartimentos, principalmente el compartimento de alimentos frescos y el compartimento de alimentos congelados o congelador. La norma *ISO* establece cuatro zonas climáticas y sus temperaturas ambientales definidas como zona de temperatura ampliada, zona templada, zona subtropical y zona tropical. Por otro lado, la norma *EN 62552* establece las características esenciales de los aparatos de refrigeración para uso doméstico, enfriados por convección natural interna o por circulación de aire forzado, y establece los métodos de ensayo para la verificación de estas características. La parte 1 de la norma establece los requisitos generales del ensayo. Los ensayos definidos se consideran ensayos para evaluar el diseño y el funcionamiento básico de un aparato de refrigeración. La parte 2 de la norma establece los requisitos de funcionamiento, entre los que se describen los métodos de determinación de los requisitos de aptitud para la función. La parte 3 de la norma describe los métodos de determinación de las características de consumo de energía y para la determinación del volumen.

Este artículo presenta un análisis de las clasificaciones de desempeño aplicadas a acondicionadores de aire sin ducto y refrigeradores-congeladores domésticos, de acuerdo con los programas de etiquetado de algunos países de Sur América. Con el fin de establecer la clasificación de desempeño, se probaron 3 refrigeradores domésticos no Frost que operan con refrigerantes R134a, R600a y R513a siguiendo los procedimientos de la norma *NOM-015-ENER-2018*; y 3 acondicionadores de aire tipo minisplit de tecnología *inverter* y *on-off* según las condiciones establecidas en las normas técnicas *ISO 5151*, *ISO 16358-1* y *ANSI/AHRI 210.240*, siguiendo el método del calorímetro balanceado. A partir de los resultados obtenidos, la contribución de esta investigación es determinar las diferencias entre los diferentes programas de etiquetado de eficiencia energética que se encuentran vigentes en algunos países de Latinoamérica y concluir cuales programas tienen reglamentaciones más estrictas teniendo en cuenta variables como las tecnologías disponibles en el mercado y los refrigerantes de baja huella de carbono. Estos resultados pueden ser de especial interés para desarrollar políticas que aceleren la transformación del mercado hacia el uso de productos de alta eficiencia y alcanzar los objetivos trazados por la disminución de emisiones de dióxido de carbono y la mitigación de los efectos del calentamiento global.

2. Metodología

Las metodologías y procedimientos de ensayo en eficiencia energética son la base de los programas de etiquetado y reglamentos para certificación de producto. Un procedimiento de ensayo es un protocolo bien estructurado el cual establece una metodología bajo la cual todos los fabricantes evalúan el desempeño de sus productos en cualquier parte del mundo, permitiéndole al consumidor tener información para comparar las características de diseño y de funcionamiento del producto ya sea entre diferentes modelos o marcas. Dos de las entidades más importantes a nivel internacional responsables de estandarizar los procedimientos de ensayo para la comparación de las características de un producto son la Organización Internacional para la Estandarización *ISO* y la Comisión Internacional Electrotécnica *IEC* [12].

La organización *ISO* es un referente mundial constituido por más de 100 organismos internacionales centrados principalmente en el desempeño mecánico, mientras que la comisión *IEC* tiene alrededor de 50 miembros nacionales enfocados en desempeño eléctrico. La Unión Europea usa mayormente los procedimientos establecidos en las normas *ISO*. Los Estados Unidos tienen sus propios reglamentos y usualmente están repartidos entre diferentes entidades, organizadas principalmente por el Instituto Nacional

Estadounidense de Estándares *ANSI*. Canadá y México tienen establecidos procedimientos similares a los que son utilizados en los Estados Unidos. La mayoría de los países en todo el mundo han adoptado alguno de los procedimientos establecidos en los diferentes organismos presentados, con algunas excepciones que desarrollan sus propios procedimientos de ensayo [12].

Una buena metodología de ensayo debe cumplir los siguientes criterios [12]:

- (i) Reflejar la condición de uso real del producto;
- (ii) Entregar resultados precisos y repetibles;
- (iii) Reflejar el desempeño del producto bajo diferentes condiciones de diseño;
- (iv) Funcionar para una amplia gama de modelos dentro de una categoría;
- (v) Entregar resultados que sean fáciles de comparar según otros procedimientos;
- (vi) Ser fácil de modificar para adaptarse a nuevas tecnologías o características;
- (vii) Ser económico de realizar.

