

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS
AMÉRICAS
VICERECTORÍA ACADÉMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

INFORME FINAL DE GRADUACIÓN

**PROPUESTA DE REGLAMENTACIÓN TÉCNICA EN
EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EQUIPOS DE AIRE
ACONDICIONADO MENORES DE 17,5kW (60.000 BTU/h)
DE ENFRIAMIENTO, Y SUS POSIBLES BENEFICIOS PARA
COSTA RICA**

**MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

**ING. BRYAN ARIAS OBANDO
AUTOR**

**Tutor: ING. BILLY RETANA PEÑA, MAIE
TUTOR**

**SEDE ARANJUEZ
AGOSTO, 2018**

Índice general

CAPÍTULO 1:	16
Introducción.....	16
Título	17
Problema	17
Objetivo general	17
Objetivos específicos	18
Alcances	18
Limitaciones	19
Antecedentes	19
Antecedente N.º 1	19
Antecedente N.º 2	21
Antecedente N.º 3	22
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	25
Conceptualización	25
Equipos y sistemas de aire acondicionado	25
Ciclo termodinámico.....	25
Refrigerantes	27
Indicadores de eficiencia energética	28
SEER- Relación de eficiencia energética estacional (Seasonal Energy Efficiency Ratio)	
.....	30
Legislación de eficiencia energética de Costa Rica	31
LEY N.º 8279- Sistema Nacional para la Calidad (publicada en La Gaceta del 21 mayo	
2002).	31
Decreto N.º 36499-S-MINAET, Reglamento para la elaboración de programas de	
gestión ambiental institucional en el sector público de Costa Rica (La Gaceta, 09 de	
mayo de 2011).....	34

INTE 28-01-13:2015 Eficiencia energética de los acondicionadores de aire tipo ventana, tipo dividido y tipo paquete. Requisitos.....	35
INTE 28-01-14:2015 Eficiencia energética Acondicionadores del aire de los tipos ventana, dividido y paquete etiquetado	38
INTE 28-01-14:2015 Directriz 11 MINAE (25 de julio de 2014)	41
Programa País de Carbono Neutralidad 2.0. Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional (Costa Rica)-Septiembre 2015, MINAE.....	42
Cámara Psicrométrica.....	44
Configuraciones de cámara psicrométrica	48
Método de entalpía de aire interior	48
Método de entalpía de aire al aire libre	49
El arreglo de cuarto de aire entalpía.....	51
Método de entalpía de refrigerante	52
Matemática financiera.....	53
Tasas de variación	53
Variación absoluta.....	54
Variación relativa:	55
Función pronóstico de Microsoft Office Excel	56
Análisis de Pareto.....	57
Definición de economía	58
MARCO METODOLÓGICO	60
Investigación descriptiva	60
Recopilación de datos	60
Análisis de datos.....	60
Propuesta	60
Comparación ambiental y energética.....	61
DIAGNÓSTICO	63
La eficiencia energética y los estándares mínimos de eficiencia energética	63

Legislación nacional referente a la eficiencia energética de equipos de aire acondicionado.....	64
Plan Nacional de Energía 2015-2030.....	66
Programa de Gestión Ambiental Institucional DE-36499-S-MINAE (PGAI)	67
Escenario energético de Costa Rica	70
Huella de carbono en Costa Rica	73
CAPÍTULO III DESARROLLO	76
Análisis de los equipos de aire acondicionado importados a Costa Rica	76
Base de datos para el estudio	77
Comportamiento de equipos de aire acondicionado importados a Costa Rica (2015-2017	77
Certificado AHRI en aires acondicionados importados.....	80
Cumplimiento de la normativa nacional de eficiencia energética en equipos de aire acondicionado	83
Toneladas de CO ₂ generadas por equipos de A/C (2015-2017)	84
Comportamiento del mercado de equipos de aire acondicionado en Centroamérica	86
Importaciones por país	86
Variación de las importaciones regionales.....	86
Origen de las importaciones.....	86
Análisis para equipos de aire acondicionado de velocidad variable	87
Propuesta SEER límites mínimos de eficiencia energética.....	87
Cámara psicrométrico	89
Interconexiones	90
Instrumentos para medición de temperaturas.....	91
Psicrómetro	92
Árbol de muestreo de aire	94
Instrumentos para mediciones de presión	96

Instrumentos para mediciones de presión estática y flujo de aire	96
Instrumentos eléctricos.....	97
Mediciones de presión del refrigerante	97
Mediciones del flujo de líquido.....	97
Instrumentos de medición de velocidad	98
Mediciones de tiempo y determinación de la masa (2).....	98
Dispositivo de toberas empleado para la medición de flujo de aire.....	98
Toberas	99
Aislante de ductos	100
Mediciones de presión estática.....	101
Lazo psicrométrico	102
Impacto económico-ambiental a partir de la propuesta Nuevos límites de eficiencia en equipos de aire acondicionado	105
Análisis de ahorros de energía eléctrica (primer escenario)	105
Análisis de impacto económico (primer escenario)	109
Proyección de consumo en GWh (segundo escenario)	113
Ahorro en generación eléctrica.....	117
Análisis ambiental.....	117
Dimensionamiento de la huella de carbono	118
Área boscosa	118
Pago de servicios ambientales.....	119
Litros de búnker evitados	120
Análisis de resultados	121
Conclusiones.....	125
Recomendaciones	130
Bibliografía.....	131
ANEXOS	135
A.1 Acuerdo de París, Ley 9405. Aprobado el 04 de octubre de 2016	135

A.2 Ejemplo de la distribución de la información de la etiqueta de los aires acondicionado.....	135
A.3.1 Ejemplo base de datos de equipos de aire acondicionado importados de aduana. (Facilitada por DIGECA).....	136
A.3.2 Ejemplo base de datos de equipos de aire acondicionado importados de aduana con información investigada. (Facilitada por DIGECA)	137
A.4 Costo promedio del KW/h generado en Costa Rica 2014	138
A.5 Documento de asistencia a instalaciones del ICE.....	139

Contenido de imágenes

Figura 1: Esquema básico del ciclo de refrigeración.....	26
Figura 2: Diagrama ideal de presión entalpía.....	27
Gráfico 1: Proyección de meta de CO ₂ generada a 2050 en millones de Ton.....	44
Imagen 1: Cámara psicrométrica.....	45
Figura 3: Método de entalpía de aire interior.....	49
Figura 4: Método entalpía de aire al aire libre.....	50
Figura 5: Método de cuarto de aire entalpía.....	51
Figura 6: Método de entalpía de refrigerante.....	53
Diagrama 1: Diagrama de flujo de la investigación.....	62
Diagrama 1: Diagrama de alcance de los PGAI.....	68
Diagrama 2: Diagrama de acción directriz 11- Minae.....	69
Gráfico 2: Costa Rica: Promedio de producción de electricidad 2018 por planta.....	70
Gráfico 3: Costa Rica, promedio de producción de electricidad 2018 por planta térmica... 71	71
Gráfico 4: Costa Rica, generación de electricidad histórica (1989-2014) y proyectada por el ICE (2015-2030).....	73
Gráfico 5: Cantidad de equipos importados por potencia de enfriamiento entre 2015 y 2017.....	79
Gráfico 6: Porcentaje de equipos certificados AHRI y normativa nacional importados, 2015.....	81
Gráfico 7: Porcentaje de equipos certificados AHRI y normativa nacional importados en el 2016.....	82
Gráfico 8: Porcentaje de equipos certificados AHRI y normativa nacional importados en el 2017.....	82
Gráfico 9: Promedio EER por potencia de enfriamiento importados entre 2015 y 2017.....	84
Gráfico 10: Estimación de toneladas CO ₂ por consumo de electricidad de los equipos de aire acondicionado importados. Periodo 2015-2017.....	85
Gráfico 11: a- Promedio de SEER por potencia de enfriamiento, equipos certificados importados entre 2015 y 201; b- Promedio de SEER por potencia de enfriamiento, equipos sin certificados importados entre 2015 y 2017.....	89
Figura 7: Psicrómetro.....	93
Figura 8: Árbol de muestreo de aire.....	94
Figura 9: Dispositivo para medición de flujo de aire.....	100
Figura 10: Medición de caída de presión estática del aire para una sección de serpentín sin ventiladores.....	102
Figura 11: Camara psicrométrica con sus respectivos lazos de acondicionamiento.....	103

Gráfico 12: Consumo GW/h SEER Real frente a consumo GWh SEER.....	107
Gráfico 13: Consumo GW/h EER Real frente a consumo GWh si todos los equipos cumplieran con la norma nacional para EER	109
Gráfico 14: Costo de la demanda energética de SEER real frente al SEER propuesto.....	111
Gráfico 15: Costo de la demanda energética de EER real frente a EER normativa.....	112
Gráfico 16: Proyección de GW/h con las propuestas EER y SEER.....	114
Gráfico 17: Proyección de GW/h con las propuestas EER y SEER.....	115
Gráfico 18: Porcentaje de generación eléctrica por tipo de fuente.....	117
Gráfico 19: Proyección de emisiones CO ₂ evitadas al 2030	118

Contenido de tablas y diagramas

Tabla 1: Relación de eficiencia de energética (REE). Capacidad ≤ 7038 W (≤ 24000 Btu/h)	37
Tabla 2: Relación de eficiencia energética (REE). Capacidad $> 7\ 038$ W a $\leq 10\ 553$ W ($> 24\ 000$ Btu/h a $\leq 36\ 000$ Btu/h)	37
Tabla 3: Relación de eficiencia de energética (REE). Capacidad $> 10\ 553$ W a $17\ 589$ W ($> 36\ 000$ Btu/h a $60\ 000$ Btu/h)	37
Tabla 4: Distribución de la generación de electricidad en Costa Rica, 2012	75
Tabla 5: Análisis según Pareto, equipos de aire acondicionado con mayor importación 2015-2017.	78
Tabla 6: Total de equipos de aire acondicionado por potencia térmica.	79
Tabla 7: Certificación AHRI y cumplimiento de la normativa nacional.....	81
Tabla 8: Promedio de cumplimiento de la normativa nacional por capacidad de enfriamiento	83
Tabla 9: Estimación de toneladas de CO ₂ generadas por consumo de electricidad	85
Tabla 10: Promedio de SEER sin certificado AHRI.	87
Tabla 11: Porcentaje de ahorro en kWh SEER.....	106
Tabla 12: Porcentaje de ahorro kWh EER.....	108
Tabla 13: Monto en dólares por kWh SEER.	110
Tabla 14: Monto en dólares por kWh EER.	110
Tabla 15: Métodos de proyección de la demanda GWh al 2030.....	114
Tabla 16: Temperaturas de bulbo seco/húmedo necesarias para pruebas de eficiencia energética.....	92
Tabla 17: Ahorro GWh y toneladas de CO ₂ al 2030.	116
Tabla 18: Fijación anual de CO ₂ por hectárea de bosque	119

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por los momentos buenos y también por los difíciles, por los errores que he cometido y me han dejado enseñanza; por lo bueno que tengo hoy y por lo que está por venir; pero principalmente por el más importante, el don de la vida y el privilegio de vivirla hasta estos días.

Agradecido con mi esposa Jeimy, quien es mi apoyo día con día en mi propósito de ser mejor.

Agradecido con los profesores y compañeros de la UIA quienes en algún momento tuvieron injerencia en mi formación profesional, sin olvidar a “Mau”, que va más allá de ser un funcionario y se convierte en un verdadero compañero.

A los compañeros del trabajo que me apoyaron de una u otra forma en este nuevo éxito.

DEDICATORIA

Este estudio está dedicado a mi esposa Jeimy, quien se ha convertido en mi apoyo incondicional y mi norte. Ella me mantiene firme sin mirar atrás y es la persona que potencializa mis fortalezas.

A mis padres y hermanos, quienes me apoyaron y confiaron en mí a lo largo de este proceso de aprendizaje.

Resumen

Este proyecto propone una reglamentación técnica en eficiencia energética para equipos de aire acondicionado a partir de análisis de la legislación vigente, normativa técnica vigente y las importaciones de equipo de aire acondicionado entre 2015 y 2017.

La legislación fue utilizada para establecer el marco legal e instituciones que intervienen en relación a la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado y huella de carbono en Costa Rica.

La normativa técnica es una disposición de acatamiento voluntario que define los límites mínimos de eficiencia energética de los equipos en cuestión, además agrega los requisitos gráficos que debe cumplir el etiquetado para informar al público que tan eficiente es un equipo de aire acondicionado.

El estudio de las importaciones aclaró cuáles marcas y capacidades de enfriamiento poseen mayor índice de importación y la tendencia real del país en cuanto a eficiencia energética en los equipos estudiados y su respectiva huella de carbono. A partir de la información anterior fue posible plantear una propuesta.

Mediante proyecciones se contrastó la diferencia entre el escenario actual y la propuesta planteada, analizando el ahorro de energía, dinero y su respectiva huella de carbono.

El estudio resalta la importancia de convertir la normativa técnica en reglamento técnico tomando en cuenta modificaciones técnicas en cuanto a la tecnología de fabricación de estos equipos.

CAPÍTULO 1:

Introducción

Hoy en día es importante garantizar ambientes de trabajo con temperaturas agradables para las personas, ya que estudios realizados demuestran la incidencia de la temperatura en la eficiencia de los colaboradores. Debido a lo anterior, los equipos de aire acondicionado llegaron para quedarse y se han vuelto parte del día a día de muchas personas.

De acuerdo con estadísticas de empresas dedicadas a la instalación y el mantenimiento de equipos de aire acondicionado, estos equipos trabajan, en promedio, diez horas al día, e innegablemente su desempeño se ve afectado por variables ajenas al equipo por ejemplo operación, instalación o mantenimiento. Por ende, es importante garantizar que van a ser eficientes aun antes de ser instalados.

Desafortunadamente, el país no cuenta con un reglamento técnico ni con un laboratorio que esté en la obligación de evaluar la eficiencia energética de estos equipos; sin embargo, sí cuenta con un laboratorio de eficiencia energética propiedad del Instituto Costarricense de Electricidad. Este es el encargado de evaluar la conformidad con el producto y es la entidad que eventualmente podría realizarles ese tipo de pruebas a los equipos en el caso de que se implemente una reglamentación técnica en función de la eficiencia energética para ellos.

Título

Propuesta de reglamentación técnica sobre la eficiencia energética de equipos de aire acondicionado menores de 17,5 kW (60.000BTU/h) de enfriamiento, y sus posibles beneficios para Costa Rica.

Problema

¿Cuál es la propuesta de reglamentación técnica más adecuada para fiscalizar y evaluar la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado menores de 17,5 kW (60.000BTU/h) de enfriamiento, en Costa Rica, tomando como referencia el periodo 2015-2017?

Objetivo general

Establecer la reglamentación técnica más adecuada para la fiscalización y evaluación de la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado menores de 17,5 kW (60.000BTU/h) de enfriamiento, en Costa Rica.

Objetivos específicos

- Calcular la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado menores de 17,5 kW (60.000BTU/h) de enfriamiento importados a Costa Rica en los años 2015, 2016 y 2017.
- Examinar el alcance de la normativa nacional vigente según las exigencias mínimas de eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado menores de 17,5 kW (60.000BTU/h) de enfriamiento vendidos en Costa Rica.
- Definir requerimientos mínimos de eficiencia energética que con los que deberán cumplir los equipos de aire acondicionado importados a Costa Rica, tomando como referencia la normativa vigente.
- Establecer los requerimientos técnicos necesarios para evaluar la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado vendidos en Costa Rica.
- Realizar una evaluación económica y de huella de carbono en Costa Rica, en función del escenario actual y considerando la reglamentación técnica para la fiscalización y evaluación energética de los equipos de aire acondicionado.

Alcances

Para este proyecto se tomarán en cuenta los equipos de aire acondicionado menores de 17,5 kW (60.000 BTU/h) importados a Costa Rica, referenciado a la norma AHRI 210/240.

En este proyecto no se toman en cuenta bombas de calor ni equipos portátiles de aire acondicionado con conducto de escape para el condensador.

