

Influencia de los pisos térmicos en la implementación de la norma ISO 16358-1 para el cálculo del factor de desempeño estacional de enfriamiento en Colombia

Andrés Felipe Arias-Morales¹, Yamid Alberto Carranza-Sánchez², Álvaro Restrepo³

¹Grupo de investigación en Gestión Energética (GENERÉTICA), Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Email: andresfelipe-arias@utp.edu.co

²Grupo de investigación en Gestión Energética (GENERÉTICA), Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Email: yamidc@utp.edu.co

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

Resumen

En este documento se encuentra la primera aproximación a la implementación de la norma internacional ISO 16358-1 considerando las condiciones climáticas de Colombia. Se calcula el factor de desempeño estacional de enfriamiento (*CSPF*) de un equipo acondicionador de aire de velocidad fija y de otro de tecnología inverter. Los ensayos de laboratorio pertinentes son realizados en una cámara calorimétrica siguiendo el procedimiento establecido en el estándar ISO 5151. Se analizan las condiciones meteorológicas nacionales y por medio de un registro histórico del clima se determina la función de distribución normal que permite construir la tabla de temperaturas de referencia para Colombia, fundamental en el cálculo del *CSPF*. Los cálculos indican un mayor rendimiento del equipo de velocidad variable. Los resultados se relacionan con una tabla de clasificación de eficiencia energética, y también son comparados con el *CSPF* obtenido por defecto al considerar los valores ya establecidos en el estándar internacional.

Palabras clave: Factor de desempeño estacional de enfriamiento; *CSPF*; acondicionamiento de aire; pisos térmicos.

Abstract

This document shows the first approach to the implementation of the ISO 16358-1 standard considering the climatic conditions of Colombia. The Cooling Seasonal Performance Factor (*CSPF*) of a fixed speed air conditioner and an inverter air conditioner is calculated. The pertinent laboratory tests are carried out in a calorimetric chamber following the procedure established in the ISO 5151 standard. The national meteorological conditions are analyzed and by means of a historical climate record, a normal distribution function is determined that allows the construction of the reference outdoor temperature table for Colombia, fundamental in the calculation of the *CSPF*. The calculations indicate a higher performance of the variable speed equipment. The results are related to an energy efficiency classification table and are also compared with the *CSPF* obtained by default when considering the values already established in the international standard.

Keywords: Cooling Seasonal Performance Factor; *CSPF*; air conditioning; thermal floors.

1. Introducción

Los equipos de acondicionamiento de aire cuentan con un alto nivel de contaminación debido a la huella de carbono provocada por su refrigerante y también por el

elevado consumo energético durante su tiempo de operación, pues se estima que el uso de este tipo de dispositivos representa el 20% del total de la energía empleada en los países desarrollados [1]. El aumento de la energía consumida por los sistemas de

refrigeración y las emisiones de gases que producen se han convertido en motivo de preocupación actual y en un propósito prioritario en las políticas energéticas de muchos países [2]. Para mitigar la contaminación producida por los equipos acondicionadores de aire, un gran número de naciones hacen uso de las normas de eficiencia energética, que son la herramienta fundamental para lograr los objetivos de conservación de la energía y la reducción de emisiones contaminantes [3].