Una metodología o procedimiento de ensayo que permita reproducir con precisión el funcionamiento de un producto en condiciones reales de operación probablemente será costosa y no se desarrollará fácilmente. Sin embargo, las metodologías permiten obtener resultados que pueden ser clasificados en diferentes niveles de desempeño y así establecer puntos de comparación entre diferentes modelos y marcas.

2.1. Programas de etiquetado

Colombia es miembro de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos *OCDE*. Dentro de las obligaciones adquiridas se ha propuesto reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2030. Desde el año 2015, el Ministerio de Energía y Minas de Colombia estableció su programa de etiquetado energético obligatorio (Reglamento 41012:2015-RetiQ) siguiendo los lineamientos internacionales. Este programa promueve la mejora del desempeño de la eficiencia energética de los aparatos electrodomésticos, incluidos los acondicionadores de aire, las neveras, las estufas, calentadores eléctricos, lavadoras, motores eléctricos, entre otros. Para acondicionadores de aire sin ductos, la etiqueta energética de Colombia se basa en la relación de eficiencia energética *EER*, clasificando las diferentes categorías utilizando barras que van desde la letra A ($EER > 4.0$ más eficiente) hasta la letra E ($EER < 3.0$ menos eficiente) siendo este último el requisito mínimo – *MEPS* por sus siglas en inglés que se debe cumplir para comercializar los productos en el territorio nacional. Los métodos para el cálculo de la eficiencia energética se definen de acuerdo con la métrica *EER* como lo muestra el estándar internacional ISO 5151: 2017. Sin embargo, actualmente Colombia está

haciendo la transición hacia el factor de desempeño estacional de enfriamiento *CSPF* tal como se presenta en la norma internacional ISO 16358:2013.

Para el caso de etiquetado energético en Brasil, la resolución número 234 del 29 de junio de 2020 emitida por el Ministerio de Economía, el Instituto Nacional de Metrología, Calidad y Tecnología, estableció que los acondicionadores de aire deben cumplir los requisitos de evaluación de la conformidad según el Índice de Desempeño de Refrigeración Estacional *IDRS*. La resolución establece la clasificación de categorías de eficiencia energética con base en la norma ISO 16358-1 de 2013 siendo la categoría de mayor eficiencia definida mediante la letra “A” si el *IDRS* es mayor o igual que 5 y F representa la peor eficiencia que se puede comercializar si el *IDRS* es menor o igual que 3.14. Con respecto a los refrigeradores-congeladores la resolución número 332, de 2 de agosto de 2021, establece los requisitos obligatorios para refrigeradores y similares que deben cumplir toda la cadena de suministro del producto en el mercado nacional, además de esto se presenta la clasificación de los equipos mediante el índice de eficiencia energética en 6 diferentes categorías (A+++ , A++ , A+ , A , B , C).

Tanto Brasil como Colombia establecían sus reglamentos basados en la relación de eficiencia energética *EER* cumpliendo los requisitos de la norma ISO 5151. Teniendo en cuenta que la métrica de desempeño *EER* se determina a carga plena, es decir al 100% de capacidad de enfriamiento del equipo operando en un solo punto de temperatura equivalente a 35°C, se comprobó que esta métrica de desempeño no refleja los beneficios de las tecnologías actuales de velocidad variable comercialmente llamadas *Inverter* y, por lo tanto, no permitían al consumidor estar adecuadamente informado sobre el desempeño energético de los productos disponibles en el mercado. Por tal razón, ambos países determinaron mediante reuniones en mesas de trabajo del Ministerio en conjunto con los fabricantes e importadores, establecer una métrica de desempeño basada en la norma ISO 16358-1, considerando que la experiencia de varios países, como India, China, Tailandia, Vietnam y la Unión Europea en la adopción de la métrica estacional en sus criterios de evaluación de acondicionadores de aire, en general ha revelado una mejora en la eficiencia promedio de los productos vendidos. No obstante, la norma ISO 16358-1 utiliza los procedimientos y metodologías para determinar la capacidad de enfriamiento de acuerdo con la norma ISO 5151.