Se entregará una copia física y en digital del estudio teórico a la persona encargada del laboratorio de eficiencia energética del Instituto Costarricense de Electricidad.

Limitaciones

En la actualidad, la información de los equipos de aire acondicionado que ingresan a Costa Rica, presenta errores de escritura e información técnica limitada.

La eficiencia de los equipos de aire acondicionado se ve afectada por prácticas directamente relacionadas con su instalación y con el mantenimiento.

Antecedentes

Antecedente N.º 1

Título: Optimización de energía en un sistema de climatización para un centro de datos.

Autor: José Luis Ortega Cruz.

Institución: Universidad Autónoma de México (Facultad de Ingeniería).

Año: 2015

En este estudio se expone una metodología para el análisis de la eficiencia energética. Se estudia la necesidad del ahorro energético considerando el panorama de generación eléctrica nacional, contrastado con la perspectiva de la utilización y el aumento de la demanda de esta energía año a año, el cual se ve reflejado de igual forma en el aumento en las tarifas de la energía, en función de los diferentes sectores de consumo en ese país.

Abarca la importancia de incorporar nuevas tecnologías en equipos de acondicionamiento del aire, con una alta eficiencia energética que represente para una organización mayor competitividad; además de incluir proyectos de infraestructura que resulten sustentables; es

decir, que se obtenga un beneficio energético al reducir el consumo de energía, que paralelamente permita elevar la competitividad y la calidad, así como la concienciación acerca del uso responsable de la energía.

En el estudio se hace referencia a métodos para medir la eficiencia eléctrica de los equipos de aire acondicionado, como:

Coeficiente de desempeño (COP). Relación entre la potencia (kW) que sale de la bomba de calor como refrigeración o calor, y la potencia (kW) que se suministra al compresor en un sistema de aire acondicionado.

Relación de eficiencia energética (EER). Indica la potencia requerida por un equipo para producir su capacidad de enfriamiento, obtenida del cociente de la potencia térmica removida del ambiente entre la potencia eléctrica consumida por el equipo. La relación de eficiencia energética (EER) mínima la establece una norma de eficiencia energética, y el valor depende de las capacidades de los equipos de aire acondicionado.

Eficiencia de los equipos (%). Es conveniente para generar escenarios con diferentes supuestos, en función del cociente del consumo en kW del equipo eficiente y del equipo actual multiplicado por cien.

Resalta la importancia de que haya incentivos gubernamentales que fomenten el uso de tecnologías eficientes la cuales consoliden la calidad en diferentes actividades productivas. Estos incentivos son referenciados a la consolidación de proyectos viables y factibles que incrementan de manera directa la competitividad del sector productivo del país.

Antecedente N.º 2

Título: Estudio de eficiencia energética de equipos y sistemas de aire acondicionados en la edificación del bloque G, de la Universidad Autónoma del Caribe

Autores: Lili Paola Bolívar Hernández y Mario Andrés Martínez Gómez

Institución: Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla (Facultad de Ingeniería).

Año: 2014

En este estudio se analizan los aires acondicionados y se compara la cantidad de energía eléctrica que consume cada equipo para absorber el calor generado por el recinto. Se toman las especificaciones internacionales (EE.UU) para calcular la eficiencia de los aires acondicionados. Comúnmente es medida por el factor de eficiencia de energía ambiental (SEER: *Seasonal Energy Efficiency Ratio*). A medida que este índice es mayor representa una mejor tecnología y por lo tanto es mayor la eficiencia del aire acondicionado; de manera que para tener una mejora considerablemente mayor en la eficiencia energética se recomienda usar un SEER de 13 o superior para nuevas tecnologías.

Aclara la equivalencia entre SEER y EER, donde SEER está relacionado con el coeficiente de desempeño (COP: *Coefficient of Performance*) utilizado comúnmente en termodinámica, y también relacionado con la relación de eficiencia de energía (EER: *Energy Efficiency Ratio*). Esta última es la medida de un equipo en particular para temperaturas externas e internas; mientras que el SEER es calculado sobre un rango amplio de temperaturas externas. El factor SEER siempre es un valor más alto que el EER para un mismo equipo.

Además, se genera una interesante clasificación de los equipos de aire acondicionado en función de su factor SEER en que, de acuerdo con lo expresado anteriormente, se señalan los equipos obsoletos, eficientemente hablando, lo que deja en evidencia el ahorro en energía (kW/h) y en dólares, si se comparan con tecnologías consideradas actualmente eficientes.

Antecedente N.º 3

Título: HVAC Energy Efficiency Maintenance Stud

Autor: Marshall Hunt, PE, Davis. Energy Group, Inc. Kristin Heinemeier,

PhD, PE, UC Davis, WCEC Marc Hoeschele, PE, Davis Energy Group,

Inc. Elizabeth Weitzel, Davis Energy Group, Inc.

Institución: Davis Energy Group, Inc

Año: 2010

El estudio hace referencia a pruebas realizadas por investigadores con equipos de climatización unitaria en laboratorios gubernamentales, fabricantes y laboratorios privados de Estado Unidos de América.

Se detalla el desarrollo del laboratorio nacional de estándares de eficiencia energética, así como las pruebas que se han realizado para respaldar los programas de eficiencia de equipos certificados. Para el caso de equipos de aire acondicionado, se referencian las normas del Instituto de Calefacción y Refrigeración, conocidas como AHRI 210/240 hasta 19 kW (65,000 Btu/h) y AHRI 340/360 superior a 19 kW (65,000 Btu/h). En este laboratorio se realizan las pruebas necesarias para estudiar los factores EER y SEER, que determinan la eficiencia de los equipos de aire acondicionado. Estas pruebas se realizan mediante el uso

dos cámaras, una interior y otra exterior, cada una de las cuales es capaz de mantener condiciones de temperatura y humedad prescritas mientras el equipo se está evaluando. En las pruebas de condiciones de "fuera de rango" las cámaras son operadas en puntos de ajuste que no son especificados por los estándares de AHRI. Estas pruebas son realizadas especialmente en algunos laboratorios, como el Herrick en la Universidad de Purdue, para la toma de datos adicionales utilizados al efectuar y calibrar simulaciones matemáticas y desarrollar programas por computadora (software). Además, son la fuente de datos importante para evaluar variables como el consumo de energía, medidas de mantenimiento, así como implicaciones de posibles fallas en condiciones de operación adversas.

En el estudio se detalla cómo, en los Estados Unidos de América, la eficiencia energética de los acondicionadores de aire y de calefacción monofásicos y de las bombas de hasta 19kW (65,000Btu/h) se mide por la prueba del índice de eficiencia energética estacional (SEER), y son clasificados de acuerdo con él. Además, se detalla la evolución a lo largo de los años, del procedimiento de prueba y evaluación, el cual ha sido revisado en varias ocasiones para sistemas de aire acondicionado de velocidad variable y para otras mejoras del producto. En 1992 se estableció un SEER de 10 por la ley federal como la eficiencia mínima permisible para productos vendidos en los Estados Unidos de América. En enero de 2006 la eficiencia mínima aumentó a 13. El SEER es una norma nacional destinada a proporcionar una clasificación representativa de rendimiento estacional para las condiciones climáticas típicas de ese país.

En el documento se evalúan las formas en las que el procedimiento de calificación podría modificarse para proporcionar predicciones mejores y más significativas de eficiencia y rendimiento en las regiones claves de EE.UU, si se estableciera cómo es que los

procedimientos de cálculo podrían modificarse para utilizar el conjunto actual de datos de prueba de laboratorio, y así cumplir con las necesidades de diferentes regiones de EE.UU. La premisa es que los valores SEER específicos del clima podrían calcularse para cada región, conservando el SEER típico actual para la compatibilidad y el cumplimiento con los estándares de eficiencia mínima federales actual de ese país.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Conceptualización

Equipos y sistemas de aire acondicionado

Para contrarrestar la carga térmica generada en los recintos se utilizan equipos y máquinas de tratamiento de aire, en busca de generar un ambiente de confort para las personas que se encuentran en el interior.

Ciclo termodinámico

Los equipos de aires acondicionados poseen un ciclo de refrigeración formado por cuatro componentes: compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador. En este sistema el compresor succiona gas refrigerante a baja presión y temperatura del evaporador, en el cual se realiza el intercambio directo de calor entre el aire y el refrigerante, para luego ser comprimido y enviado a alta presión y temperatura hacia el condensador, ubicado en el exterior, para así rechazar el calor del evaporador más el trabajo del compresor. Finalmente, el refrigerante condensado a alta presión y temperatura se expande a través de un dispositivo de expansión, que puede ser un capilar o generalmente una válvula de expansión; hasta la baja presión y temperatura del evaporador, para iniciar nuevamente el ciclo.¹ (Ver la figura 1)

¹ José A. Díaz y Juan J. Tineo. Empresa Eléctrica Socialista CORPOELEC. Procedimiento para evaluar la eficiencia energética de los sistemas de climatización y refrigeración de expansión directa (DX) con condensadores de aire y evaporativos. Enero de 2014

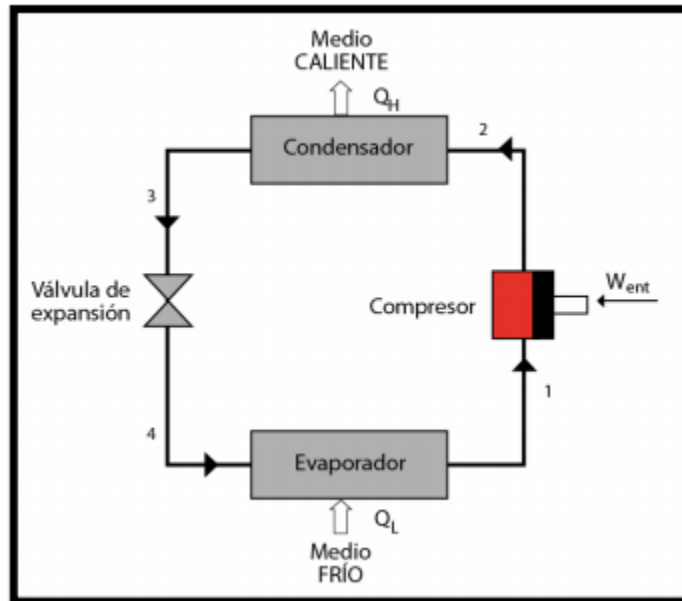


Figura 1: Esquema básico del ciclo de refrigeración

Fuente: Yunus A. Cengel, Michael A. Boles. Termodinámica. Mc Graw Hill. Sexta Edición. 2009. México.

En la figura 2 se muestra el diagrama presión-entalpía (p-h) en el cual se han trazado los procesos de refrigeración que se realizan en el sistema de la figura 1, expuestos anteriormente.

Los procesos del ciclo de compresión expuestos son:

Q: calor extraído del evaporador (proceso 4-1).

W: trabajo realizado por el compresor (proceso 1-2).

(Q+W): calor rechazado en el condensador (proceso 2-3).

Proceso 3-4: expansión del refrigerante en el dispositivo de expansión a entalpía constante.

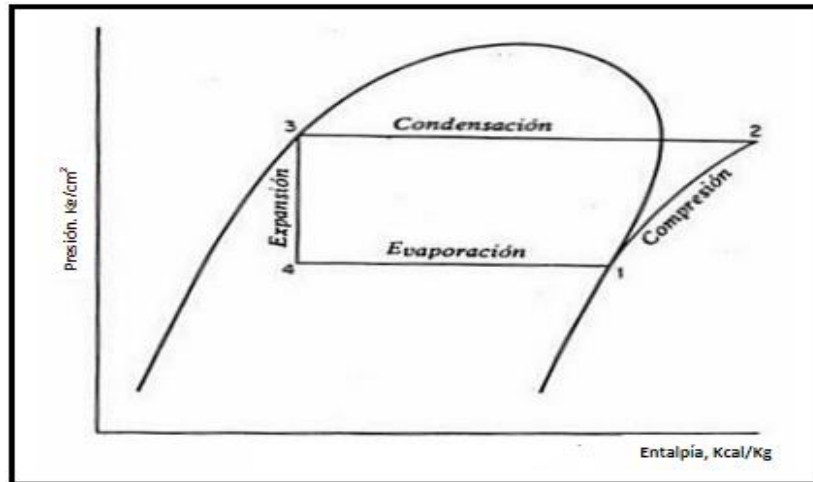


Figura 2: Diagrama ideal presión-entalpía

Fuente: Yunus A. Cengel, Michael A. Boles. Termodinámica. Mc Graw Hill. Sexta Edición. 2009. México.

Refrigerantes

Los refrigerantes son el medio (fluido) para la transferencia de calor, que se utiliza en sistemas de refrigeración para absorber calor al evaporarse a temperatura y presión baja y ceder calor al condensarse a temperatura y presión mayores.

Su identificación puede ser por números antecidos por una letra **R**, siendo designado y el número es designado por la American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), utilizado en toda la industria. (R-22).

De igual forma se utilizan designaciones abreviadas para indicar la composición química de los refrigerantes, así como para relacionarlos con el factor de agotamiento de la capa de Ozono. Ejemplo: R-12 = CFC-12, R-134a = HFC-134a.²

Indicadores de eficiencia energética

Es un concepto ampliamente utilizado en refrigeración, climatización y calefacción para indicar la eficiencia energética de estos sistemas. En la práctica los indicadores más frecuentemente empleados son:

COP: Coeficiente de desempeño (*Coefficient of performance*). No es más que la relación adimensional entre la capacidad nominal de enfriamiento o calefacción del equipo y la potencia eléctrica consumida expresada en las mismas unidades: W/W, kW/kW, etc.

EER: Relación de eficiencia energética (*Energy efficiency rate*). Es la relación entre la capacidad de enfriamiento del equipo en Watts o BTU/h (British Thermal Unit, unidad de medida del calor en el sistema británico) y la potencia eléctrica consumida en W. Por tanto, se expresa en W/W o BTU/Wh. Otro indicador también ampliamente utilizado en ingeniería para expresar la eficiencia energética de los equipos es la relación entre la demanda de

² Juan Antonio Torre Marina. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado, Tomo I. Prentice Hall. Tercera Edición. 1999. México

potencia eléctrica y la capacidad de enfriamiento expresado generalmente en kW/TR y HP/TR³. (TR: tonelada de refrigeración equivalente a 12.000 BTU/h, 3024 kcal/h ó 3,52kW)

La relación entre estos indicadores de eficiencia energética es:

$$\text{kW/TR} = 12 / \text{EER}$$

$$\text{HP/TR} = 16,08 / \text{EER}$$

Es importante destacar que estos indicadores de eficiencia energética (EER, kW/TR y HP/TR) utilizados para medir el rendimiento de los equipos de aire acondicionado toman en cuenta para su evaluación solo los valores nominales de diseño, también conocidos como condiciones estándar. En otras palabras, su capacidad frigorífica y potencia absorbida (*input*) se determinan para las condiciones pico del ambiente exterior de verano o invierno, según corresponda, y las condiciones interiores son las nominales establecidas para el local. Sin embargo, estos equipos no funcionan realmente todo el tiempo en esas condiciones y es precisamente por esa razón por la que, además de estos indicadores, se emplean otros con el objetivo de que sean más representativos de la eficiencia en condiciones reales de operación. Para ello toman en cuenta, al valorar la eficiencia, el rendimiento promedio del equipo durante su funcionamiento en el período determinado de tiempo anual (período

³³ José A. Díaz, Juan J. Tineo. Empresa Eléctrica Socialista CORPOELEC. Procedimiento para evaluar la eficiencia energética de los sistemas de climatización y refrigeración de expansión directa (DX) con condensadores de aire y evaporativos. Enero de 2014

estacional), cuyos requerimientos se establecen por un método normalizado bajo el cual se llevan a cabo las pruebas de evaluación del rendimiento.