Diferentes tratados a nivel mundial han implementado políticas para reducir el daño causado por los equipos en contexto a la capa de ozono y su contribución negativa al calentamiento global. Algunos de los métodos para contrarrestar este efecto son el estudio e implementación de parámetros para medir el daño causado al medio ambiente y el uso de factores que cuantifican el rendimiento energético de los acondicionadores de aire, tales como el Potencial de Agotamiento del Ozono *ODP* por sus siglas en inglés (*Ozone Depletion Potential*), el Potencial de Calentamiento Global *GWP* (*Global Warming Potential*) y la Relación de Eficiencia Energética *EER* (*Energy Efficiency Ratio*) que estima el desempeño de los equipos de acondicionamiento de aire cuando operan a carga plena. Sin embargo, el *EER* ha dejado de ser un indicador de eficiencia energética representativo debido principalmente a los avances tecnológicos de los equipos de climatización, ya que, en la actualidad, en su mayoría operan a cargas parciales regularmente [4][5]. Por este motivo, y con el fin de realizar ensayos a los equipos de acondicionamiento de aire bajo unas condiciones de operación lo más cercanas posible a su funcionamiento cotidiano, es pertinente considerar estándares que permitan determinar el desempeño energético estacional de los dispositivos de enfriamiento. La norma ISO 16358-1 "*Air-cooled air conditioners and air-to-air heat pumps - Testing and calculating methods for seasonal performance*", establece el modelo matemático para calcular el Factor de Desempeño Estacional de Enfriamiento *CSPF* por sus siglas en inglés (*Cooling Seasonal Performance Factor*), y los ensayos de laboratorio que deben realizarse previamente a los equipos acondicionadores de aire para determinar algunos valores esenciales en el cálculo del *CSPF*. En su última versión del año 2019, la norma ISO 16358-1, contiene información adicional para el cálculo del *CSPF* en equipos desarrollados para operar en climas calientes [6]. Los equipos aptos para ser sometidos a ensayos de laboratorio son los que se encuentran cubiertos por el estándar ISO 5151 "*Non-ducted air conditioners and heat pumps - Testing and rating for performance*" [7], donde además se explica de forma más explícita las condiciones que se deben cumplir para llevar a cabo cada prueba y los parámetros a encontrar durante los ensayos de laboratorio. El resultado del *CSPF* depende de la temperatura exterior

de la zona en la que se espera que funcione el equipo de acondicionamiento de aire. Para facilitar este proceso, en la norma ISO 16358-1 se adjunta una tabla de distribución generalizada de temperatura exterior, que puede modificarse en función de las condiciones meteorológicas locales [8].

Debido a su ubicación geográfica, las regiones del planeta que ocupan el espacio entre las líneas de latitud, trópico de cáncer y trópico de Capricornio, más conocidas como zona intertropical, a diferencia de las extensiones norte y sur del globo que presentan las cuatro estaciones climáticas del año, experimentan diferentes cambios meteorológicos dependiendo de la altura de la superficie sobre el nivel del mar, sin que les afecte la época del año. Esto ocurre en Colombia [9] [10], donde se aplica el concepto de pisos térmicos o pisos bióticos, que se utiliza para determinar la temperatura de una zona, tomando como referencia su elevación, lo cual es fundamental para el cálculo del *CSPF* de un equipo de acondicionamiento de aire que funcione en el país.

En Colombia, la Ley 697 de 2001 promueve el uso racional y eficiente de la energía para contribuir a elevar la calidad de vida humana sin agotar los recursos naturales ni deteriorar el medio ambiente [11]. La promulgación de esta ley ha dado paso a que en el país se implemente de modo obligatorio el etiquetado de electrodomésticos desde el año 2016, en el cual el Reglamento Técnico de Etiquetado *RETIQ* ha establecido rangos mínimos de eficiencia energética para los equipos que se comercializan en la región, con el fin de tener acceso exclusivamente a los aparatos de mayor calidad. En el caso de los equipos acondicionadores de aire, las pruebas de eficiencia energética que deben realizarse previamente para lograr la demarcación de la etiqueta se llevan a cabo en el Laboratorio de Ensayos para Equipos Acondicionadores de Aire *LPEA* de la Universidad Tecnológica de Pereira *UTP*. Este laboratorio cuenta con una cámara calorimétrica, en la cual es posible encontrar los valores de la relación de eficiencia energética, la potencia de consumo y la capacidad de enfriamiento de cada equipo en prueba según lo estipulado en el estándar ISO 5151.

El objetivo principal de este trabajo es mostrar los resultados de la adaptación de la norma ISO 16358-1 a las condiciones climáticas de Colombia y calcular el valor del factor de desempeño estacional de enfriamiento para dos unidades de acondicionamiento de aire diferentes. Estos valores se comparan con los resultados del cálculo del *CSPF* de los mismos equipos sin considerar la influencia del clima colombiano. También con el fin de obtener una apreciación de los resultados obtenidos, se comparan con una tabla de clasificación energética de equipos de acondicionamiento de aire de otro país, pues al ser este

documento la primera aproximación en Colombia referente a esta implementación, la nación no cuenta con su propia tabla de clasificación energética estacional.