El reglamento en México que establece las normas de eficiencia energética está dictado por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización del 1° de julio de 1992 y sus reformas del 20 de mayo de 1997, la cual define dos tipos de normas: Normas Mexicanas *NMX* de cumplimiento voluntario y las Normas Oficiales

Mexicanas *NOM* de cumplimiento obligatorio. Las *NOM* son promulgadas por las Secretarías de Estado acorde con sus áreas de competencia. Para el caso de etiquetado y clasificación de desempeño en acondicionadores de aire, se establece la Norma Oficial Mexicana NOM-023-ENER-2018, Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire. La norma establece el nivel mínimo de Relación de Eficiencia Energética Estacional *REEE* que deben cumplir los acondicionadores de aire y los métodos de ensayo que deben usarse para establecer las características de desempeño. La Norma Oficial Mexicana NOM-015-ENER-2018 establece la actualización de los límites de consumo de energía máximos para refrigeradores, refrigeradores-congeladores y congeladores de uso doméstico, como resultado de los avances tecnológicos y de las condiciones del mercado nacional e internacional. En esta se presentan los lineamientos para la evaluación de la eficiencia energética. Teniendo en cuenta que el consumo máximo de energía establecido en esta norma se obtiene mediante el volumen total ajustado, este se compara con el consumo de energía obtenido mediante las pruebas experimentales para establecer el ahorro de energía de cada uno de los diferentes equipos.

Analizando el caso de estudio de Perú, el reglamento técnico de etiquetado se estableció de estricto cumplimiento según la norma aprobada mediante el Decreto Supremo N° 009-2017-EM. Esta norma promueve la competitividad y acelera la renovación del

mercado de equipos energéticos por otros más eficientes en el consumo de energía. Según la norma en mención, los productos que deben portar la etiqueta de eficiencia energética son refrigeradoras, lavadoras y secadoras de ropa, calentadores de agua, acondicionadores de aire, focos y balastos para lámparas fluorescentes. En tanto, los equipos de uso industrial son motores eléctricos y calderas. Para el caso de los acondicionadores de aire tipo domésticos o residenciales, se estableció la norma UNE-EN-14825 de 2019 como la referencia guía para estimar el Factor de Eficiencia Energética Estacional *SEER*, el cual cumple los mismos requisitos establecidos para la Unión Europea. El método de ensayo de estricto cumplimiento para equipos de capacidad de enfriamiento inferiores a 12 kW es el calorímetro. Para equipos con ductos, se estableció la clasificación basada en la Relación de Eficiencia Energética *EER*, siguiendo los requisitos establecidos en la norma UNE-EN 14511.

2.2. Métodos de ensayo

Los principales métodos de ensayo utilizados para determinar la capacidad de enfriamiento de un equipo acondicionador de aire funcionando mediante el principio de compresión de vapor son el método de la entalpía del aire, el método de la entalpía del refrigerante y el método del calorímetro. La Figura 2 muestra el Laboratorio de Ensayos para Equipos Acondicionadores de Aire *LPEA* de la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, basado en el

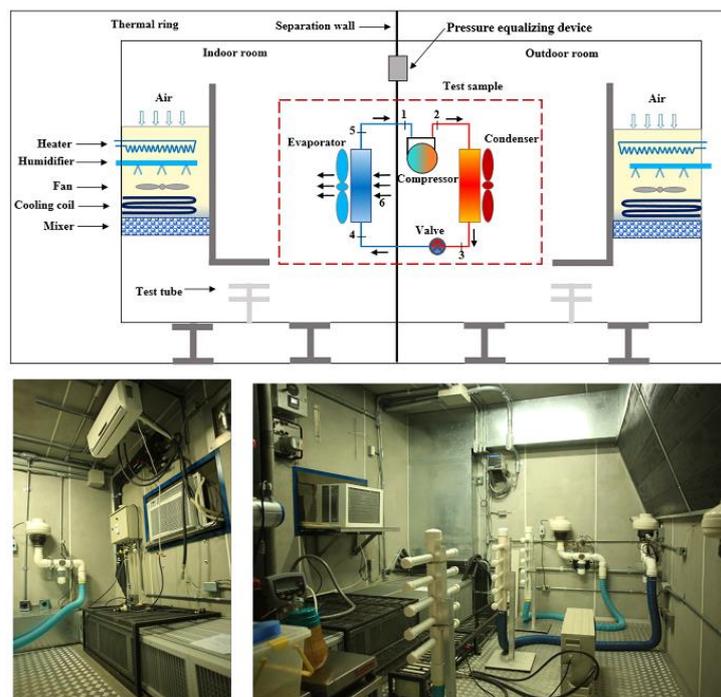


Figura 2. Laboratorio de Ensayos para Equipos Acondicionadores de Aire *LPEA*. Método calorimétrico.