SEER- Relación de eficiencia energética estacional (Seasonal Energy Efficiency Ratio)

Este indicador, definido por “The Air Conditioning, Heating and Refrigeration Institute” (AHRI), suministra la eficiencia promedio anual de enfriamiento de los sistema de aire acondicionado. El SEER, como indicador de la eficiencia energética, es similar al EER pero, a diferencia de este, indica el rendimiento promedio ponderado del equipo al estar funcionando durante un período determinado de tiempo anual; mientras que el EER se define como se expuso anteriormente para las condiciones pico de operación. El valor del SEER es siempre mayor que el EER para un mismo equipo. Otra característica importante de este indicador es que se emplea, generalmente, para equipos con capacidades inferiores a 19 kW (65000BTU/h), de acuerdo con la normativa AHRI 210/240. El valor del SEER muestra la relación entre la energía frigorífica entregada por el equipo en BTU/h durante un período anual normalizado de trabajo (período estacional) en modo de climatización solamente, dividido entre el consumo energético del equipo (potencia de input) en W (watts) durante el mismo período. Por lo tanto, el SEER se expresa en las mismas unidades del EER (BTU/Wh). Otro aspecto importante de este indicador es que incluye la potencia

de *input* de todos los agregados que conforman el equipo, como son: los ventiladores exteriores e interiores y las pizarras eléctricas de fuerza y control.⁴

Legislación de eficiencia energética de Costa Rica

Para comprender la génesis de la adopción de una normativa que permita la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado importados a Costa Rica es necesario organizar cronológicamente las legislaciones que marcaron el camino para adoptar dicha normativa. Las siguientes citas se refieren directamente al tema de eficiencia energética de los equipos antes mencionados.

LEY N.º 8279- Sistema Nacional para la Calidad (publicada en La Gaceta del 21 mayo 2002)⁵.

Artículo 1º—Propósito de la Ley. Establecer el Sistema Nacional para la Calidad (SNC), como marco estructural para las actividades vinculadas al desarrollo y la demostración de la calidad, que facilite el cumplimiento de los compromisos internacionales en materia de evaluación, de la conformidad, que contribuya a mejorar la competitividad de las empresas nacionales y proporcione confianza en la transacción de bienes y servicios.

Artículo 2º—Ámbito de la Ley. Esta Ley se aplicará a todos los bienes y servicios, así como a las actividades de evaluación de la conformidad, incluida la metrología, que se lleven a

⁴ José A. Díaz, Juan J. Tineo. Empresa Eléctrica Socialista CORPOELEC. Procedimiento para evaluar la eficiencia energética de los sistemas de climatización y refrigeración de expansión directa (DX) con condensadores de aire y evaporativos. Enero de 2014.

⁵ <http://www.pgrweb.go.cr/scij/> (Sistema costarricense de información jurídica).

cabo para demostrar el cumplimiento de los requisitos voluntarios o reglamentarios aplicables a estos bienes, incluidos los procesos de producción o prestación de servicios implicados para generar y comercializar dichos bienes.

Artículo 3º—Fines y objetivos del Sistema

a) Orientar, ordenar y articular la participación de la administración pública y el sector privado en las actividades de evaluación de la conformidad y de la promoción de la calidad, integradas al SNC.

b) Promover la disponibilidad y el uso de los mecanismos de evaluación y demostración de la conformidad.

c) Promover la adopción de prácticas de gestión de la calidad y formación en ellas, en las organizaciones productoras o comercializadoras de bienes en el país.

d) Fomentar la calidad de los bienes disponibles en el mercado y de los destinados a la exportación.

e) Propiciar la inserción cultural de la calidad en todos los planos de la vida nacional, especialmente en el individual y el social.

f) Coordinar la gestión pública y privada que deben realizar las entidades competentes para proteger la salud humana, animal o vegetal, el medio ambiente y los derechos legítimos del consumidor, y para prevenir las prácticas que puedan inducir a error.

Artículo 6°—Consejo Nacional para la Calidad. Créase el Consejo Nacional para la Calidad (CONAC), como la entidad responsable de fijar los lineamientos generales del SNC, todo conforme a los lineamientos y las prácticas internacionales reconocidos y a las necesidades nacionales. Integrado por ministros, viceministros, presidentes o vicepresidentes de instituciones públicas y cámaras.

Artículo 8°—Creación. Créase el Laboratorio Costarricense de Metrología (LACOMET), como órgano de desconcentración máxima, con personalidad jurídica instrumental para el desempeño de sus funciones, adscrito al MEIC. Se regirá por las normas nacionales e internacionales aplicables.

Artículo 19—Creación. Créase el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), como entidad pública de carácter no estatal, con personería jurídica y patrimonio propios. Ejercerá su gestión administrativa y comercial con absoluta independencia y se guiará exclusivamente por las decisiones de su Junta Directiva, basadas en la normativa internacional. La Junta actuará conforme a su criterio, dentro de la Constitución, las leyes y los reglamentos pertinentes en procura del desarrollo y la eficiencia en su función.

Artículo 39—Creación. Créase el Órgano de Reglamentación Técnica (ORT), como comisión interministerial cuya misión será contribuir a la elaboración de los reglamentos técnicos, mediante el asesoramiento técnico en el procedimiento de emitirlos.

Artículo 47—Vigilancia de la Gestión del ENN. El Consejo Nacional para la Calidad vigilará la adhesión del ENN a los códigos internacionales de normalización y recomendará al Poder Ejecutivo el reconocimiento o la pérdida del reconocimiento como ENN. Asimismo,

recomendará las condiciones y la cuantía de la participación del Estado en el presupuesto de dicho ente, mientras esta contribución se considere necesaria.

Artículo 48—Auditorías internacionales. El LACOMET, el ENN y el ECA deberán someterse a auditorías internacionales periódicas ante los entes internacionales competentes, para asegurar que los servicios que brinden se ajusten a los estándares internacionales.

Decreto N.º 36499-S-MINAET, Reglamento para la elaboración de programas de gestión ambiental institucional en el sector público de Costa Rica (La Gaceta, 09 de mayo de 2011).

Artículo 2º—Definición de un programa de gestión ambiental institucional: Un PGAI es un instrumento de planificación que se fundamenta en los principios metodológicos de un sistema de gestión ambiental. Se parte de un diagnóstico ambiental del quehacer institucional en el que se consideren todos los aspectos ambientales inherentes a la organización, incluyendo los relacionados con la eficiencia energética, residuos y cambio climático, entre otros aspectos ambientales. A partir de este diagnóstico se priorizan, establecen e implementan medidas de prevención, mitigación, compensación o restauración de los impactos ambientales, ya sea de corto, mediano o largo plazo.

Artículo 3º—Alcance de los PGAI: Todas las instituciones de la Administración Pública implementarán un programa de gestión ambiental institucional.

INTE 28-01-13:2015 Eficiencia energética de los acondicionadores de aire tipo ventana, tipo dividido y tipo paquete. Requisitos.⁶

Apartado 2. Campo de aplicación. Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos con que debe cumplir la etiqueta de eficiencia energética de los acondicionadores de aire. Esta norma cubre todos los equipos de acondicionadores de aire de los tipos ventana, dividido y paquete, con capacidades nominales de enfriamiento de hasta 17 589 W (60.000 Btu/h).

Apartado 4. Definiciones

4.1 Equipo del tipo ventana. Equipo de acondicionador de aire ensamblado y protegido en una caja, diseñado como una unidad para instalar en una ventana, a través de una pared o como consola. Se diseña, principalmente, para proporcionar un caudal libre de acondicionador de aire en un espacio, una zona o un cuarto cerrado. Incluye una unidad de enfriamiento, la cual enfría y deshumecta el aire, y los medios para circulación o purificación del aire. Adicionalmente puede incluir medios para ventilación y calefacción.

4.2 Equipo del tipo dividido

4.2.1 Tipo central: Equipo de acondicionador de aire en el cual uno o más de los componentes principales son separados unos de otros, y que son diseñados para trabajar en conjunto. Utiliza un sistema de ductos para la distribución del aire.

4.2.2 Descarga directa ("mini split" y "multisplit"): Equipo de acondicionador de aire en el cual uno o más de los componentes principales son separados unos de otros, y son diseñados para trabajar en conjunto, cuando la unidad evaporadora descarga de forma directa el aire acondicionado.

⁶ [http://web.energia.go.cr/informacion/normas/INTE 28-01-13:2015](http://web.energia.go.cr/informacion/normas/INTE%2028-01-13:2015).

4.3 Equipo tipo paquete: Equipo de acondicionador de aire del tipo central, en el que todos los componentes principales son acoplados en un solo gabinete, el cual utiliza un sistema de ductos para la distribución de aire.

4.4 Capacidad de enfriamiento: Capacidad que tiene un equipo para remover el calor de un espacio cerrado y determinado conforme a la norma INTE/ISO 5151:2009, expresado en Watts.

4.4.1 Capacidad nominal de enfriamiento: Capacidad de enfriamiento declarada por el fabricante y determinada conforme a la norma INTE/ISO 5151:2009.

4.5 Relación de eficiencia energética (REE): Razón entre la capacidad de enfriamiento total y la potencia de entrada efectiva en cualquier grupo de condiciones de clasificación dadas. (Cuando la REE aparezca sin indicación de unidades se debe entender que esto se deriva de unidades watt/watt, enfriamiento (W_t) entre la potencia eléctrica promedio (W_e).

Nota: 1 BTU/h = 0,293071 W

$$1 \text{ W} = 3,4121 \text{ BTU/h}$$

4.6 Capacidad de enfriamiento (W_t): Capacidad que tiene un equipo para remover el calor de un espacio cerrado, expresado en Watts.

4.7 Potencia eléctrica promedio de entrada a la unidad (W_e): Es el valor promedio, en W_e , de las mediciones de la potencia eléctrica de entrada durante el ensayo para la determinación de la capacidad de enfriamiento.

Apartado 6. Requisitos de eficiencia energética

La relación de eficiencia energética para cada tipo de acondicionadores de aire debe ser como mínimo la establecida en las tablas 1, 2 y 3.

Tabla 1: Relación de eficiencia de energética (REE). Capacidad ≤7038 W (≤ 24000

Btu/h)

Capacidad ≤7038 W (≤ 24000 Btu/h)			
Tipo (valores mínimos)			
Ventana	Paquete	Dividido(*)	
		Con ducto	Sin ducto
319 (10,9)	NA	3,57 (12,2)	3,57 (12,2)
(*) El valor de EER se determina en el conjunto condensador y evaporador			

Fuente: INTE 28-01-13:2015 Requisitos

Tabla 2: Relación de eficiencia de energética (REE).Capacidad > 7 038 W a ≤ 10 553 W

(> 24 000 Btu/h a ≤ 36 000 Btu/h)

Capacidad > 7 038 W a ≤ 10 553 W (> 24 000 Btu/h a ≤ 36 000 Btu/h)			
Tipo (valores mínimos)			
Ventana	Paquete	Dividido(*)	
		Con ducto	Sin ducto
NA	3,22 (11)	3,57 (12.2)	3.57 (12,2)
(*) El valor de EER se determina en el conjunto condensador y evaporador			

Fuente: INTE 28-01-13:2015 Requisitos

Tabla 3: Relación de eficiencia de energética (REE).Capacidad >10 553 W a 17 589 W

(>36 000 Btu/h a 60 000 Btu/h)

Capacidad >10 553 W a 17 589 W (>36 000 Btu/h a 60 000 Btu/h)			
(valores mínimos)			
Ventana	Paquete	Dividido(*)	
		Con ducto	Sin ducto
NA	3,22 (11)	3.37 (11.5)	3.37 (11.5)
(*)El valor de EER se determina en el conjunto condensador y evaporador			

Fuente: INTE 28-01-13:2015 Requisitos

INTE 28-01-14:2015 Eficiencia energética Acondicionadores del aire de los tipos ventana, dividido y paquete etiquetado⁷

Apartado 5.3 Información de la etiqueta La etiqueta debe estar ubicada en la superficie visible para el consumidor.

Información. La etiqueta de relación de eficiencia energética debe contener como mínimo lo que se lista a continuación, impresa en forma legible e indeleble; el tamaño de la letra de la información complementaria debe ser explicativa o restrictiva de la etiqueta; debe ser por lo menos del mismo tamaño de la utilizada para la información principal:

5.3.1 El nombre de la etiqueta: “**EFICIENCIA ENERGÉTICA**”.

5.3.2 La leyenda "Relación de eficiencia energética".

5.3.3 Referenciar la norma INTE 28-01-13:2015 con la cual fue determinada la relación de eficiencia energética en su apartado 4. (Se podrá referenciar otra norma siempre y cuando esta sea equivalente a la norma INTE/ISO 5151:2009).

5.3.4 La leyenda “Marca” seguida de la marca del aparato.

5.3.5 La leyenda “Modelo” seguida del modelo del aparato.

5.3.6 La leyenda “Tipo” seguida del tipo del aparato (conforme al apartado 5 de la norma INTE 28-01-13:2015).

⁷ <http://web.energia.go.cr/informacion/normas/INTE28-01-14:2015>

5.3.7 La leyenda "capacidad de enfriamiento W_t (W (Btu/h)):", seguida del valor de capacidad de enfriamiento del aparato expresado en W, y si se desea en Btu/h.

5.3.8 La leyenda "Límite mínimo de REE", seguida del valor límite de la relación de eficiencia energética que corresponde a este aparato (según lo establecido en las tablas 1, 2 y 3 del apartado 6 de la norma INTE 28-01-13:2015).

5.3.9 La leyenda "REE de este aparato:", seguida del valor de la relación de eficiencia energética determinada por la norma INTE/ISO 5151:2009.

5.3.10 La leyenda "Ahorro de energía de este aparato respecto al límite" de manera horizontal, centrada. Calculado de la siguiente forma:

$$\text{Ahorro de energía respecto al límite} = \frac{\text{REE de este aparato}}{\text{Límite de REE}} - 1 \times 100$$

5.3.11 Una barra horizontal de tonos de grises crecientes hasta el negro, indicando el tanto por ciento de ahorro de energía del aparato respecto al límite de 0% a 50%.

Debajo de la barra, en 0%, debe colocarse la leyenda "Mínimo ahorro", y debajo de la barra, en 50%, debe colocarse la leyenda "Mayor ahorro".

Se debe colocar una flecha sobre la barra horizontal con el valor que indica el porcentaje de ahorro de energía que tiene el aparato.

5.3.12 La leyenda "**IMPORTANTE**".

5.3.13 La leyenda "El ahorro de energía efectivo dependerá de los hábitos de uso y localización del aparato".

5.3.14 La leyenda “La etiqueta no debe retirarse del aparato hasta que haya sido adquirido por el consumidor final”.

Dimensiones

Las dimensiones mínimas de la etiqueta son las siguientes:

Alto 14,0 cm

Ancho 10,0 cm

Distribución de la información

La información debe distribuirse como se muestra en el anexo A.2, que presenta un ejemplo de etiqueta.

INTE 28-01-14:2015 Directriz 11 MINAE (25 de julio de 2014)⁸

Artículo 1º-Es obligación de todas las instituciones de la Administración Pública elaborar y ejecutar los Programas de Gestión Ambiental Institucional (PGAI) para la gestión de la calidad ambiental, energía y cambio climático; así como los mecanismos de control y seguimiento. Estos programas contendrán, entre otros aspectos, las regulaciones para las adquisiciones de equipos, luminarias y artefactos con requerimientos de alta eficiencia energética indicadas en esta directriz.

Artículo 4º-Las áreas de adquisiciones institucionales deben solicitar en las especificaciones un certificado de producto emitido por un organismo de certificación acreditado o reconocido por el ente costarricense de acreditación, que demuestre el cumplimiento de los requisitos de eficiencia energética establecidos en esta directriz.

Artículo 4º-Áreas- Equipos de aire Acondicionado

Se incluyen en esta categoría los equipos de aire acondicionado de los tipos ventana, dividido o central de hasta 17,5 kW (60 000 BTU/h).