2. Método(s), metodología

Para el desarrollo del trabajo, primero se analiza el planteamiento matemático de la norma ISO 16358-1, luego se ha estudiado el clima del territorio colombiano, posteriormente se llevan los equipos acondicionadores de aire a ensayos de laboratorio para determinar algunos parámetros pertinentes. A continuación, se determina el factor de desempeño estacional de enfriamiento de dos unidades de climatización de acuerdo con los resultados de los ensayos de laboratorio y la consideración de la influencia del clima de Colombia, y finalmente se compara este cálculo con el *CSPF* de cada equipo teniendo en cuenta los datos establecidos por defecto en el estándar internacional

2.1. Norma ISO 16358-1

La norma ISO 16358-1 presenta el método para calcular el factor de desempeño estacional de enfriamiento *CSPF*. Principalmente, depende de la capacidad de refrigeración estacional y la potencia de consumo estacional del equipo de acondicionamiento de aire.

$$F_{CSP} = \frac{L_{CST}}{C_{CSE}} \quad (1)$$

Donde:

F_{CSP} : Factor de desempeño estacional de enfriamiento [Wh/Wh].

L_{CST} : Carga total estacional de enfriamiento [Wh].

C_{CSE} : Consumo de energía estacional de enfriamiento [Wh].

La carga total estacional de enfriamiento *CSTL*, por sus siglas en inglés (*Cooling Seasonal Total Load*), está relacionada con la capacidad de enfriamiento y la carga de refrigeración del equipo calculadas para diferentes valores de temperatura del aire ambiente, y también, con la frecuencia con que se presentan cada una de estas magnitudes de temperatura durante la temporada de enfriamiento. El consumo de energía estacional de enfriamiento *CSEC*, por sus siglas en inglés (*Cooling Seasonal Energy Consumption*), depende principalmente de la potencia consumida por el equipo y de la influencia de la temperatura del aire. Las condiciones y los métodos de ensayo para determinar la capacidad de enfriamiento y la potencia consumida por el equipo se encuentran estipuladas en el estándar internacional, y dichos valores se obtienen por medio de la cámara calorimétrica. También es importante

considerar que el procedimiento matemático para hallar el *CSEC* puede variar de acuerdo con la tecnología del equipo que se esté sometiendo a prueba.

$$L_{CST} = \sum_{j=1}^m L_C(t_j) \cdot n_j + \sum_{j=m+1}^n \Phi_{ful}(t_j) \cdot n_j \quad (2)$$

Donde:

L_{CST} : Carga total estacional de enfriamiento [Wh].

$L_C(t_j)$: Carga de enfriamiento a una temperatura t_j [W].

t_j : Temperatura del aire [°C]

n_j : Tiempo de ocurrencia de cada magnitud de temperatura [h].

$\Phi_{ful}(t_j)$: Capacidad total de enfriamiento a una temperatura t_j [W].

El cálculo del consumo de energía estacional de enfriamiento de un dispositivo acondicionador de aire de velocidad fija puede determinarse mediante la ecuación (3).

$$C_{CSE} = \sum_{j=1}^n X(t_j) \cdot P_{ful}(t_j) \cdot \frac{n_j}{F_{PL}(t_j)} \quad (3)$$

Donde:

C_{CSE} : Consumo de energía estacional de enfriamiento [Wh].

$X(t_j)$: Relación entre la carga y la capacidad de enfriamiento a una temperatura t_j [-].

$P_{ful}(t_j)$: Potencia de consumo de enfriamiento total a una temperatura t_j [W].

$F_{PL}(t_j)$: Factor de carga parcial a una temperatura t_j [-].

Para el caso en el que se busca encontrar el consumo de energía estacional de enfriamiento de un equipo de velocidad variable, se debe usar la ecuación (4).

$$C_{CSE} = \sum_{j=1}^p \frac{X(t_j) \cdot P_{haf}(t_j) \cdot n_j}{F_{PL}(t_j)} + \sum_{j=p+1}^m P_{hf}(t_j) \cdot n_j + \sum_{j=p+1}^m P_{ful}(t_j) \cdot n_j \quad (4)$$

Donde:

$P_{haf}(t_j)$: Potencia media de consumo a una temperatura t_j [W].