Figura 3. Izquierda- etiqueta energética de un acondicionador de aire *Inverter* según el reglamento mexicano. Derecha – etiqueta energética de un refrigerador según el reglamento técnico colombiano.

método del calorímetro balanceado. El método del calorímetro consiste en realizar un balance de energía entre dos cámaras en las que se instalan la unidad evaporadora (cámara interior) y la unidad condensadora (cámara exterior), las cuales deben cumplir unas condiciones de ambientales de temperatura, presiones ambientales y variables eléctricas establecidas en las normas técnicas. La capacidad de enfriamiento se determina mediante un balance de energía según el principio de la primera ley de la termodinámica.

2.3. Etiquetas de eficiencia energética

El objetivo de una etiqueta de eficiencia energética es proveer información a los usuarios finales. Hay dos tipos de etiquetas energéticas: las que llevan sellos de aprobación y las que sirven para propósitos de comparación. Las etiquetas de aprobación indican cuales productos pertenecen a la clase de mayor eficiencia energética o indican información en pro del cumplimiento de un estándar y/o criterio de elegibilidad. En este caso, los productos generalmente muestran un logotipo o una marca que permite identificar que han cumplido con el sello de aprobación y en general contienen poca o nula información comparativa sobre eficiencia energética. Usualmente este tipo de programas son de cumplimiento voluntario. Las etiquetas comparativas permiten a los consumidores comparar diferentes niveles en una clasificación determinada según los niveles de eficiencia energética del producto. El etiquetado comparativo en la mayoría de los países es de cumplimiento obligatorio, usualmente emitido por los gobiernos mediante reglamentaciones internas que

afectan tanto a empresas fabricantes como importadores. Las etiquetas comparativas más utilizadas utilizan una escala con categorías o niveles de eficiencia energética bien definidos. Este tipo de etiqueta permite a los consumidores evaluar fácilmente la eficiencia de un producto por medio de un simple sistema numérico o de clasificación basada en estrellas o letras. El concepto fundamental es que es mucho más fácil para un consumidor final recordar y comparar una escala de clasificación simple (como 1, 2, 3 o 1 estrella, 2 estrellas, 3 estrellas o A, B, C) para una gama de productos diferentes, que recordar y comparar valores de consumo de energía y tamaños de productos individuales de interés. Las principales características de diseño visual utilizadas para ayudar a los consumidores finales a interpretar las etiquetas comparativas que se usan en todo el mundo se pueden agrupar en tres tipos básicos:

- Clasificaciones lineales.
- Clasificaciones usando dial.
- Clasificaciones mediante barras.

Como se presenta en la Figura 3, México utiliza una etiqueta energética basada en una clasificación lineal la cual indica el uso de energía más alto y bajo según los modelos que actualmente se encuentran en el mercado. La Figura 3 izquierda presenta la clasificación de eficiencia energética de un acondicionador de aire tipo dividido (*minisplit*) de tecnología variable (*inverter*), el cual es clasificado según un porcentaje de ahorro energético de 29.8% respecto a los modelos más eficientes que actualmente se venden en el mercado; esta clasificación se realiza con base la métrica de desempeño *SEER* según las normas mexicanas.

La etiqueta energética también presenta información comparable como la potencia eléctrica, la capacidad de enfriamiento, y algunas características propias del producto como la marca y el modelo. La Figura 3 derecha, presenta la etiqueta energética de un refrigerador-congelador según el reglamento técnico de etiquetado en Colombia. A diferencia de la etiqueta del reglamento mexicano basada en una escala lineal, la etiqueta colombiana presenta una clasificación basada en una serie de barras con una calificación de mayor consumo (menos eficiente según la letra G), hasta menor consumo (más eficiente según la letra A). En este caso, todos los niveles de calificación tienen asignada una letra visible en las etiquetas que indica el grado de eficiencia del producto. En el caso de algunos productos, la etiqueta también indicará otras variables como lo pueden ser el nivel de ruido y las temperaturas de operación. Según el diseño de la etiqueta, se puede apreciar el uso de colores en la clasificación siendo verde asignado a la escala de máxima eficiencia y rojo representa el producto con peor eficiencia energética.