⁸ <http://www.pgrweb.go.cr/scij/> (Sistema costarricense de información jurídica)

Los rangos de eficiencia deberán ser al menos según lo indicado por la relación de eficiencia energética (REE) o, en inglés, *Energy Efficiency Ratio* (EER), declarados en las etiquetas energéticas y de conformidad con lo establecido en la última versión de la norma INTE 28-01-13:2015 Eficiencia energética - Acondicionadores de aire de los tipos ventana, dividido y paquete - Rangos de eficiencia energética.

Artículo 6º-Las instituciones estarán en la obligación de incorporar en su PGAI el aspecto ambiental "Consumo de energía eléctrica", y reflejarán en su plan de acción las medidas que se tomen para cumplir con la presente directriz.

Programa País de Carbono Neutralidad 2.0. Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional (Costa Rica)-Septiembre 2015, MINAE

El Programa comparte una visión de más largo plazo, tomando como base los avances que se alcanzarán en tres distintos hitos de la Contribución Nacionalmente Determinada: uno al 2030; otro al 2050; y, finalmente, otro al 2080.

Según se explica en declaraciones del pasado diciembre (2017), la directora del departamento de cambio climático, la señora Andrea Meza Murillo, “el país a partir del nuevo Programa País de Carbono Neutralidad 2.0, existe una meta vinculante que se especificó en el Acuerdo de París, frente a la comunidad internacional. Esta se definió con la NDC (Contribución Nacionalmente Decretada) y se proyecta para el 2030”.

El Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018 establece:

“Fomentar las acciones frente al cambio climático global, mediante la participación ciudadana, el cambio tecnológico, procesos de innovación, investigación y conocimiento para garantizar el bienestar, la seguridad humana y la competitividad del país”

Lo anterior si se reduce la demanda de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero GEI a partir de:

- Descarbonización del suministro de energía (electricidad, biocombustibles)
- Sustitución de combustibles para uso final (edificios, transporte, industria)
- Manejo de sumideros de carbono (planes de uso del suelo, reforestación, deforestación evitada).

En lo relativo a emisiones de gases de efecto invernadero el país se comprometió a reducir las a un máximo absoluto de 9.374.000 TCO₂eq netas para el año 2030, con una trayectoria propuesta de emisiones per cápita de 1,73 toneladas netas para el 2030; de 1,19 toneladas netas *per cápita* al 2050 y de -0,27 toneladas netas *per cápita* al 2100. Este límite es consistente con la trayectoria global necesaria para cumplir con la meta de no aumentar 2°C. El compromiso nacional implica una reducción de emisiones de GEI de 44%, comparado con un escenario *Business As Usual* (BAU), lo que representa una reducción de emisiones de GEI de 25% comparado con las emisiones de 2012. Para lograr su meta, Costa Rica tendrá que reducir 170.500 toneladas de GEI año con año, hasta el 2030. (Ver el gráfico 1)

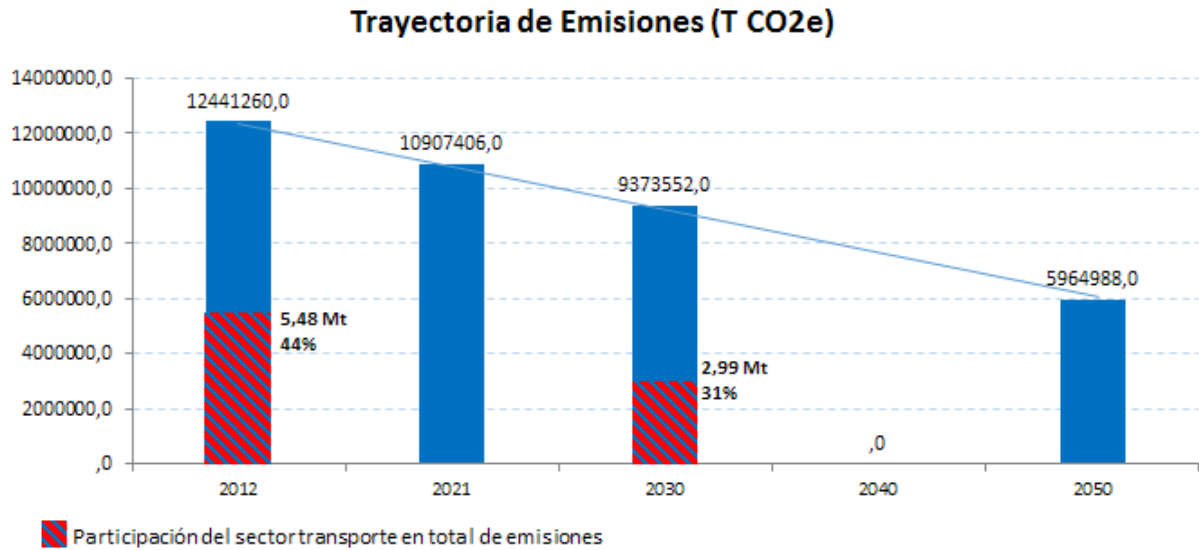


Gráfico 1: Proyección Meta de CO₂ Generado a 2050 en millones de Ton

Fuente: Programa País de Carbono Neutralidad 2.0

Cámara Psicrométrica

Son instalaciones que cuentan con dos habitaciones internas de aproximadamente 19 KW (65000BTU/h), diseñadas para realizar los ensayos de acuerdo con los requerimientos establecidos en el estándar AHRI 210/240. Esta simula temperaturas y humedades relativas cargas térmicas y corrientes de aire, y son medidas por una serie de sensores. Registra el comportamiento del desempeño del equipo. (Ver la imagen 1).

Capacidad de enfriamiento: Capacidad que tiene el equipo para remover el calor de un espacio cerrado, en watts.

Capacidad latente de enfriamiento: Es la razón a la cual el equipo remueve el calor latente del aire que pasa a través de este, bajo condiciones específicas de operación, expresadas en Watts.

Capacidad sensible de enfriamiento: Es la razón a la cual el equipo remueve el calor sensible del aire que pasa a través de este, bajo condiciones específicas de operación expresadas en Watts.

Capacidad total de enfriamiento: Es la razón a la cual el equipo remueve el calor del aire que pasa a través de este, bajo condiciones específicas de operación expresadas en Watts.

Coefficiente de degradación (CD): La medida de la pérdida de eficiencia debida a la realización de ciclos del equipo.

Enfriamiento latente: La cantidad de enfriamiento en Watts necesaria para remover, por condensación, el vapor de agua del aire que pasa a través del serpentín evaporador durante un lapso.

Enfriamiento sensible: La cantidad de enfriamiento en Watts que remueve calor del ambiente y disminuye la temperatura sensiblemente, desarrollado por el equipo en un lapso y con exclusión del enfriamiento latente.

Acondicionadores de aire de tipo dividido con flujo de refrigerante variable, descarga libre y sin ductos de aire, constituido por dos cuerpos (Minisplit).

Es un acondicionador de aire con compresor de frecuencia o flujo de refrigerante variable, o ambos, constituido por dos cuerpos, uno en el interior del cuarto, espacio o zona cerrada (espacio acondicionado) y otro en el exterior conectados por tuberías. Está constituido por una fuente primaria de refrigeración para enfriamiento o deshumidificación, o ambos, y puede incluir medios para calefacción, circulación y limpieza del aire.

Estado estable: Estado en el cual se mantienen constantes todas las condiciones interiores y exteriores de prueba y el equipo está en el modo de "operación sin cambio".

Factor de carga de enfriamiento (CLF): Es la relación del enfriamiento total desarrollado en un ciclo completo durante un lapso (consistente en un encendido y un apagado), entre el enfriamiento bajo condiciones de estado estable desarrollado en el mismo lapso bajo condiciones ambientales constantes.

Factor de carga parcial (PLF): La relación de eficiencia energética del ciclo a la relación de eficiencia energética del estado estable, bajo condiciones ambientales idénticas.

Lado exterior (condensador): Es la parte del equipo que rechaza calor a una fuente externa al flujo de aire interior.

Lado interior (evaporador): Es la parte del equipo que remueve el calor del flujo de aire interior.

Intervalo de volumen del aire de enfriamiento al máximo: Es el intervalo de volumen de aire que resulta durante cada prueba cuando la unidad es operada a una presión estática externa de cero pascales y con el ventilador ajustado en máxima velocidad, al igual que el compresor en máxima velocidad.

Intervalo de volumen del aire de enfriamiento intermedio: Es el intervalo de volumen de aire que resulta durante cada prueba cuando la unidad es operada a una presión estática externa de cero pascales y con el ventilador ajustado a intermedia velocidad, al igual que el compresor a intermedia velocidad.

Intervalo de volumen del aire de enfriamiento al mínimo: Es el intervalo de volumen de aire que resulta durante cada prueba cuando la unidad es operada a una presión estática externa de cero pascales y con el ventilador ajustado en mínima velocidad, al igual que el compresor en mínima velocidad.

Prueba de serpentín húmedo: Una prueba conducida a temperaturas interiores de bulbo seco y húmedo, tales que la humedad se condense en el serpentín evaporador del equipo de prueba.

Prueba de serpentín seco: Una prueba conducida a temperaturas interiores de bulbo seco y húmedo, tales que la humedad no se condense en el serpentín evaporador del equipo.

Configuraciones de cámara psicrométrica¹⁰

Método de entalpía de aire interior

El método principal para probar acondicionadores de aire y calor bombas es el método de entalpía de aire interior. Como se aprecia en la figura 3, el equipo por probar se coloca en un

¹⁰ Air-Conditioning, heating & Refrigeration Institute. Standard 210/240 for Performance Rating of Unitary Air-conditioning & Air-source Heat Pump Equipment. 2017. Recuperado de:

http://www.ahrinet.org/App_Content/ahri/files/STANDARDS/AHRI/AHRI_Standard_210-240_2017.pdf.

cuarto o en cuartos de pruebas. Se fija un instrumento de medición de flujo de aire a la descarga del aire del equipo (interior o exterior, o ambos, si es aplicable). Este instrumento debe descargar directamente dentro del espacio o cuarto de prueba, que es equipado con los elementos adecuados para mantener el aire de entrada del equipo a las temperaturas de bulbo seco y húmedo deseables, así como para la medición de las temperaturas de bulbo seco y húmedo del aire de entrada y salida del equipo y de la resistencia externa.

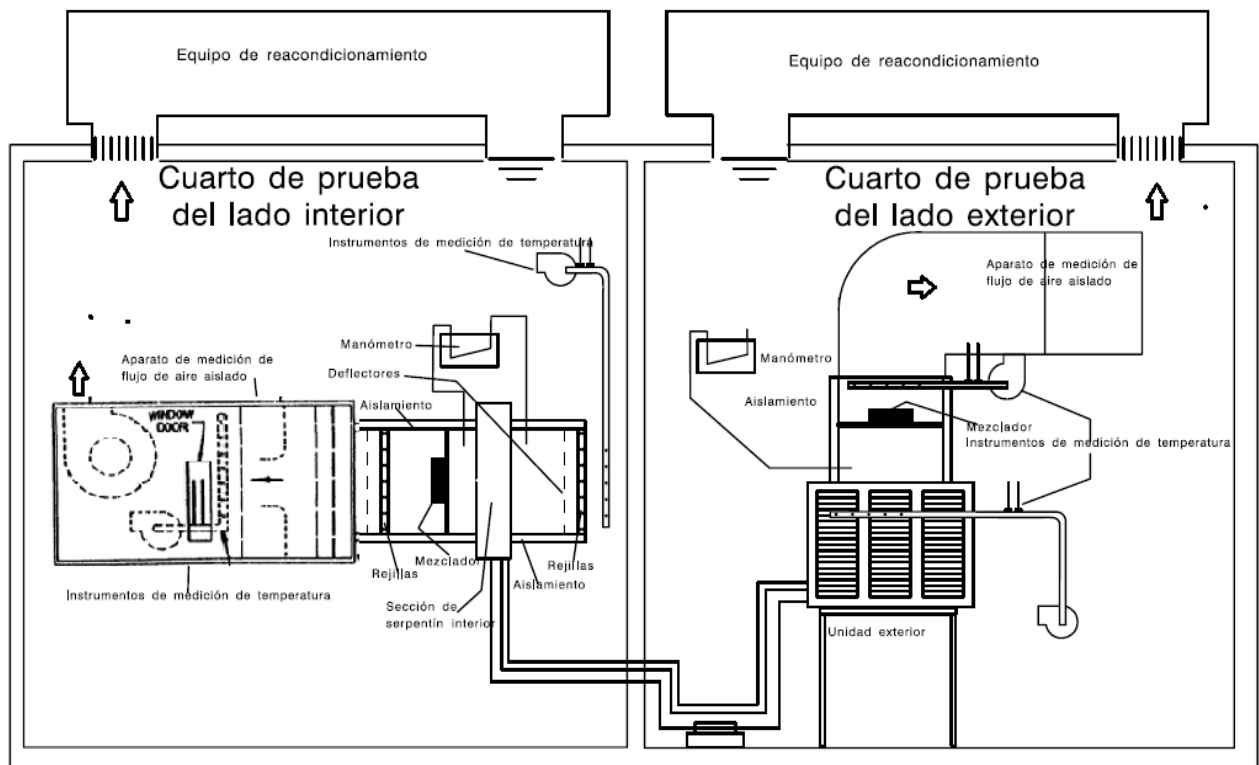


Figura 3: Método de entalpía de aire interior

Fuente: Norma AHRI 210/240

Método de entalpía de aire al aire libre

Como se muestra esquemáticamente en la figura 4, este arreglo difiere del arreglo entalpía de aire interior en el que el aparato de medición de aire de descarga es conectado a un equipo

de reacondicionamiento adecuado, el cual, a su vez, es conectado a la entrada del equipo de prueba. Este cuarto de pruebas debe estar sellado para que las fugas de aire no excedan de $\pm 1,0\%$ en lugares que podrían influenciar las mediciones de capacidad para determinar la razón de flujo de aire. La temperatura de bulbo húmedo del aire circundante al equipo debe estar dentro de $\pm 2,8^{\circ}\text{C}$ de la temperatura de bulbo húmedo requerida por la prueba. Las temperaturas de bulbo húmedo y seco y la resistencia externa deben ser medidas con los elementos adecuados.

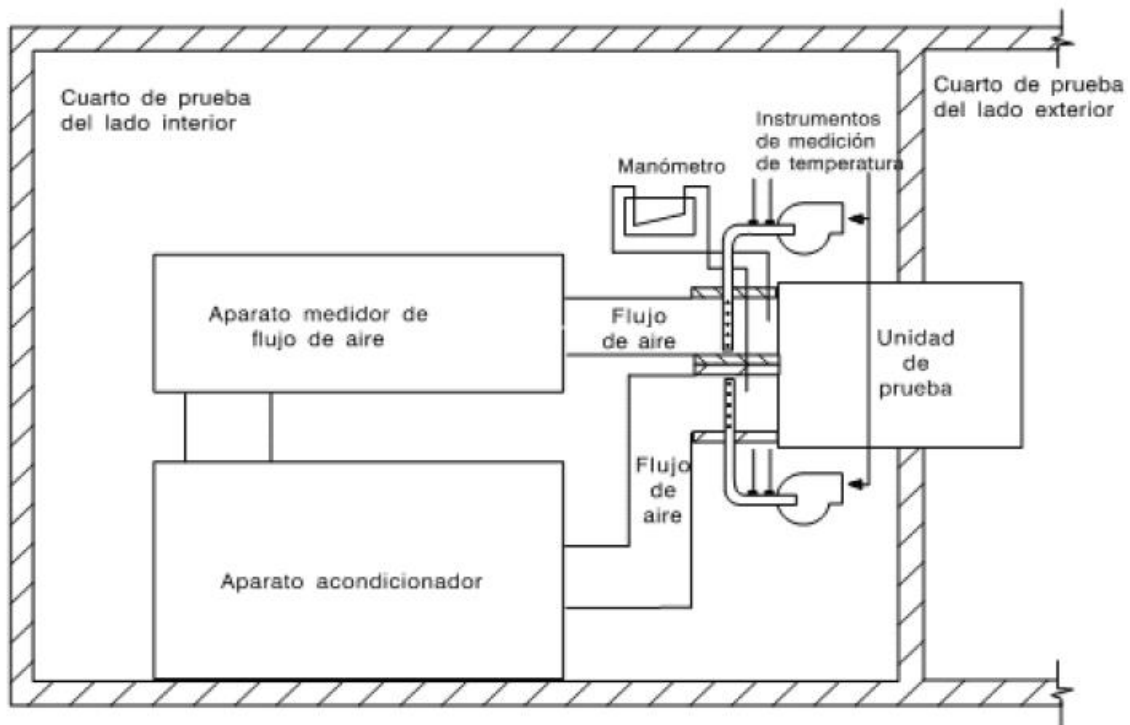


Figura 4: Método entalpía de aire al aire libre

Fuente: Norma AHRI 210/240

El arreglo de cuarto de aire entalpía

El equipo que va a ser probado se coloca, como se ilustra en la figura 5, dentro del cuarto de prueba. Un aparato de medición de aire es acoplado a la descarga de aire del equipo (evaporador o condensador, según sea aplicable), y conectado una vez más al equipo de reacondicionamiento. La descarga de aire del aparato de reacondicionamiento suministra las temperaturas adecuadas de bulbo seco y húmedo en los aparatos de muestreo de aire y manómetros que pueden medir las temperaturas de bulbo seco y húmedo y la resistencia externa como se requiere.