$P_{hf}(t_j)$: Potencia de consumo cuando el equipo opera entre la capacidad plena y media variablemente a una temperatura (t_j) [W].

La carga de enfriamiento, L_C , la capacidad total de enfriamiento, Φ_{ful} , la relación entre la carga y la capacidad de enfriamiento, X , la potencia de consumo de enfriamiento total, P_{ful} , la potencia media de consumo, P_{haf} , la potencia de consumo cuando el equipo opera entre la capacidad plena y la capacidad media, P_{hf} , y el factor de carga parcial, F_{PL} , están en función de la temperatura exterior y pueden calcularse a partir de los resultados de los ensayos de laboratorio. Por otra parte, el término n_j , denominado, horas de referencia, está relacionado con la temperatura del aire exterior, y se obtiene en la norma ISO 16358-1.

Para encontrar una temperatura exterior generalizada del país, necesaria para construir una distribución de temperatura exterior de referencia de Colombia, se han seleccionado algunas ciudades representativas del clima nacional. Para lograr este objetivo, primero se han clasificado las ciudades del país de acuerdo con su población, ya que se considera que cuando los habitantes de una ciudad son más abundantes, su demanda de equipos acondicionadores de aire es mayor. Cada una de las ciudades se ha tabulado con su respectiva altitud y luego se han clasificado de acuerdo con su correspondiente piso térmico. Es importante tener en cuenta que en las ciudades con temperaturas

Tabla 1. Temperatura exterior de referencia de la norma ISO 16358-1

Número j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total
Temperatura (t_j) °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	—
Fración de hora	0,055	0,076	0,091	0,108	0,116	0,118	0,116	0,1	0,083	0,066	0,041	0,019	0,006	0,003	0,002	—
Horas de referencia (n_j) h	100	139	165	196	210	215	210	181	150	120	75	35	11	6	4	1817

Fuente: Adaptado de [8]

La Tabla 1, muestra algunos parámetros relacionados con la temperatura exterior y puede ser fijada de acuerdo con las condiciones climáticas del lugar donde se espera que funcione el equipo. Las horas de referencia n_j , representan el número de horas en que la temperatura exterior t_j , podría estar presente durante la temporada de enfriamiento [6]. Es indispensable estudiar el clima colombiano para establecer la Tabla 2 Tabla 1 de acuerdo con las condiciones climáticas locales para calcular apropiadamente el CSPF de un equipo de acondicionamiento de aire que opere en el país.

2.2. Clima de Colombia

Colombia se encuentra en la zona intertropical del planeta. Por esta razón, a diferencia de los países que cuentan con estaciones climáticas, en Colombia es posible experimentar un amplio rango de temperaturas del ambiente y una gran variedad de condiciones climáticas durante cualquier época del año. Hay muchos factores que pueden afectar al clima de una locación, sin embargo, la altura sobre el nivel del mar tiene un impacto fundamental en la temperatura exterior. Este comportamiento del clima fue estudiado por Francisco José de Caldas y se adapta con gran precisión en el país. Teniendo en cuenta la información anterior, el "Instituto de hidrología, meteorología, y Estudios Ambientales, (IDEAM)" ha actualizado y clasificado algunos intervalos de temperatura correspondientes a ciertos rangos de altitud, a los que se les conoce como pisos térmicos [12].

bajas no se considera necesario el uso de equipos de enfriamiento.

Asimismo, es fundamental que la ubicación de las ciudades representativas esté distribuida en regiones con diferentes características geográficas a lo largo del territorio nacional. Finalmente, siguiendo los parámetros anteriores, se han elegido siete localidades como ciudades representativas del clima colombiano.

Tabla 2. Ciudades representativas del clima colombiano.