Otro elemento de diseño para transmitir la eficiencia energética del producto al consumidor final es la longitud de las barras, la cual representa a mayor longitud, mayor será el consumo de energía. Este modelo de etiqueta energética tiene elementos comunes entre las etiquetas de eficiencia energética de países como Argentina, Brasil, Perú, Uruguay y Paraguay.

2.4. Clasificaciones de desempeño

Las clasificaciones de desempeño indican los niveles de eficiencia energética que deben cumplir los productos antes de que puedan venderse legalmente en una región. Estos reglamentos se diseñan basados en la metodología de Wiel & McMahon [13] la cual considera cuatro aproximaciones: 1. Tecno económica, 2. Análisis estadístico, 3. Clase media de productos actualmente en el mercado y 4. Buenas prácticas.

De acuerdo con las diferencias entre regiones, como lo son el clima, las condiciones económicas y el poder adquisitivo, las características sociales y culturales, un programa de etiquetado energético puede variar según cada país o región, de tal manera que no se considera apropiado utilizar una sola clasificación de desempeño única para todo el mundo.

Algunas regiones como la Unión Europea utilizan diferentes tablas de clasificación para equipos con nuevas tecnologías que utilizan refrigerantes más amigables con el medio ambiente, esto con el fin de promover la adopción masiva de productos ambientalmente sostenibles. La Tabla 1 presenta las clasificaciones de desempeño de un equipo acondicionador de aire según el reglamento técnico de etiquetado en Colombia.

Tabla 1. Clasificaciones de desempeño de un equipo acondicionador de aire sin ductos según el reglamento técnico de etiquetado en Colombia.

Rangos de eficiencia energética EER		
Clase	Límite inferior	Límite superior
A	4.00	EEC*
B	3.75	4.00
C	3.50	3.75
D	3.25	3.50
E	3.00	3.25

*Eficiencia energética de Carnot.

Fuente: adaptado del reglamento colombiano. Algunos países en Sur América como Brasil y Colombia están haciendo la transición hacia normas que resalten las capacidades de los equipos de tecnología *inverter*. La Tabla 2 muestra la clasificación de desempeño de un equipo acondicionador de aire sin ductos según el reglamento técnico de etiquetado en Brasil. Como se presenta en la Tabla 2, las clasificaciones de desempeño tienden a obtener valores más altos a medida que las tecnologías disponibles en el mercado sean más eficientes. Esto con el objetivo de que fabricantes e importadores mejoren sus productos disponibles en el mercado.

Tabla 2. Clasificaciones de desempeño de un equipo acondicionador de aire sin ductos según el reglamento técnico de etiquetado en Brasil.

Rangos de eficiencia energética IDRS		
Clase	Hasta 31/12/2022	Hasta 31/12/2025
A	5.50	7.00
B	5.00	6.00
C	4.50	5.30
D	4.00	4.60
E	3.50	3.90
F	3.14	3.50

*Eficiencia energética de Carnot.

Fuente: adaptado del reglamento de Brasil.

Algunos países considerados grandes fabricantes en el mundo, como por ejemplo Japón y China, utilizan programas que alientan a los fabricantes a desarrollar productos más eficientes de manera voluntaria, como por ejemplo el programa Top Runner para la creación de equipos súper eficientes. Otros reglamentos utilizan un enfoque alternativo basado en acuerdos negociados con los fabricantes basados en el honor de la marca en lugar de emitir reglamentos de estricto cumplimiento.

2.5. Resultados

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados a los equipos acondicionadores de aire tipo residencial sin ductos en los laboratorios de la Universidad Tecnológica de Pereira y a los

refrigeradores – congeladores los cuales fueron probados en las instalaciones de la Universidad de Guanajuato. Debido a los compromisos de confidencialidad firmados por los autores, este artículo no presenta información referente a marcas y modelos de los equipos ensayados.

Se ensayaron tres equipos acondicionadores de aire tipo residencial tanto de tecnologías fija (*on-off*), como variable (*Inverter*). Los equipos fueron ensayados en el Laboratorio de Ensayo para Equipos Acondicionadores de Aire- LPEA de la Universidad Tecnológica de Pereira, el cual se encuentra acreditado según la norma ISO 17025 de 2017 y las normas técnicas de ensayo ISO 5151 de 2017 e ISO 16358-1 de 2013. La información declarada de los equipos ensayados se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Información declarada por el fabricante de los equipos ensayados.