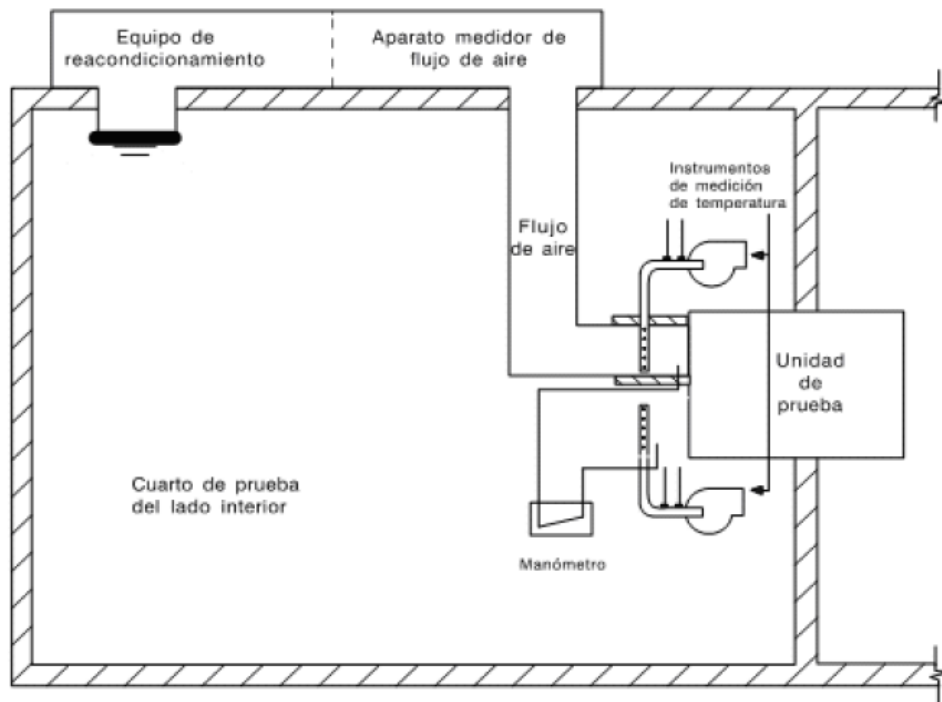


Figura 5: Método de cuarto de aire entalpía

Fuente: Norma AHRI 210/240

Método de entalpía de refrigerante

Con este método la temperatura y las presiones del refrigerante son relevantes, así como el sobrecalentamiento del evaporador, que es determinado a partir de la entalpía del refrigerante a su entrada y salida. Estas variables son utilizadas para determinar la capacidad de la unidad en prueba. Con este método los instrumentos se colocan para medir la temperatura, presión y flujo del refrigerante. La entalpía del refrigerante se determina a cada lado del evaporador. La capacidad total del sistema se puede calcular a partir de estas variables. Como se muestra esquemáticamente en la figura 6, en este arreglo se pone un "compartimiento" sobre el equipo, o la parte aplicable de este, sometido a prueba. El "compartimiento" debe ser hermético y aislado. Debe construirse con algún material no-higroscópico. Este debe ser suficientemente grande para permitir la entrada de aire y la circulación de este entre el equipo y el "compartimiento". En ningún caso debe haber menos de 15 cm entre el equipo y las paredes del "compartimiento". La entrada al "compartimiento" debe ser localizada separada de la entrada del equipo de prueba, a fin de permitir la libre circulación dentro del espacio cerrado. Debe conectarse un aparato de medición de aire a la descarga del equipo. Este debe estar bien aislado en la sección por donde pase por el espacio cerrado. Las temperaturas de bulbo seco y húmedo del aire de entrada al equipo deben ser medidas a la entrada del "compartimiento".

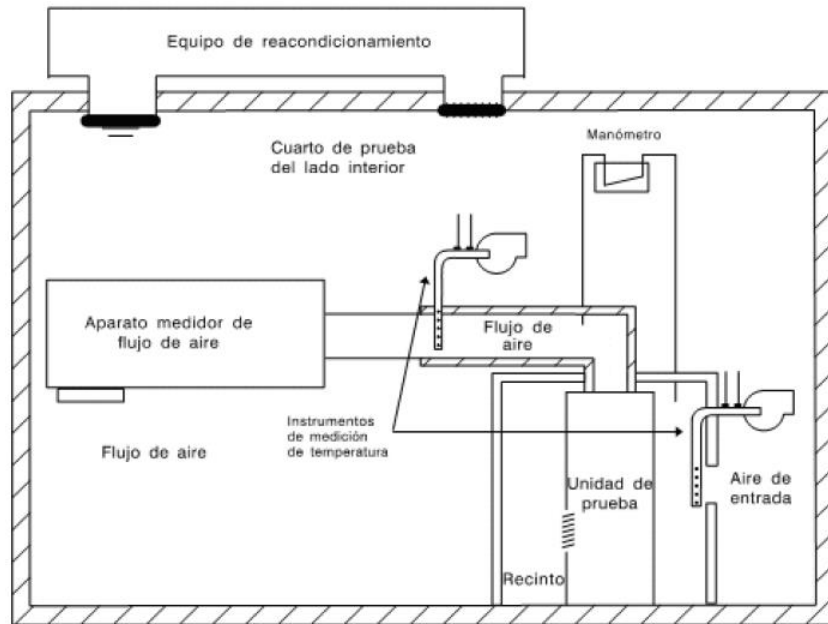


Figura 6: Método de entalpía de refrigerante

Fuente: Norma AHRI 210/240

Matemática financiera

Tasas de variación¹¹

Un aspecto del mundo económico que es de gran interés consiste en conocer las variaciones que ha experimentado la variable objeto de análisis a lo largo del tiempo

¹¹ Introducción a la Estadística Económica y Empresarial. Teoría y Práctica. Págs. 513-551.

Martín Pliego, F. J. Ed. Thomson. Madrid, 2004

Variación absoluta

Sea una variable Y de la que se ha obtenido una serie de observaciones ordenadas en el tiempo.

$$\begin{array}{ccccccccc} | & \dots & | & \dots & | & \dots & | & \dots & | & \dots & | \\ Y_0 & & Y_1 & & Y_2 & \dots & Y_{t-1} & & Y_t & & Y_{t+1} & \dots \end{array}$$

Se supone que estas observaciones se han obtenido en períodos temporales de la misma duración (observaciones mensuales, anuales, etc.).

La variación absoluta que ha experimentado la variable durante el período t (ΔY_t) se obtiene por diferencia entre el dato registrado en el momento t y el dato en el momento inmediato anterior, $t-1$:

$$\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$$

Esta diferencia viene dada en las mismas unidades de medida que la variable. En cuanto al signo:

$\Delta Y_t > 0 \Rightarrow$ evolución creciente de la variable en el período t .

$\Delta Y_t < 0 \Rightarrow$ evolución decreciente de la variable en el período t .

$\Delta Y_t = 0 \Rightarrow$ estancamiento de la variable en el período t .

ΔY_t plantea problemas a la hora de efectuar comparaciones entre series de valores de distintas variables. (Ejemplo: $220-200=20$, y $2020-2000=20$).

Para medir las variaciones de modo más preciso, eliminando las diferencias de escala para que sean comparables entre sí, es necesario expresar las variaciones en términos relativos.

Variación relativa:

La variación relativa de la serie en el período t o tasa de variación en el período t es:

$$T_t = \frac{\Delta Y_t}{Y_{t-1}} = \frac{Y_t - Y_{t-1}}{Y_{t-1}} = \frac{Y_t}{Y_{t-1}} - \frac{Y_{t-1}}{Y_{t-1}} = \frac{Y_t}{Y_{t-1}} - 1$$

T_t viene dada, en tanto, por uno. Es habitual expresarla en porcentaje o tanto por ciento, para lo cual se multiplica por 100. (Ejemplo T_t de 220 entre 200 =10% y la de 2020 entre 2000 =1%)

T_t puede ser positiva, negativa o nula. Si la variable Y solo toma valores positivos, el signo de T_t está determinado por el signo de ΔY_t . A partir de la tasa de variación se deduce el concepto de factor de variación unitaria:

$$T_t = \frac{Y_t}{Y_{t-1}} - 1 \Leftrightarrow 1 + T_t = \frac{Y_t}{Y_{t-1}}$$

$1+T_t$ es el factor de variación unitaria correspondiente al período t. y al multiplicarlo por Y_{t-1} se obtiene Y_t :

$$Y_{t-1}(1 + T_t) = Y_{t-1} \left(\frac{Y_t}{Y_{t-1}} \right) = Y_t$$

Función pronóstico de Microsoft Office Excel¹²

Calcula o pronostica un valor futuro por medio de los valores existentes. La predicción del valor es un valor y teniendo en cuenta un valor x. los valores conocidos son valores x y valores y existentes, y el nuevo valor se pronostica usando una regresión lineal. Esta función se puede usar para realizar previsiones de ventas y para establecer requisitos de inventario o tendencias de los consumidores.

Sintaxis

PRONÓSTICO(x, conocido_y, conocido_x)

La sintaxis de la función PRONÓSTICO tiene los siguientes argumentos:

“X” Obligatorio. Es el punto de datos cuyo valor se desea predecir.

Conocido_“y” Obligatorio. Es la matriz o rango de datos dependientes.

Conocido_“x” Obligatorio. Es la matriz o rango de datos independientes.

Observaciones

Si x no es numérico, PRONÓSTICO devuelve el valor de error #¡VALOR!.

¹² <https://support.office.com/es-es/article/pronostico-funci%C3%B3n-pronostico-50ca49c9-7b40-4892-94e4-7ad38bbeda99>

Si no se ha especificado ningún valor para conocido “y” o conocido_“x”, o si contienen un número diferente de puntos de datos, PRONÓSTICO devuelve el valor de error #N/A.

Si la varianza de conocido_“x” es igual a cero, PRONÓSTICO devuelve el valor de error #DIV/0!.

La ecuación de la función PRONÓSTICO es $a + bx$, donde:

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

y:

$$b = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2}$$

y donde “x” e “y” son las medias de muestra PROMEDIO (conocido_“x”) y PROMEDIO (conocido_ “y”).

Análisis de Pareto¹³

Creado por Wilfredo Pareto y conocido también como distribución ABC, gráfico de Pareto o curva 80-20. Esta herramienta permite separar los problemas más relevantes de aquellos que no tienen importancia, mediante la aplicación del principio 80-20 o principio de Pareto, que en general dice así:

El 20% de las causas genera 80% de las consecuencias.

¹³ <https://www.aiteco.com/ebook-pareto/DiagramadePareto>

En este sentido el gráfico de Pareto se utiliza entre otras cosas para:

- La mejora continua.
- El estudio de implementaciones o cambios recientes (cómo estaba antes – cómo está después).
- Análisis y priorización de problemas.

Pasos

1-Recolección de datos.

2-Ordenar los datos de mayor a menor.

3-A partir de los datos ordenados, calcular el acumulado, el porcentaje y el porcentaje acumulado.

4-Graficar el ordenado contra el acumulado.

Definición de economía¹⁴

La economía como ciencia social se puede dividir en dos campos atendiendo a la magnitud de su objeto de estudio: la microeconomía y la **macroeconomía**.

Mientras que la primera se ocupa de las decisiones que pueden tomar los diferentes agentes económicos (una familia, una empresa o un sector), la **macroeconomía** centra su interés en

¹⁴ <http://www.eleconomista.es/diccionario-de-economia/macroeconomia>

el comportamiento de una economía en su totalidad, ya sea esta local, regional, nacional o global.

Para ^{analizar} este comportamiento la macroeconomía enfoca su atención en un conjunto de variables que se denominan agregados económicos. Estos agregados económicos o macromagnitudes permiten cuantificar variables como la producción nacional, la renta, el empleo, el comportamiento de los precios, la balanza comercial o la inflación.

A partir del análisis y la observación de estas macromagnitudes la macroeconomía se desarrolla en dos vertientes: la vertiente positiva y la vertiente normativa.

La vertiente positiva consiste en plantear modelos y teorías que contribuyan a explicar de manera descriptiva el desarrollo de procesos económicos, como pueden ser el ciclo económico o el crecimiento de la economía. Por su parte, la vertiente normativa presenta propuestas de política económica dirigidas a mejorar el funcionamiento de una economía. Estas políticas se pueden plantear desde una perspectiva no intervencionista que garantice un marco económico en el que los mercados puedan funcionar libremente, como también desde una perspectiva más intervencionista en la que el Estado desarrolla políticas para estabilizar el funcionamiento de la economía o redistribuir la riqueza.

MARCO METODOLÓGICO

Investigación descriptiva

La investigación descriptiva es considerada un método científico en el que se requiere aplicar investigación documental acerca del comportamiento de un tema, sin influir en él de ninguna manera y solo teniendo como objetivo principal saber por qué y para qué se está desarrollando un tema en específico.

Recopilación de datos

Inicialmente se recopila documentación sobre leyes, normativas y reglamentos de alcance nacional, en este caso relacionada con la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado importado a Costa Rica, como el histórico aduanal de los años 2015, 2016 y 2017 sobre los equipos de aire acondicionado importados al país. Además, se recopilan datos referentes a la huella de carbono generada por concepto de consumo de electricidad.

Análisis de datos

Mediante la utilización de la herramienta de Microsoft Office, Excel, se consolidará la información de los tres años en una sola base de datos, para cruzar luego dicha información con la base de datos del ente certificador AHRI. Los datos son procesados mediante tablas dinámicas, el análisis de Pareto y la elaboración de gráficos.

Propuesta

La propuesta contempla una visión general de la realidad regional en cuanto a límites de eficiencia energética para equipos de aire acondicionado, que contrasta con la realidad nacional en cuanto a equipos con mayores índices de importación y consumo energético.

También se definen las características de los equipos requeridos en una cámara psicométrica para realizar pruebas de eficiencia energética.