	Ciudad	Población	Altitud [m]	Piso térmico
1	Medellín	2.549.537	1579	Templado
2	Cali	2.470.747	926	Templado
3	Barranquilla	1.236.489	24	Cálido
4	Cúcuta	675.008	297	Cálido
5	Bucaramanga	528.694	950	Templado
6	Villavicencio	527.668	449	Cálido
7	Pereira	478.931	1411	Templado

Fuente: Elaboración propia

2.3. Ensayos de laboratorio

Un equipo de acondicionamiento de aire tipo ventana de velocidad fija con una capacidad de enfriamiento nominal de 18000 BTU/h y una unidad de enfriamiento tipo Split de velocidad variable con una capacidad de refrigeración nominal de 24000 BTU/h han sido sometidos a pruebas de laboratorio en el LPEA. Las condiciones de los ensayos de laboratorio varían para cada tipo de equipo, como se indica en la norma ISO 16358-1. Para el caso de los equipos de velocidad fija,

las pruebas deben realizarse con el equipo funcionando a plena carga, mientras que en los equipos de velocidad variable, se deben ejecutar pruebas con el equipo operando a plena carga y también al 50% de su capacidad total. Para ambos dispositivos se halla la capacidad de enfriamiento a carga total y la potencia consumida a plena carga, pero en los equipos de velocidad variable se determinan también los parámetros anteriores cuando el equipo trabaja a la mitad de su capacidad.

3. Resultados

Para cada ciudad representativa del clima colombiano se ha recopilado un registro de datos de temperatura proporcionado por el IDEAM, medidos cada hora durante el periodo de tiempo comprendido entre los años 2015 a 2019. Cabe destacar que la temporada de enfriamiento en Colombia dura todo el año. Los valores de temperatura del aire ambiente han sido examinados con su respectiva frecuencia durante el periodo de estudio, luego son ponderados, y se ha encontrado la distribución de temperatura en Colombia de la Figura 1, en la que se destaca la ocurrencia de temperaturas características de un clima moderado.

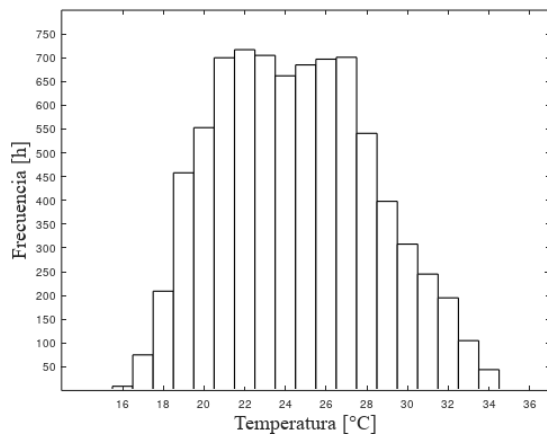


Figura 1. Distribución de temperatura en Colombia.
Fuente: Elaboración propia

Es pertinente encontrar una función de densidad de probabilidad para conocer la posible ocurrencia de cualquiera de los valores de temperatura mostrados en la Figura 1 para establecer una tabla de distribución de temperatura exterior de referencia de acuerdo con las

condiciones climáticas de Colombia. Dada la tendencia de la Figura 1, es correcto afirmar que esta representación puede aproximarse a una distribución de probabilidad normal, y a partir de ella es factible encontrar las horas de referencia de cada temperatura exterior.

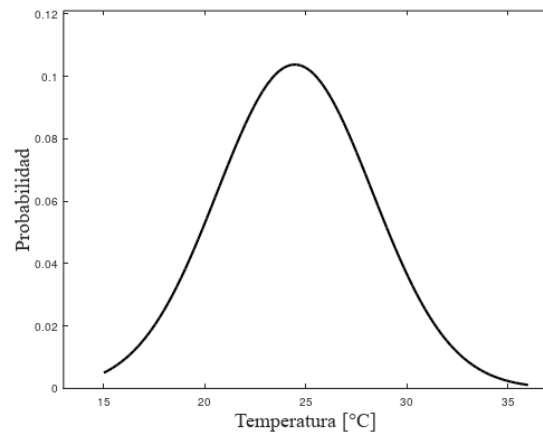


Figura 2. Distribución de probabilidad de temperatura.
Fuente: Elaboración propia

Por último, los datos de temperatura del aire inferiores a 21°C no son considerados para construir la Tabla 3, ya que los equipos acondicionadores de aire no suelen utilizarse bajo esas condiciones climáticas. Los valores de temperatura ambiente superiores a 35°C no se tienen en cuenta debido a que su frecuencia ocupa un mínimo porcentaje del total de horas de referencia.