Acondicionadores de aire tipo <i>minisplit</i> sin ductos con función exclusiva de enfriamiento			
Descripción	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3
Capacidad de enfriamiento declarada (kW)	7.03	5.27	3.51
Potencia de consumo declarada (kW)	2.25	1.72	1.15
EER declarado	3.12	3.06	3.05
Tecnología	<i>Inverter</i>	<i>On-off</i>	<i>On-off</i>
Refrigerante	R-410A		
Voltaje (V)	220-240 monofásico		

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos por el LPEA a los tres equipos ensayados. Los resultados fueron obtenidos con los equipos funcionando según los códigos de programación a carga parcial entregados por el fabricante. Los autores declaran que no fue posible obtener resultados para el equipo #1 de tecnología *Inverter* según el reglamento de Perú (**N.D.; información no disponible*), debido a que el modelo no fue diseñado con los códigos de carga parcial según los ensayos B, C y D establecidos en la norma técnica UNE-EN 14825.

Los resultados presentados en la Tabla 4 fueron obtenidos según las normas técnicas ISO 5151 de 2017 obteniendo la Relación de Eficiencia Energética *EER* según la condición de ensayo *T1* definida en la norma para climas tropicales como Colombia; la norma técnica ISO 16358-1 de 2013 para el cálculo del Factor de Desempeño Estacional de Enfriamiento *CSPF* según los ensayos obligatorios definidos por la norma como plena capacidad (*full capacity*) y a capacidad

media (*half capacity*) para equipos *Inverter* y adicionalmente el ensayo de capacidad e baja temperatura (*low temperatura cooling capacity*) establecido para los equipos de tecnologías *on-off*; la norma técnica UNE-EN 14825 de 2019 para el cálculo del Factor de Eficiencia Energética Estacional *SEER* definido según el reglamento técnico de Perú, el cual cumple los mismos requisitos establecidos en la Unión Europea.

Tabla 4. Resultados LPEA.

Acondicionadores de aire tipo <i>minisplit</i> sin ductos con función exclusiva de enfriamiento			
Descripción	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3
Capacidad de enfriamiento (kW)	7.09	5.08	3.29
Potencia de consumo (kW)	2.33	1.69	1.17
CSPF (ISO por defecto)	5.00	3.19	2.99
Economías en desarrollo			
EER @T1 (Colombia)	3.04	3.01	2.81
CSPF (Brasil)	4.86	3.18	2.98
SEER (Perú)	*N.D	3.38	2.69
Economías desarrolladas			
SEER (China)	4.13	3.04	2.84
SEER (USA)	5.28	3.42	2.93
TCSPPF <i>mixed</i> (Australia/NZ)	4.19	3.05	2.84

**Información no disponible.*

Para propósitos de comparación de los resultados obtenidos según los reglamentos de algunos países de Sur América, también se presentan los resultados experimentales según los reglamentos y normas técnicas establecidas en China *SEER*, los Estados Unidos – *SEER* (USA), y Australia / Nueva Zelanda – *TCSPPF* basada en la condición de temperatura mixta. Se seleccionaron estas economías ya que tienen fuertes programas de etiquetado y hacen gran uso de estas tecnologías debido a sus condiciones climáticas.

Las variaciones máximas permitidas para las condiciones ambientales como temperaturas, voltajes, presiones atmosféricas, variables eléctricas, longitud de la tubería, tiempo de recopilación de los datos y otras condiciones referentes a la instalación cumplen los requisitos establecidos en las normas, según el método del calorímetro balanceado. La incertidumbre expandida de las mediciones obtenidas asociadas a la capacidad de enfriamiento, en todos los ensayos fue inferior al 5% según la guía ISO/TS 16491 de 2012.

La Tabla 5 presenta la clasificación de los resultados según los reglamentos de etiquetado de cada país seleccionado en este estudio.

Tabla 5. Clasificación de los resultados según los reglamentos de etiquetado de cada país.