Comparación ambiental y energética

Se evidencia el consumo energético de los equipos de aire acondicionado actual si:

- Los equipos importados cumplieran con la normativa vigente y su huella de carbono (kWh/TonCO₂).
- Se proponen nuevos límites mínimos de eficiencia para estos equipos y su huella de carbono (kWh/TonCO₂).
- Se estimar el impacto en la generación eléctrica y en la emisión de CO₂ mediante proyecciones futuras, de acuerdo con los límites mínimos de eficiencia propuestos:

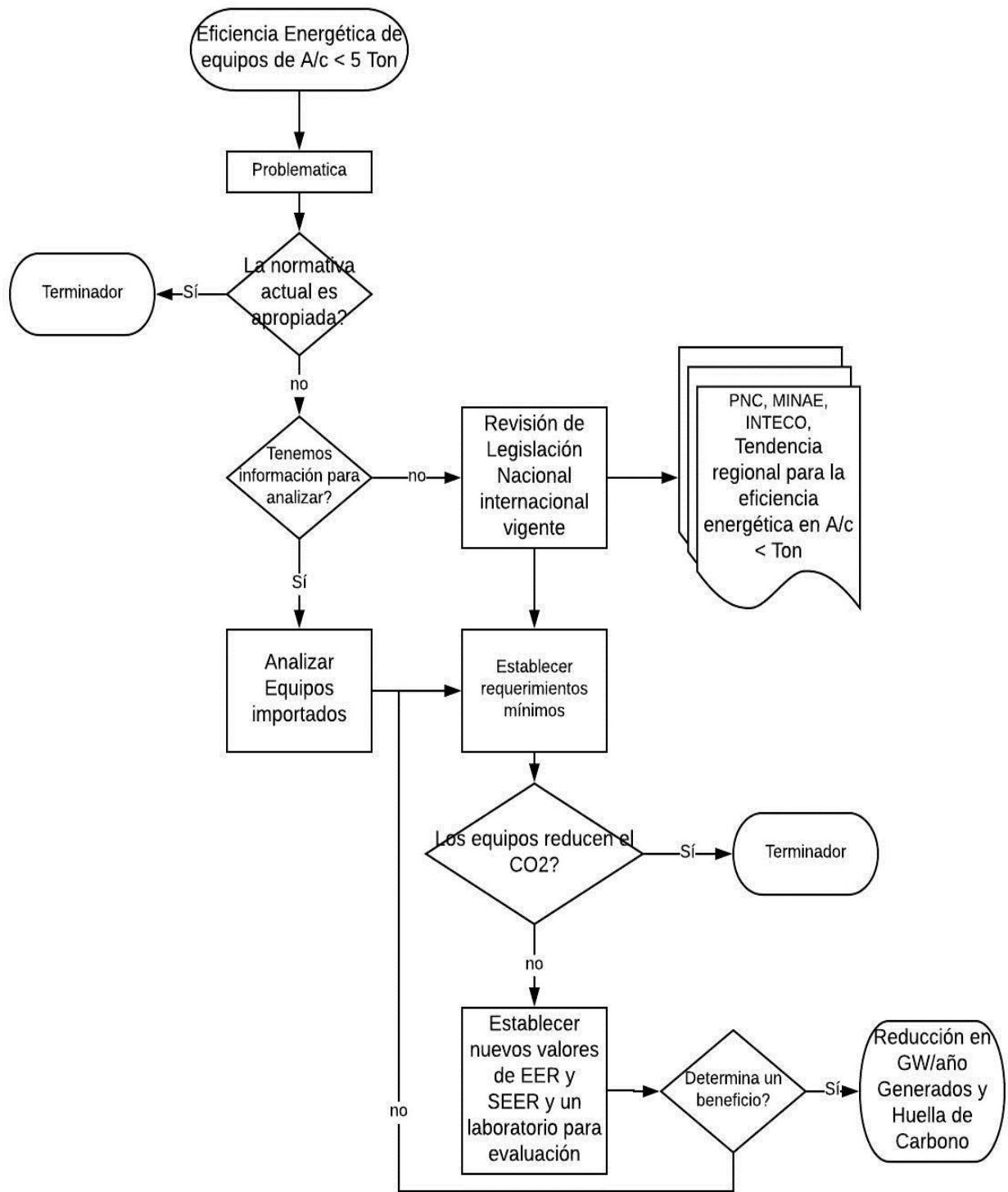


Diagrama 1: Diagrama de flujo de la investigación

Fuente: Elaboración propia

DIAGNÓSTICO

La eficiencia energética y los estándares mínimos de eficiencia energética

Mejorar la eficiencia energética de los artefactos domésticos e industriales es relevante para avanzar en las políticas de sustentabilidad en Costa Rica. De acuerdo con diversos expertos, estudios y recomendaciones internacionales¹⁵, el etiquetado de eficiencia energética y los estándares mínimos de eficiencia energética (MEPS, por sus siglas en inglés) son las políticas más costo-efectivas para mejorar el parque tecnológico disponible en un país, y de esta manera avanzar en el desarrollo de una política pública que incremente la eficiencia energética de dichos equipos.

En cuanto a los aires acondicionados, a nivel internacional la demanda de este tipo de equipos se ha venido incrementando rápidamente, especialmente en regiones con clima caluroso. A medida que el nivel de ingreso crece aumentan la calidad de vida, las ventas y el uso de aires acondicionados, 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 lo tiene el consumo eléctrico que lidera las emisiones de gases de

¹⁵ Se puede nombrar: Recomendaciones APEC – Revisión de Expertos 2009; Informe Comisión Ciudadana Técnico-Parlamentaria; Informe Comisión Asesora Desarrollo Eléctrico; Especialistas Lawrence Berkeley Lab. Universidad de California.

efecto invernadero, debido al funcionamiento de plantas de generación eléctrica que utilizan combustibles fósiles.

Legislación nacional referente a la eficiencia energética de equipos de aire acondicionado

El Consejo Nacional para la Calidad (CONAC), de acuerdo con la Ley N.º 8279 instaura el Sistema Nacional para la Calidad (SNC), con la finalidad de mejorar la competitividad de las empresas nacionales y procurar una mayor confianza en la transacción de bienes y servicios. Ello mediante el establecimiento del marco estructural para las actividades vinculadas con el desarrollo y la demostración de la calidad, a fin de facilitar el cumplimiento de los compromisos internacionales en materia de evaluación de la conformidad.

Tiene como objetivo obtener la credibilidad y el reconocimiento internacional de las actividades de evaluación de la conformidad de acuerdo con:

Acreditación: A cargo del Ente Costarricense de Acreditación (ECA), encargado de acreditar posteriormente el cumplimiento de los requisitos, conforme con las buenas prácticas internacionales y de estimular la acreditación en todos los ámbitos tecnológicos y científicos del país¹⁶.

Metrología: En esta instancia el Laboratorio Nacional de Metrología (Lacomet) tiene como objetivo garantizar la trazabilidad de las mediciones que se ejecutan en el país hasta la realización de ellas, de acuerdo con lo establecido por el Sistema Internacional de Unidades

¹⁶<http://www.eca.or.cr>

(SI); difunde y fundamenta la metrología nacional, custodia los patrones nacionales y funge como laboratorio nacional de referencia en metrología¹⁷.

Normalización: El Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) se encarga del proceso de formular y aplicar reglas con el propósito de establecer un orden en una actividad específica, apoyándose en comités técnicos conformados por expertos nacionales y tomando como base la ciencia, la técnica y la experiencia. Además, considera el interés general del país y el momento de su desarrollo¹⁸.

Reglamentación técnica: El Órgano de Reglamentación Técnica (ORT) es el encargado de coordinar, con los respectivos ministerios, la elaboración de sus reglamentos técnicos, de modo tal que su emisión permita la efectiva y eficiente protección de la salud humana, animal, vegetal, del ambiente, de la seguridad, del consumidor y de demás bienes jurídicos bajo su tutela¹⁹.

El SNC está integrado por todos los órganos, organismos, laboratorios y entidades que ofrecen o coordinan servicios relacionados con la evaluación de la conformidad, independientemente de si operan en el sector público o en el privado.

¹⁷<http://www.lacomet.go.cr>.

¹⁸<https://www.inteco.org/page/inteco.faq>.

¹⁹<https://www.reglatec.go.cr/reglatec/principal>.

Plan Nacional de Energía 2015-2030

El VII Plan Nacional de Energía 2015-2030 del 14 de setiembre del 2015 define como prioridad la eficiencia energética y la generación distribuida, y establece una ruta clara hacia el desarrollo bajo en emisiones e instando a continuar con el desarrollo de energías renovables. Reitera el compromiso del país para lograr una mayor eficiencia energética, tanto en el consumo eléctrico como en el uso final de combustibles.

En un estudio realizado por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) (ICE, 2013) se determinó que la reglamentación técnica es una base fundamental para el logro de objetivos en materia de eficiencia de equipos. Otra recomendación para la promoción de equipos eficientes es establecer distintivos visuales que les indiquen a los consumidores cuáles son los equipos más eficientes disponibles en el mercado nacional y les permitan considerar ese criterio en el momento de realizar su compra.

La eficiencia energética de los equipos puede variar de acuerdo con la tecnología con la que estén fabricados; por tanto, es posible mejorar la eficiencia promedio de los equipos que están en operación, y seleccionar adecuadamente los equipos que se adicionan al parque instalado. Por otra parte, la incorporación de tecnología para el logro de mayor eficiencia puede significar, en algunos casos, un mayor costo que se traduce, por lo general, en mayores precios de los equipos más eficientes, en comparación con los menos eficientes. Asimismo, existen beneficios externos que no son percibidos por los consumidores particulares, como es el caso de la reducción de emisiones o del impacto para el desarrollo de infraestructura energética.

Por tal motivo los consumidores pueden tener criterios de inversión diferentes de los criterios en el nivel país y sus decisiones de compra pueden no coincidir con los intereses nacionales. Por estas razones se requiere la intervención de la política para propiciar condiciones favorables a la introducción de las mejores tecnologías²⁰.

Programa de Gestión Ambiental Institucional DE-36499-S-MINAE (PGAI)

La Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA) es el ente encargado de promover los PGAI mediante mecanismos voluntarios y regulaciones, con el fin de garantizar que las actividades, obras y proyectos, tanto públicos como privados, se lleven a cabo con una visión de desarrollo sostenible.

El diagrama 2 detalla los alcances de los PGAI y resalta el tema del consumo eficiente de energía que concierne a este estudio.

²⁰VII Plan Nacional de Energía, 2015-2030 / Ministerio de Ambiente y Energía MINAE; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. – 1 ed. – San José,

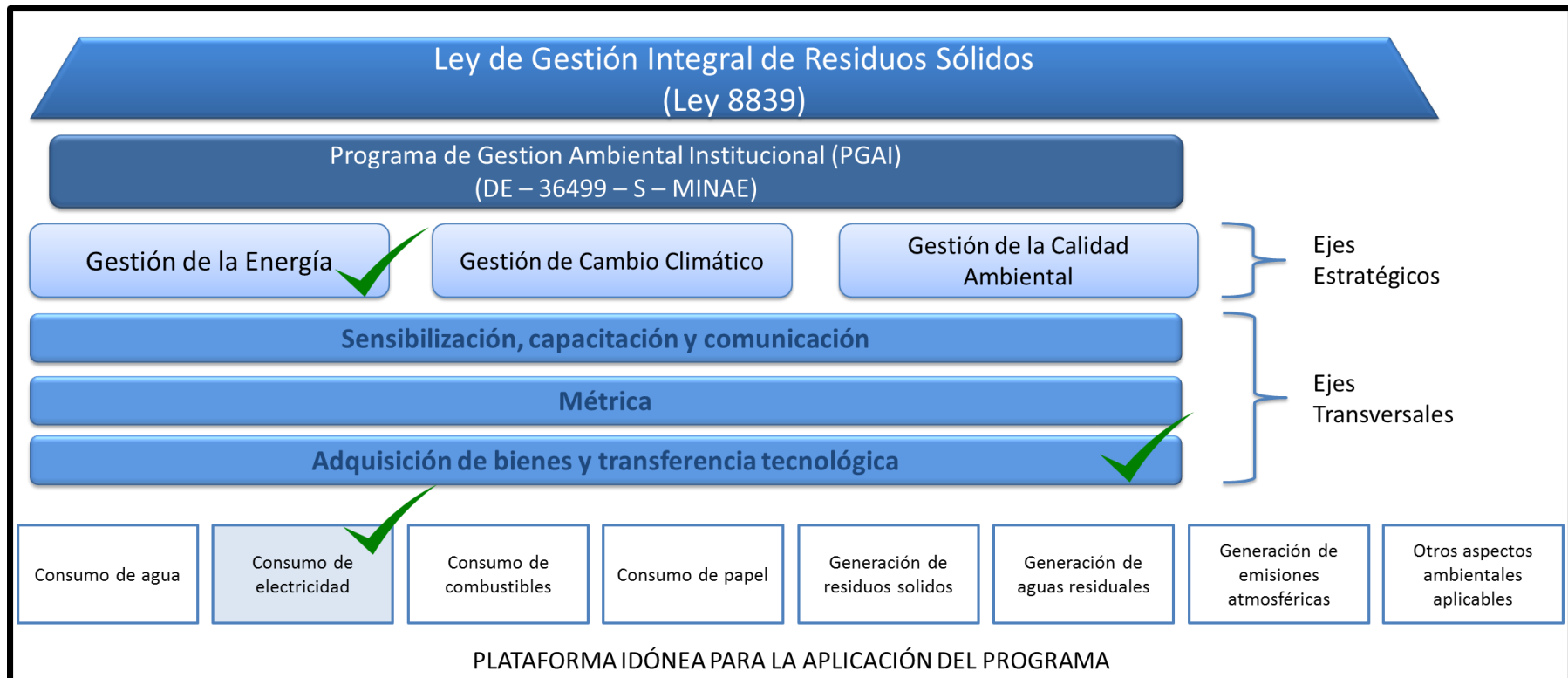


Diagrama 2: Diagrama de Alcance de los PGAI

Fuente: http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/directriz_011-minae

De acuerdo con la Dirección Sectorial de Energía del 2014, el sector público consumió 12,6 % de la electricidad durante ese año, lo cual resulta significativo dentro del consumo total. Pero más que eso, este sector está llamado a ser ejemplo de eficiencia energética por hacer uso de recursos públicos. En muchos países se ha utilizado el poder de compra del Estado para fomentar la introducción de tecnologías eficientes, con lo cual se logra, entonces, un beneficio adicional al simple ahorro energético. En Costa Rica se publicó la Directriz N° 011-MINAE, 2014, mediante la cual se establece la prohibición de adquirir equipos, luminarias y artefactos de baja eficiencia que provoquen alto consumo de electricidad para ser utilizados en los edificios e instalaciones de tránsito peatonal que ocupe el sector público.

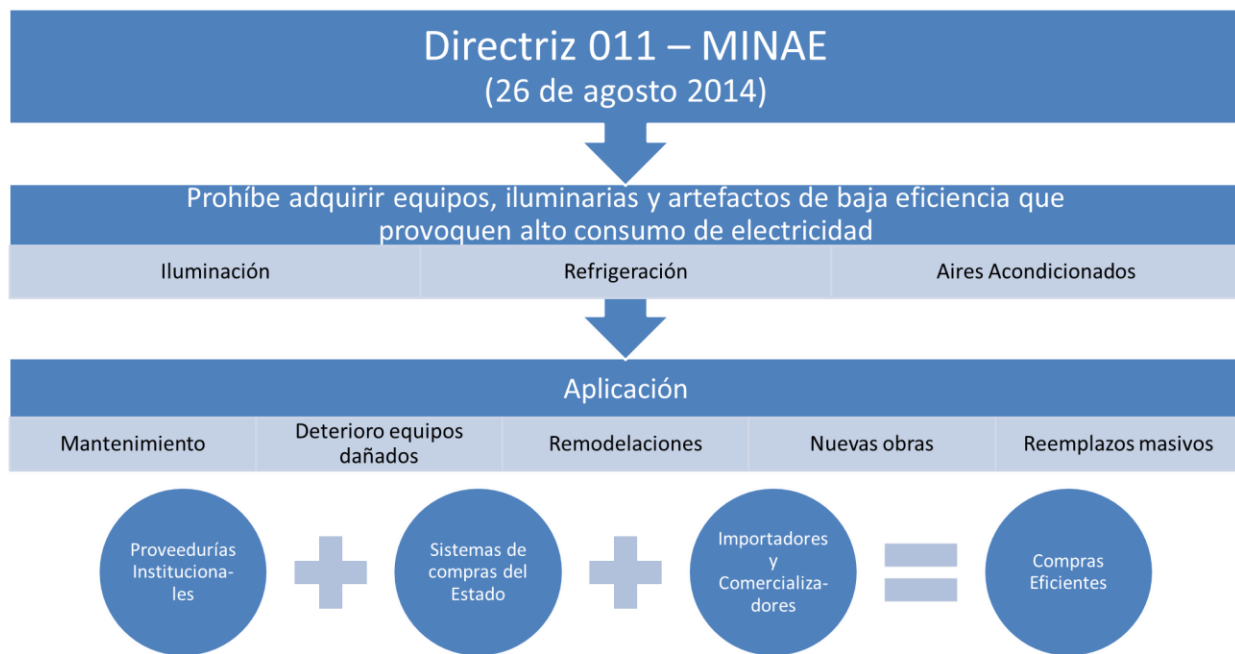


Diagrama 3: Diagrama de acción directriz 11 MINAE

Fuente: http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/directriz_011-MINAE

Escenario energético de Costa Rica

El gráfico 2 muestra una curva típica del promedio de generación eléctrica por planta térmica, por hora. En lo que va del 2018 se puede notar el aumento en la demanda generación, cerca de las 18:00, a las 15:00 horas (pico máximo cerca de las 15:00 horas), lo cual obligan a disponer de capacidad por encima del promedio para atenderla. Además, estos picos son los causantes de muchas de las emisiones de gases de efecto invernadero por la generación eléctrica, ya que con el objeto de optimizar costos, las plantas instaladas para atender tales picos son térmicas (la línea negra resaltada representa la planta térmica de Garabito).