Los resultados de los ensayos de laboratorio de los equipos de acondicionamiento de aire de velocidad fija y de velocidad variable se muestran en la Tabla 4 y en la Tabla 5, respectivamente.

Una vez obtenida la información anterior, y siguiendo el tratamiento matemático propuesto en el estándar ISO 16358-1, es posible calcular el factor de desempeño estacional de enfriamiento de cada unidad de acondicionamiento de aire operando en Colombia.

Para el equipo tipo ventana de velocidad fija:

$$F_{CSP} = \frac{11597400 \text{ W.h}}{3844604,9 \text{ W.h}} = 3,01 \frac{\text{Wh}}{\text{Wh}} \quad (5)$$

Tabla 3. Temperatura exterior de referencia para Colombia

Número j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total
Temperatura (tj) °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	—
Fración de hora	0,08	0,099	0,11	0,121	0,121	0,113	0,099	0,081	0,062	0,044	0,029	0,018	0,011	0,006	0,003	—
Horas de referencia (nj) h	497	609	697	745	746	697	610	498	381	272	181	113	66	36	20	6168

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Resultados de laboratorio de equipo de velocidad fija

Acondicionador de aire de velocidad fija	
Prueba	Resultado [W]
Capacidad de enfriamiento total $\phi_{ful}(35)$	5100
Potencia de consumo total $P_{ful}(35)$	1800
Capacidad de enfriamiento total $\phi_{ful}(29)$	5493
Potencia de consumo total $P_{ful}(29)$	1645

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Resultados de laboratorio de equipo de velocidad variable

Acondicionador de aire de velocidad variable	
Prueba	Resultado [W]
Capacidad de enfriamiento total $\phi_{ful}(35)$	7091
Potencia de consumo total $P_{ful}(35)$	2332
Capacidad de enfriamiento media $\phi_{haf}(35)$	3572
Potencia de consume media $P_{haf}(35)$	793
Capacidad de enfriamiento total $\phi_{ful}(29)$	7637
Potencia de consumo total $P_{ful}(29)$	2131,45
Capacidad de enfriamiento media $\phi_{haf}(29)$	3847,04
Potencia de consume media $P_{haf}(29)$	724,8

Fuente: Elaboración propia

Para el dispositivo de enfriamiento de velocidad variable:

$$F_{CSP} = \frac{16124934 \text{ W.h}}{3210465,43 \text{ W.h}} = 5,02 \frac{\text{Wh}}{\text{Wh}} \quad (6)$$

Es evidente que el CSPF del equipo de acondicionamiento de aire con tecnología inverter es mayor que el CSPF del acondicionador de aire de velocidad fija. Sin embargo, al ser esta la primera aproximación al cálculo de la CSPF en Colombia, aún no se cuenta con un parámetro de referencia local para tener una noción sobre qué tan eficientes son los equipos evaluados. Una alternativa válida para comparar este índice de desempeño energético es confrontar el resultado del CSPF considerando los valores de referencia de temperatura exterior establecidos en la norma ISO 16358-1 con los valores obtenidos teniendo en cuenta el clima colombiano. El factor de desempeño estacional de enfriamiento del acondicionador de aire tipo ventana, utilizando los valores de los datos de la Tabla 1 es:

$$F_{CSP} = \frac{3738980 \text{ W.h}}{1242713,56 \text{ W.h}} = 3,008 \frac{\text{Wh}}{\text{Wh}} \quad (7)$$

Ahora, determinando el CSPF del equipo de acondicionamiento de aire tipo split, utilizando los valores de la información de la Tabla 1 es:

$$F_{CSP} = \frac{5198648,47 \text{ W.h}}{1029213,24 \text{ W.h}} = 5,05 \frac{\text{Wh}}{\text{Wh}} \quad (8)$$

Los valores de la carga total estacional de enfriamiento y del consumo energético estacional de enfriamiento son mucho más elevados cuando se calcula el CSPF considerando el clima colombiano, ya que la temporada de refrigeración es más larga en Colombia. Sin embargo, la diferencia en los resultados del factor de desempeño estacional de enfriamiento en ambos equipos de acondicionamiento de aire no es muy significativa debido a que los valores de fracción de hora de cada uno de los datos de temperatura ambiente no presentan una diferencia notable entre ambas tablas.