Acondicionadores de aire tipo minisplit sin ductos con función exclusiva de enfriamiento			
País	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3
<i>Economías en desarrollo</i>			
Brasil	C	F	*NC
Colombia	E	E	*NC
Perú	-	F	G
<i>Economías desarrolladas</i>			
China	Clase 4	*NC	*NC
EE.UU	*NC		
Australia/NZ	2.5 stars	1.5 stars	1 star

*No cumple el requisito mínimo MEPS

Según los resultados que se presentan en la Tabla 5, se analiza que los equipos 2 y 3 de tecnología fija *on-off* se clasifican en el peor nivel de desempeño en los países de las regiones de Sur América y en las economías desarrolladas no alcanzan a cumplir los estándares mínimos establecidos MEPS, permitiendo concluir que las clasificaciones de desempeño determinadas por los gobiernos de estos países están alineadas con las tendencias a nivel mundial. En el caso del equipo 1 de tecnología variable o *Inverter*, se puede apreciar que a pesar de obtener un resultado de eficiencia energética *EER* similar al del equipo 2 de tecnología fija *on-off*, la clasificación según los diferentes reglamentos lo deja mejor posicionado en términos de desempeño energético, lo cual es coherente con las ventajas de la tecnología *Inverter* que se reflejan cuando se utilizan los ensayos a carga parcial.

Según los resultados presentados en la Tabla 5, algunas de las tecnologías que se comercializan en la región de Sur América ya no se permiten comercializar en los Estados Unidos siendo un país que tiene un reglamento de etiquetado más exigente. Los resultados obtenidos para acondicionadores de aire tipo residencial sin ductos clasificados según los países analizados en la región permiten concluir que actualmente existe una buena coherencia en términos de armonización de los reglamentos en pro de obtener mejores eficiencias y menores emisiones de gases efecto invernadero y así mitigar los efectos del calentamiento global.

Para la clasificación de desempeño de los refrigeradores domésticos, se utilizó como referencia tres refrigeradores domésticos tipo no Frost, de la misma capacidad volumétrica, (volumen total refrigerado de 513 L, distribuidos en 372 L en el compartimiento de alimentos frescos y 141 L en el compartimiento de alimentos congelados) trabajando

cada uno con diferentes refrigerantes. Los refrigerantes analizados fueron el R134a como base y los refrigerantes R600a y R513A considerados como sustitutos de baja huella de carbono GWP del R134a. Las pruebas experimentales se desarrollaron en la Universidad de Guanajuato bajo las condiciones de operación establecidas en las diferentes normativas mencionadas en el presente artículo. La Tabla 6 presenta el consumo de energía de los equipos operando con los diferentes refrigerantes.

Tabla 6. Consumo energético para los diferentes refrigeradores.

Refrigerador doméstico tipo No-Frost			
Resultados obtenidos	Refrigerante		
	R134a	R600a	R513A
Consumo de energía (kWh/día)	1.493	1.338	1.549

Los resultados muestran una reducción del 11% en la implementación del refrigerante R600a con respecto al uso del R134a. Por tal motivo se considera este refrigerante como una alternativa que favorece a la clasificación de desempeño para el etiquetado en los diferentes países.

La Tabla 7 muestra la clasificación de desempeño para los resultados obtenidos para los diferentes refrigeradores. Esta clasificación se presenta para Colombia, Brasil, Perú y México. Para el caso del refrigerador con R600a se encuentra en la mejor clasificación para los diferentes países, presentando un mayor ahorro de energía con respecto a la evaluación de la normativa mexicana.

Tabla 7. Clasificación de los resultados según los reglamentos de etiquetado de cada país para el refrigerador doméstico.

Refrigerador doméstico tipo No-Frost			
País	Refrigerante		
	R134a	R600a	R513A
Brasil	A+++	A+++	A++
Colombia	B	A	B
Perú	B	A	B
México (Ahorro de energía)	12%	21%	9%

Según los resultados presentados en la Tabla 7, el equipo que opera con R134a, presenta la mejor clasificación con respecto a la normativa de Brasil, y una menor clasificación para los demás países. Debido a que el equipo que opera con R513A presentó un mayor consumo de energía, se encuentra en la segunda

clasificación en los países mencionados en la Tabla 7. Considerando el GWP de los diferentes refrigerantes (1300, 573 y 10 para el R134a, R513A y R600a, respectivamente), se pueden plantear alternativas de mejora en los equipos que ayuden a mejorar la clasificación de estos ya que presentan una reducción con respecto al impacto directo en el calentamiento global.