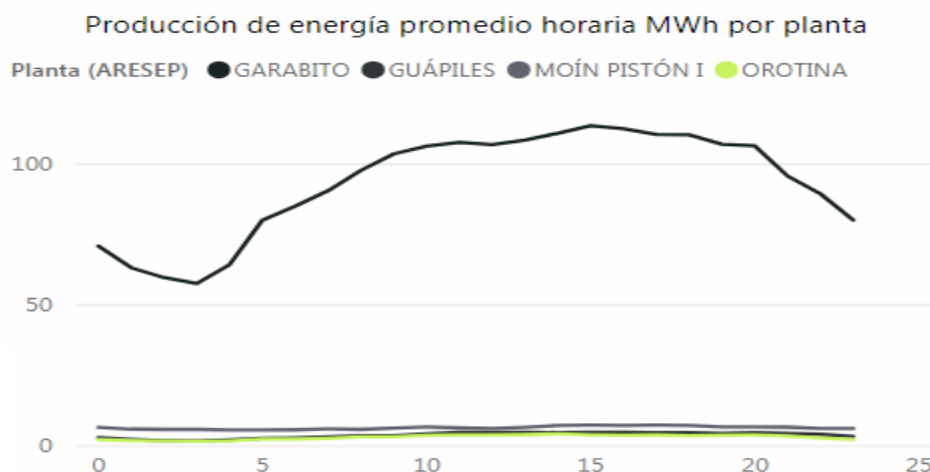


Gráfico 2: Costa Rica, Promedio de Producción de Electricidad 2018 por Planta Térmica

Fuente: ARESEP, abril 2018

Según el Instituto Costarricense de Electricidad, en su VII plan eléctrico nacional, publicado en el 2014, la razón es que las plantas térmicas presentan bajos costos de inversión en comparación con las plantas hidroeléctricas y, aunque tengan mayores costos de operación debido al uso de combustibles fósiles, solo se utilizan por periodos cortos para la atención de los picos, por lo cual no es económicamente conveniente sustituirlas por plantas hidroeléctricas.

Siempre será deseable incidir en tales picos de demanda a fin de aplanar en lo posible la curva y así eliminar o reducir en gran parte la generación térmica y limitar la necesidad de instalar plantas adicionales. En ese sentido el conocimiento de las características del consumo es fundamental para el correcto diseño de políticas efectivas. Específicamente, es importante conocer cuáles son los usos y sectores que más contribuyen al consumo en los picos y establecer políticas destinadas a su reducción.

En el gráfico 3 se evidencia que en lo que va del año 2018 se ha utilizado generación de electricidad por plantas térmicas, la cual debe ser atendida como se mencionó anteriormente.

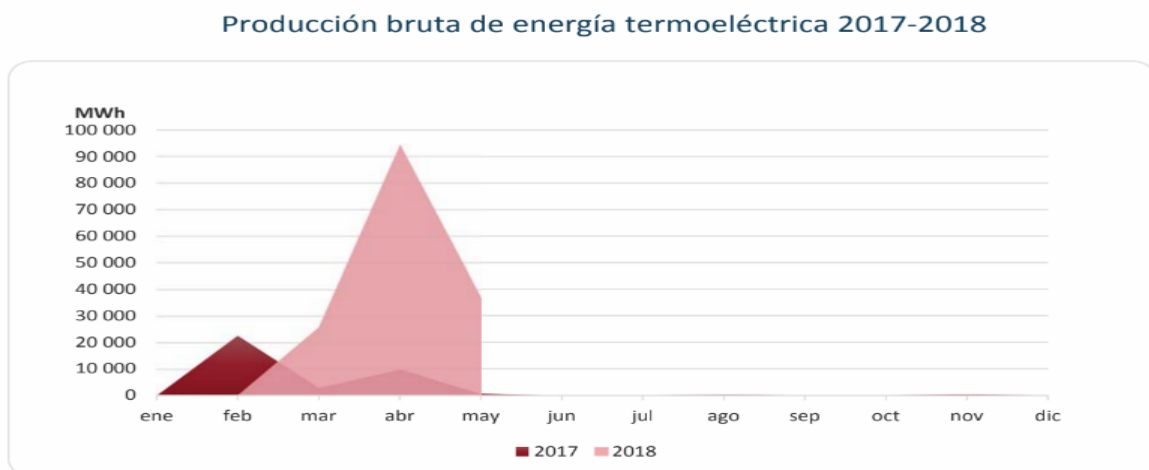


Gráfico 3: Costa Rica, Promedio de producción de electricidad 2018 por planta térmica

Fuente: SENCE, mayo 2018

En Costa Rica se han realizado encuestas para la identificación y cuantificación de esos usos en los diferentes sectores. De acuerdo con la más reciente encuesta de consumo en el sector residencial, de la Dirección Sectorial de Energía, desarrollada en 2013, los usos más importantes en ese sector son: refrigeración, entretenimiento, calentamiento de agua, cocción de alimentos e iluminación.

En el sector de comercio y servicios predominan motores, aires acondicionados, iluminación, equipo de oficina y refrigeración, de acuerdo con la encuesta respectiva (Dirección Sectorial de Energía, 2014), mientras que en el sector industrial los usos dominantes son la generación de fuerza mediante los motores eléctricos, refrigeración, aire comprimido, producción de calor, aire acondicionado e iluminación (Dirección Sectorial de Energía, 2014).

En el gráfico 4 se presentan las proyecciones realizadas por el ICE de la generación requerida para abastecer el consumo eléctrico hasta el 2030, en las cuales en el escenario medio se esperaría una tasa promedio de crecimiento anual para el periodo 2014-2030 de 4,0 %²¹.

²¹ /Ministerio de Ambiente y Energía MINAE.VII Plan Nacional de Energía 2015-2030 Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. – 1 ed. – San José.2015.

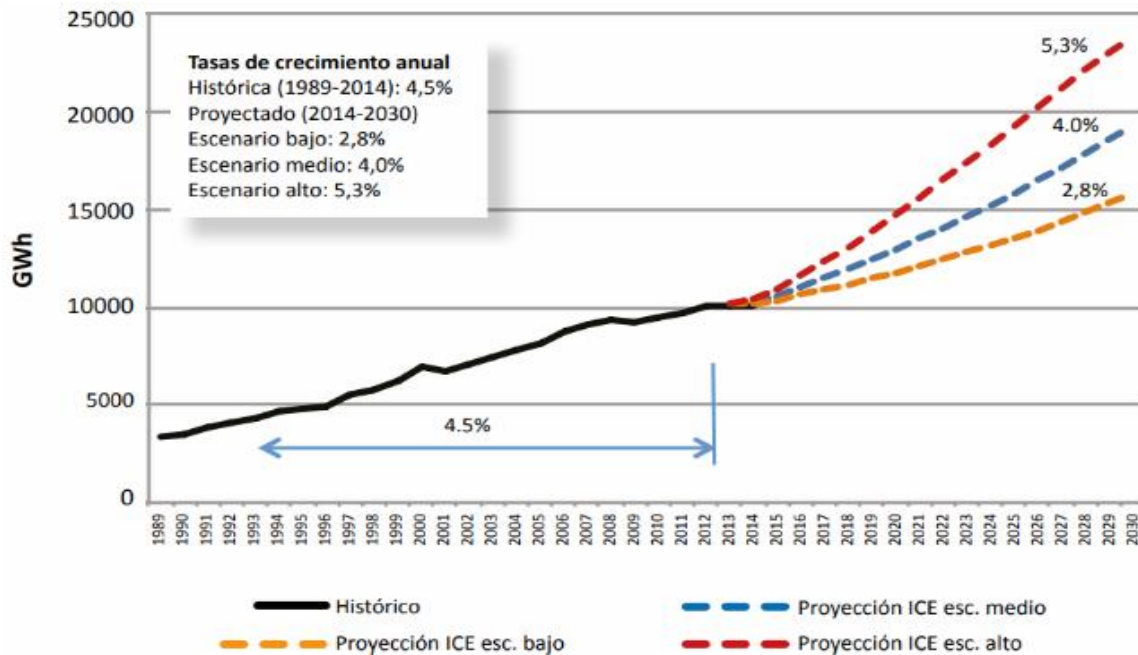


Gráfico 4: Costa Rica, Generación de electricidad histórico (1989-2014) y proyectada por el ICE (2015-2030)

Fuente: VII Plan Nacional de Energía 2015-2030

Huella de carbono en Costa Rica²²

Costa Rica realizó su último inventario de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en el año 2012. En él se detalla el impacto de las diferentes actividades que generan este tipo de gases. Para este estudio es relevante conocer los efectos de la generación eléctrica y su impacto en este tipo de gases, especialmente en el CO₂.

²²Propuesta de Política Nacional de Consumo y Producción Sostenible 2018 -2030, Dirección de Gestión de Calidad Ambiental Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) Costa Rica 5-12-2017.

En el 2012 la generación de electricidad se distribuyó de la siguiente manera: 71,8% hidráulica, 13,9% geotérmica, 5,2% eólica, 8,2% térmica, 0,8% biomásica y 0,003% solar; equivalente a 557,6 toneladas de CO₂.²³

En el caso de las plantas térmicas del país estas utilizan básicamente dos combustibles fósiles: el búnker y el diésel, dependiendo de la tecnología utilizada. El bunker es el combustible más usado, con 88%. El bagazo y los residuos vegetales son los combustibles biomásicos usados para la generación de electricidad y cuyas emisiones han sido contabilizadas en el inventario, con excepción del dióxido de carbono que no se agrega al valor final.

Las emisiones de GEI de la energía geotérmica no tienen una metodología definida en las directrices del IPCC (Panel Intergubernamental para el Cambio Climático); no obstante, en el caso de Costa Rica se hace una evaluación de las emisiones generadas en este sistema. Para calcular las emisiones de este rubro se determinó que 70% de la generación geotérmica en el año 2012 se realizaba en plantas flash, y 30% en plantas binarias, las cuales tienen 0 emisiones. La generación total por plantas geotérmicas fue de 1.403 GWh. Correspondió a plantas flash un valor de 980 GWh. El factor de emisión fue tomado de un estudio de medición directa en las plantas, cuyo valor es de 90 ton CO₂/GWh. La emisión de CO₂ fue de 89,57Kilo toneladas. (Ver la tabla 4)

²³ Inventario Nacional de los Gases Efecto Invernadero, Costa Rica, MINAE, 2012.

Tabla 4: Distribución de la generación de electricidad en Costa Rica, 2012

Fuente	% Generación	GWh	kiloToneladas CO₂/GWh	Gg Co₂
Hidráulica	71,800%	0	0	0
Geotérmica	13,900%	(70% generoCO2) 980	90	89,57
Eólica	5,200%	0	0	0
Térmica	8,200%	827,67	560,3	557,62
Biomásica	0,800%	no se sumó al total final	0	0
Solar	0,003%	0	0	0
Total	99,903%	827,67	650,3	647,19

Fuente: Inventario Nacional de los Gases de Efecto Invernadero, Costa Rica, MINAE, 2012

CAPÍTULO III DESARROLLO

Análisis de los equipos de aire adicionado importados a Costa Rica

Este análisis se realizó a partir de la información de aduana sobre los equipos de aire acondicionado importado a Costa Rica entre 2015 y 2017. (Información facilitada por DIGECA).

A partir de la base de datos de aduanas de los equipos de aire acondicionado únicamente resultó relevante para el estudio la información de las columnas de fabricante, cantidad y modelo. Estas columnas fueron estudiadas mediante una tabla dinámica (Microsoft office Excel) aplicada a un análisis de Pareto. Lo anterior con la finalidad de priorizar las marcas de equipos con mayor índice de importación.

El rubro de modelo fue cruzado con la base de los certificados de eficiencia energética del Instituto Aire Acondicionado, Calefacción y Refrigeración de Estados Unidos de América (por sus siglas en inglés, AHRI²⁴), o con información en línea con la finalidad de definir su potencia de enfriamiento, así como su eficiencia energética (EER o SEER). (Ver los anexos A.3.1 y A.3.2)

²⁴El certificado del Instituto de aire Acondicionado, Calefacción y Refrigeración (AHRI) es sinónimo de productividad y eficiencia energética. Fue herramienta fundamental de verificación de la conformidad técnica de los catálogos de fabricantes de equipos de climatización y refrigeración. En este trabajo se referencio a la AHRI 210240 para equipos residenciales menores de 17,5 kWh (60.000 BTU/h) de capacidad térmica.

Base de datos para el estudio

Como se mencionó anteriormente, la información utilizada para este estudio se obtuvo a partir de la recopilación de datos de aduanas de los equipos de aire acondicionado importados al país. Dentro de esta información se determinaron las siguientes inconsistencias:

- Casillas en blanco en los rubros de cantidad o modelo.
- Modelos que no coinciden con ninguna marca.
- Modelos registrados con marcas diferentes a la del fabricante.
- Error de escritura en modelos, como espacio, guiones o posición de letras en posiciones equivocadas.
- Nombres de personas en casilla de fabricante.
- El rubro de fabricante en blanco o con errores de escritura.
- El rubro de modelo solo contempla el condensador o el evaporador en la mayoría de los casos (para certificación AHRI de eficiencia es necesario ligar un condensador con un evaporador).
- En el rubro de modelo se colocó el código del equipo.

Comportamiento de equipos de aire acondicionado importados a Costa Rica (2015-2017)

Primeramente, en la tabla 5 se definió mediante un análisis de Pareto 20% de las marcas que generaron 80% de las importaciones para priorizar los equipos, en los cuales era necesario completar la información mínima para el estudio, de un total de equipos importados por año de 55.608 para el 2015, 88.385 en el 2016 y 75.086 en el 2017.