Tabla 6. Clasificación de eficiencia energética en Filipinas

Clasificación de eficiencia energética (Tipo ventana & Tipo split)		
CEE	Factor de desempeño estacional de enfriamiento (CSPF)	
	Velocidad fija	Velocidad variable
	CE > 12000 BTU/h	CE > 12000 BTU/h
Una Estrella	2,81 a 2,83	—
Dos Estrellas	2,84 a 2,94	—
Tres Estrellas	2,95 a 3,12	—
Cuatro Estrellas	3,13 a 3,76	3,13 a 3,76
Cinco Estrellas	3,77 y superior	3,77 y superior

Fuente: Adaptado de [13].

Por otra parte, la Tabla 6 se utiliza en Filipinas como herramienta para calificar el factor de desempeño estacional de enfriamiento de los equipos acondicionadores de aire de tipo ventana y tipo split en función de su capacidad de enfriamiento nominal, otorgando una estrella a los equipos de rendimiento deficiente y cinco estrellas a los equipos con excelentes cualidades energéticas [13].

Siguiendo esta clasificación, el equipo de tipo ventana, en ambos casos en los que se ha calculado el CSPF, recibe una calificación de tres estrellas, lo que indica un nivel intermedio de desempeño energético, mientras el equipo de velocidad variable recibe una calificación de cinco estrellas, lo que evidencia que tiene un rendimiento excelente. El alto valor de CSPF del dispositivo tipo split se refleja en que su CSEC es menor que el consumo energético estacional de enfriamiento del equipo tipo ventana, y a su vez el CSTL es también mayor en la unidad de velocidad variable, lo que garantiza su superioridad en la eficiencia energética frente al otro dispositivo.

Es válido afirmar que mediante la implementación de la norma ISO 16358-1 en Colombia, se estima la cantidad de calor removida de un espacio y la energía consumida por un equipo de acondicionamiento de aire durante la temporada de enfriamiento en el país.

4. Conclusiones

Se ha estudiado y caracterizado el clima colombiano, luego se han seleccionado siete ciudades que representan algunos pisos térmicos del país con el fin de implementar la norma ISO 16358-1 para el cálculo del factor de desempeño estacional de enfriamiento en Colombia. Se han recogido los datos de temperatura hora a hora de cada localidad a través de información brindada por el IDEAM, posteriormente los datos han sido sometidos a un tratamiento estadístico para construir la distribución de temperatura exterior de referencia para Colombia. Se sugiere actualizar la Tabla 3 periódicamente, ya que al considerar un registro de temperaturas en un rango de tiempo más amplio del que se ha tomado inicialmente (2015 – 2019), se puede mejorar la confiabilidad en los resultados del *CSPF*.

Por otro lado, han sido sometidos a ensayos de laboratorio un equipo acondicionador de aire tipo ventana de velocidad fija con una capacidad de enfriamiento determinada por el fabricante de 18000 BTU/h y otra unidad de enfriamiento inverter de tipo split con una capacidad de enfriamiento nominal de 24000 BTU/h y los resultados se han utilizado para llevar a cabo el procedimiento matemático presente en el estándar internacional para calcular el *CSPF*. El resultado del factor de desempeño estacional de enfriamiento en Colombia del equipo de velocidad fija es de 3,01, mientras que el equipo de velocidad variable tiene un *CSPF* de 5,02. Estos resultados muestran la superioridad en la relación beneficio-consumo del equipo inverter frente al de velocidad fija. Asimismo, se puede afirmar que a partir del cálculo del factor de desempeño estacional de enfriamiento es posible tener una proyección de la capacidad frigorífica emanada y de la potencia consumida por el equipo de climatización durante la temporada de enfriamiento.