2.6. Conclusiones

Este artículo presentó un análisis basado en las clasificaciones de desempeño aplicadas a acondicionadores de aire sin ducto y refrigeradores-congeladores domésticos, de acuerdo con los programas de etiquetado de algunos países de Sur América entre los que se incluyeron Brasil, Colombia, México y Perú. Para el caso de estudio se seleccionaron equipos que operan bajo la tecnología de compresión de vapor como dispositivos de alto consumo energético en aplicaciones residenciales, los cuales se encuentran dentro del alcance de todos los reglamentos de etiquetado analizados. Los resultados muestran las diferencias en las clasificaciones según las distintas reglamentaciones, concluyendo que actualmente existe una buena coherencia en términos de armonización de los reglamentos.

La revisión general del estado del arte permite concluir que los gobiernos de la región están haciendo la transición e implementación hacia normas que representan las ventajas de nuevas tecnologías, siguiendo las tendencias a nivel mundial.

No obstante, una recomendación general para los gobiernos encargados de establecer las reglamentaciones de etiquetado es promover el uso de equipos que operen con refrigerantes de baja huella de carbono, por ejemplo, estableciendo clasificaciones menos rigurosas en comparación con los refrigerantes actualmente utilizados como el R410A, el R22 y otros. Estos resultados pueden ser de gran interés para desarrollar políticas que aceleren la transformación del mercado hacia el uso de productos de alta eficiencia y alcanzar los objetivos trazados por la disminución de emisiones de dióxido de carbono y la mitigación de los efectos del calentamiento global.

2.7. Agradecimientos

Agradecimientos al Laboratorio de Ensayos para Equipos Acondicionadores de Aire LPEA asociado a la Vicerrectoría de Investigación, Innovación y Extensión de la Universidad Tecnológica de Pereira por la financiación del proyecto con código 8-22-2, y al Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías de la Universidad de Guanajuato.

3. Referencias

- [1] Anker Nielsen P. Household energy use and the environment- a conflicting issue. *Applied Energy* 2003;76:189-196.
- [2] Kyu L. Dae; et al. Method to control an air conditioner by directly measuring the relative humidity of indoor air to improve the comfort and energy efficiency. *Applied Energy* 2018; 215:290-299.
- [3] Andrade, A., Restrepo, A., Tibaquirá, J.E. A comprehensive review of using cooling seasonal performance factor (CSPF) compared to energy efficiency ratio (EER) for air conditioning equipment in Colombia. ECOS 2019- Proceedings of the 32nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Wroclaw, 979 - 997.
- [4] Jain. Manisha., et al., Consumer preference for labels in the purchase decision of air conditioners in India. *Energy for sustainable development* 2018;42:24-31.
- [5] Harrington Lloyd; Brown Jack. Energy standards and labelling programs throughout the world in 2013. Technical Report. 2014. Energies efficient strategies and MAIA consulting for the Australian Department of Industry.
- [6] Econoler, Navigant, CEIS and ACEEE. Cooling benchmarking study report. Technical Report.2011.
- [7] Park, W. Y., Shah, N., Choi, J. Y., Kang, H. J., Kim, D. H., & Phadke, A. Lost in translation: Overcoming divergent seasonal performance metrics to strengthen air conditioner energy-efficiency policies. *Energy for Sustainable Development*, 2020; 55, 56-68.
- [8] Andrade, A., Restrepo, A., & Tibaquirá, J. E. EER or Fcsp: A performance analysis of fixed and variable air conditioning at different cooling thermal conditions. *Energy Reports*, 2020; 7, 537-545.
- [9] Lim, J., Yoon, M. S., Al-Qahtani, T., & Nam, Y. Feasibility study on variable-speed air conditioner under hot climate based on real-scale experiment and energy simulation. *Energies*, 2020; 12(8), 1489.
- [10] Shah, N., Park, W. Y., & Ding, C. Trends in best-in-class energy-efficient technologies for room air conditioners. *Energy Reports*, 2021; 7, 3162-3170.
- [11] Park, W. Y., Shah, N., Vine, E., Blake, P., Holuj, B., Kim, J. H., & Kim, D. H. Ensuring the climate benefits of the Montreal Protocol: Global governance architecture for cooling efficiency and alternative refrigerants. *Energy Research & Social Science*, 2021; 76, 102068.

[12] Mahlia, T. M. I., & Saidur, R. A review on test procedure, energy efficiency standards and energy labels for room air conditioners and refrigerator-freezers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 2010; 1888-1900.

[13] McMahon, J. E., & Wiel, S. Energy-efficiency labels and standards: A guidebook for appliances, equipment and lighting (No. LBNL-45387). Lawrence Berkeley National Lab.(LBNL), 2001; Berkeley, CA (United States).