El *CSPF* podría considerarse como un índice de desempeño más preciso que el *EER*, ya que el *CSPF* mide el rendimiento de un equipo a carga parcial, que es la misma forma en que los equipos operan rutinariamente, mientras que el *EER* se estima en una prueba de carga completa, que es un modo de operación inusual en los equipos acondicionadores de aire de velocidad variable.

Una vez obtenidos los resultados del factor de desempeño estacional de enfriamiento al considerar la influencia de los pisos térmicos, se ha calculado también el *CSPF* tal y como indica la norma ISO 16358-1 de los equipos de acondicionamiento de aire

anteriormente mencionados, con el fin de comparar los resultados encontrados. La apreciación más notable es que en ambos casos, los equipos difieren considerablemente en la carga total estacional de enfriamiento y en el consumo energético estacional de enfriamiento. Sin embargo, los resultados obtenidos del *CSPF* como lo indica la norma internacional, y el *CSPF* teniendo en cuenta el efecto del clima colombiano, presentan una discrepancia poco significativa. La anterior afirmación refleja la importancia del tiempo de duración de la temporada de enfriamiento para calcular el factor de desempeño estacional de enfriamiento.

5. Referencias

- [1] W. H. Chen, H. E. Mo, and T. P. Teng, "Performance improvement of a split air conditioner by using an energy saving device," *Energy Build*, vol. 174, pp. 380–387, 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.06.055.
- [2] L. Pérez, J. Ortiz, and C. Pout, "A review on buildings energy consumption information'," vol. 40, pp. 394–398, 2008, doi: 10.1016/j.enbuild.2007.03.007.
- [3] J. Wu, Z. Xu, and F. Jiang, "Analysis and development trends of Chinese energy efficiency standards for room air conditioners," *Energy Policy*, vol. 125, no. November 2018, pp. 368–383, 2019, doi: 10.1016/j.enpol.2018.10.038.
- [4] N. Pabon Tello, H. Mariaca Orozco, A. Antolínez Esquivel, A. Leyva Mejia, C. Caicedo, and O. Acevedo, *Manual de buenas prácticas en refrigeración*. 2014.
- [5] W. Y. Park, N. Shah, J. Y. Choi, H. J. Kang, D. H. Kim, and A. Phadke, "Lost in translation: Overcoming divergent seasonal performance metrics to strengthen air conditioner energy-efficiency policies," *Energy for Sustainable Development*, vol. 55, pp. 56–68, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.esd.2020.01.003.
- [6] International Organization for Standardization, *ISO 16358-1:2013/AMD 1:2019 Air-cooled Air Conditioners and Air-to-Air Heat Pumps — Testing and Calculating Methods for Seasonal Performance Factors — Part 1: Cooling Seasonal Performance Factor — Amendment 1, 2019*.
- [7] International Organization for Standardization, *ISO Standard 5151. (2017). Non-ducted air conditioners and heat pumps - Testing and rating for performance*.
- [8] International Organization for Standardization, *ISO Standard 16358-1. (2013). Air-cooled air conditioners and air-to-air heat pumps - testing and calculating methods for seasonal performance factors - part 1: cooling seasonal performance factor*.

- [9] Sandoval, “Las estaciones del año en el Planeta Tierra,” *Scielo*, pp. 0–1, 2015, [Online]. Available: <http://www.juntadeandalucia.es/educacion/descargasrecursos/plc/html/primaria/cuatroest-anexo1.pdf>
- [10] J. O. Rangel-Ch., H. Sanchez, P. Lowy, M. Aguilar, and A. Castillo, *Una aproximación sobre la diversidad climática en las regiones naturales de Colombia*. 1995.
- [11] R. de C. Congreso de Colombia, “Ley 697 de 2001,” *Diario Oficial*, vol. 44573, no. Octubre 3, pp. 1–4, 2001, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [12] IDEAM, *Atlas climatológico de Colombia*. Colombia: Imprenta Nacional de Colombia, 2005, 2005.
- [13] D. O. E. Dc--, “Republic of the Philippines Edition 2016 Annex B . 1 Particular Product Requirements: Air Conditioners Table of Contents,” pp. 1–11, 2016.