Tabla 5: Análisis según Pareto de equipos de aire acondicionado con mayor importación, 2015-2017

2015				2016				2017			
Fabricante	Cantidad	% Acumulado	% Pareto	Fabricante	Cantidad	% Acumulado	% Pareto	Fabricante	Cantidad	% Acumulado	% Pareto
INNOVAIR	8007	14%	14%	INNOVAIR	15353	17%	17%	MIDEA	8011	11%	11%
MIDEA	6821	12%	27%	Panasonic	5220	6%	23%	INNOVAIR	7921	11%	21%
SANKEY	5728	10%	37%	CARRIER	4772	5%	29%	CARRIER	5653	8%	29%
CARRIER	4294	8%	45%	SANKEY	4737	5%	34%	Panasonic	5262	7%	36%
Panasonic	3170	6%	50%	MIDEA	3921	4%	38%	MASTERTECH	4157	6%	41%
GALPA	2439	4%	55%	GREE ELECTRI	3401	4%	42%	GUANGZHO	3230	4%	46%
ZHEJIANG YONC	2363	4%	59%	GUANGZHOU Z	3281	4%	46%	EVERWELL	3223	4%	50%
AIR CONDITIONI	2010	4%	63%	ZHEJIANG YOI	3137	4%	50%	SANKEY	2992	4%	54%
MASTERTECH	1476	3%	65%	MASTERTECH	2525	3%	52%	DUPONT	2799	4%	58%
DUPONT	1121	2%	67%	Electrolux	2365	3%	55%	GREE ELECT	2161	3%	60%
LENNOX	1106	2%	69%	DAIKIN	2350	3%	58%	BOREAL	1962	3%	63%
NATIONAL REFF	1050	2%	71%	LENNOX	1956	2%	60%	GALPA	1845	2%	66%
SINOCHEM NINC	1023	2%	73%	GALPA	1894	2%	62%	DAIKIN	1798	2%	68%
TRANE	870	2%	75%	DUPONT	1809	2%	64%	LENNOX	1624	2%	70%
GUANGZHOU ZF	847	2%	76%	HONEYWELL	1806	2%	66%	TCL	1438	2%	72%
GREE ELECTRIC	788	1%	78%	LG	1804	2%	68%	TELSTAR	1365	2%	74%
ELECTROLUX	771	1%	79%	TELSTAR	1683	2%	70%	MABE	1304	2%	76%
SAMSUNG	710	1%	80%	(en blanco)	1665	2%	72%	NATIONAL I	1214	2%	77%
BRETANO CORF	588	1%	81%	NATIONAL REI	1427	2%	74%	GOODMAN	1210	2%	79%
TGM	558	1%	82%	BRETANO COF	1402	2%	75%	NINHUA	1102	1%	80%
.	539	1%	83%	E AIR LLC	1328	2%	77%	GE	952	1%	82%
MABE S.A. DE C	486	1%	84%	TELSTAR	1314	1%	78%	ELECTROLL	925	1%	83%
DAIKIN	454	1%	85%	TCL	1249	1%	80%	TGM	733	1%	84%

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de aduana

La tabla 6, a partir del análisis de Pareto, detalla que las potencias de enfriamiento entre 2,6 y 7 kW_{Term} (9000 y 24000 BTU/h) fueron las de mayor ingreso al país en el periodo estudiado, lo que demuestra que los equipos con potencias de enfriamiento de 3,5 kW_{Term} (12000 BTU/h) presentaron mayor índice de importación. En el gráfico 5 se detalla que de los tres años analizados el 2016 fue el de mayor importación de estos equipos.

Tabla 6: Total de equipos de aire acondicionado por potencia térmica

kW Térmicos	(BTU/h)	2015	2016	2017
2,6	(9000)	1324	2475	1403
3,5	(12000)	11209	17429	15349
5,2	(18000)	4651	5902	4749
5,85	(20000)	153	627	184
6,59	(22500)		30	
7	(24000)	3863	5237	2826
10	(34000)	10	10	
10.5	(36000)	775	289	431
14	(48000)	280	125	24
15,8	(54000)			23
16,1	(55000)	58	30	
16.98	(58000)	37	143	160
17,5	(60000)	1054	417	238

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de aduana

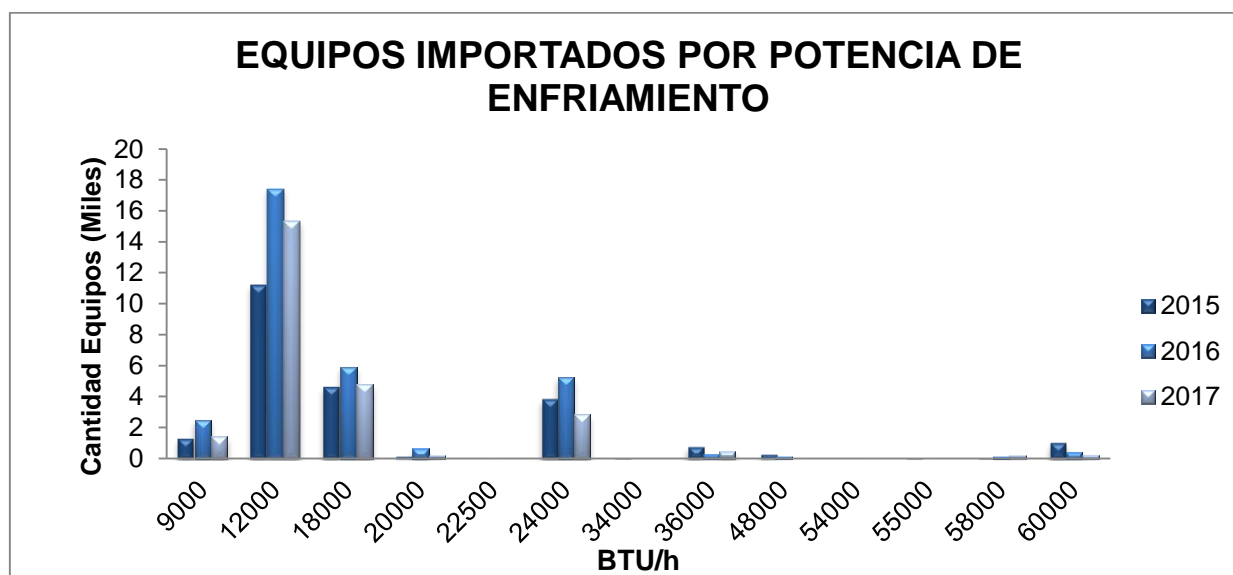


Gráfico 5: Cantidad de equipos importados por potencia de enfriamiento entre 2015 y 2017

Fuente: Elaboración propia (base de datos de equipos de A/c de aduana)

Certificado AHRI en aires acondicionados importados

Al cruzar la información de la tabla 6 con la base de datos de certificados AHRI y corroborar simultáneamente el cumplimiento de la normativa nacional de eficiencia energética para equipos de aire acondicionado se obtuvo la tabla 7, en la cual se agrupan los equipos que coincidían con la certificación AHRI (“SI” y “NO”) y que a su vez los subdividiera en los equipos que cumplían o no con la normativa nacional de eficiencia energética vigente para estos equipos.

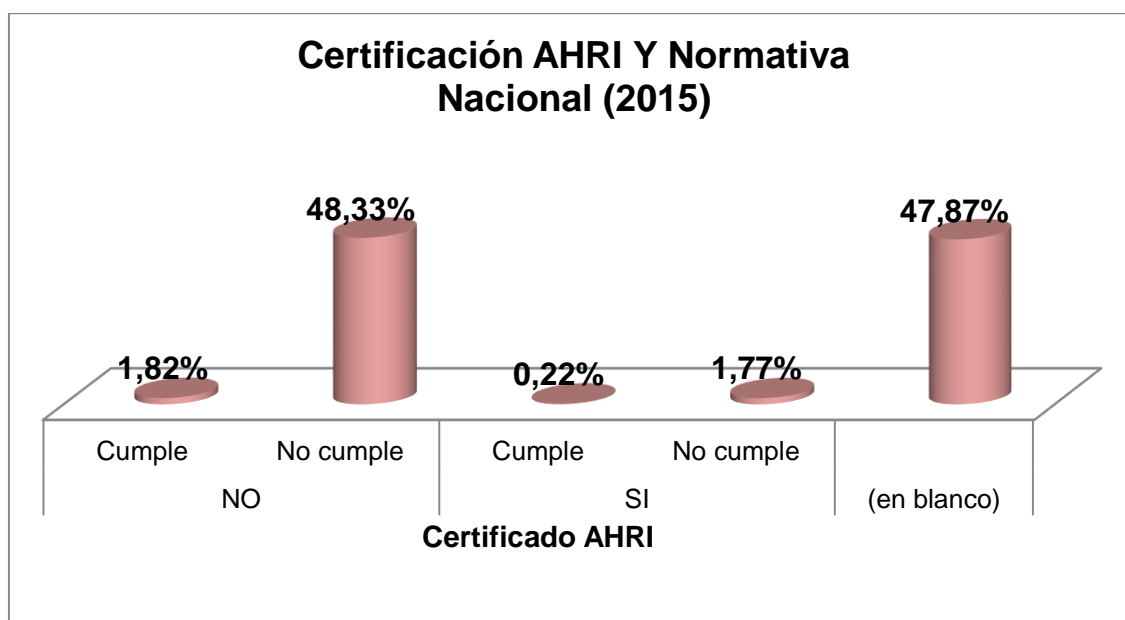
De acuerdo con las estimaciones realizadas, los gráficos 6, 7 y 8 exponen que conforme avanzan los años disminuye el porcentaje de equipos en la clasificación sin certificado, y que no cumplen con la normativa nacional (de 43% en el 2015 a 32% en 2017). Además, se presenta un aumento cercano a 10% en los equipos que ingresan al país con certificación AHRI y que cumplen con la normativa nacional (0,22% en el 2015 a 2,01 % en el 2017).

El punto que referencia a los equipos en blanco contempla todos aquellos que dentro del 80% de importancia no se encontró información suficiente para el estudio, además de los equipos que representaron el 20% restante del análisis de Pareto. Estos equipos presentaron un aumento de 52% en el 2016 y de 54% en el 2017, con el detalle de que para este último la cantidad de equipos importados fue menor.

Tabla 7: Certificación AHRI y cumplimiento de la normativa nacional

Certificado	2015 (%)	2016 (%)	2017 (%)
NO	50,15	43,87	34,30
Cumple (Normativa)	1,82	1,52	1,68
No cumple(Normativa)	48,33	42,35	32,55
SI	1,99	3,81	11,19
Cumple(Normativa)	0,22	0,99	2,01
No cumple(Normativa)	1,77	2,83	9,18
(en blanco)	47,87	52,32	54,51

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de aduana



Gráfica 6: Porcentaje de equipos certificados AHRI y normativa nacional importados 2015

Fuente: Elaboración propia (base de datos de equipos de A/c de aduana)

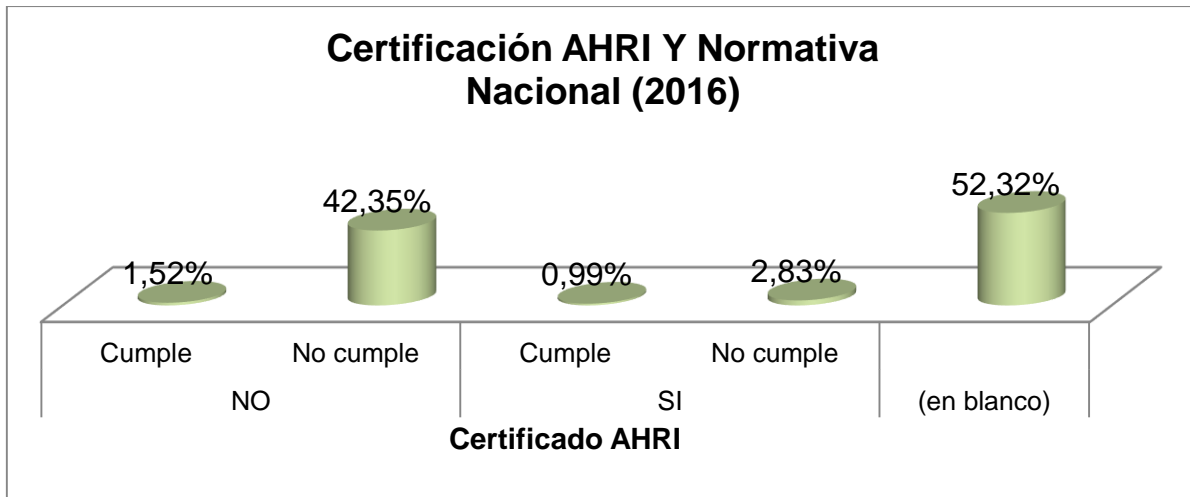


Gráfico 7: Porcentaje de equipos certificados AHRI y normativa nacional importados 2016

Fuente: Elaboración propia (base de datos de equipos de A/c de aduana)

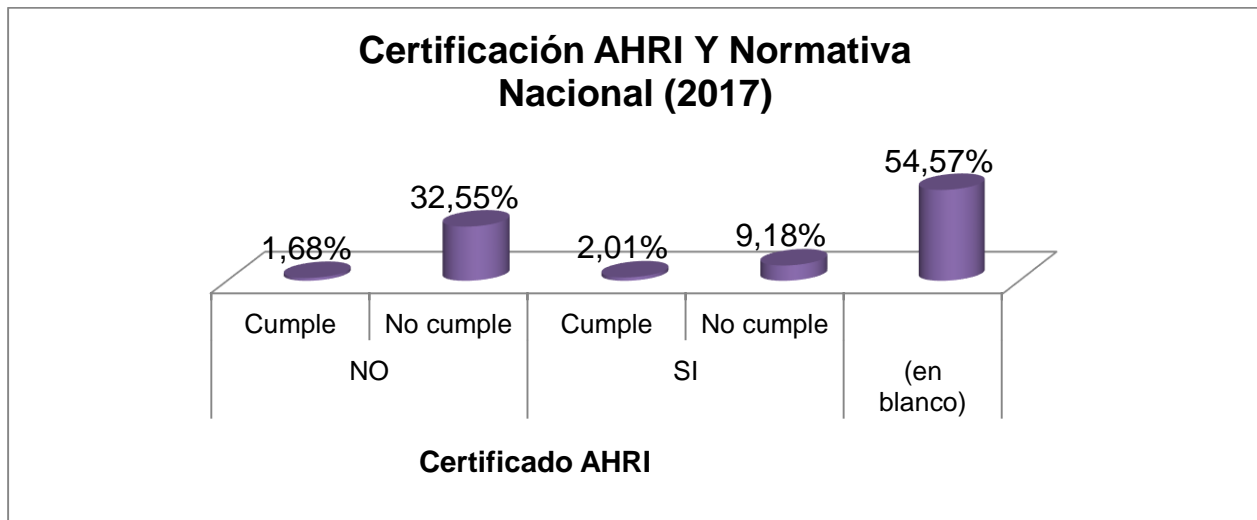


Gráfico 8: Porcentaje de equipos certificados AHRI y normativa nacional importados 2017

Fuente: Elaboración propia (base de datos de equipos de A/c de aduana)

Cumplimiento de la normativa nacional de eficiencia energética en equipos de aire acondicionado

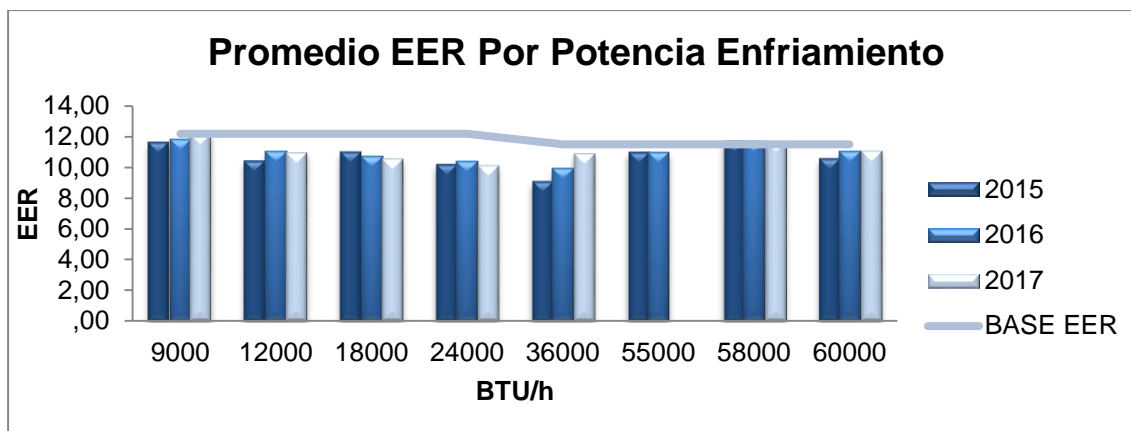
En promedio, la mayoría de los equipos importados a Costa Rica entre el 2015 y el 2017 no cumplieron con la normativa nacional vigente $\text{kW}_{\text{Térm}} < 10,5$ ($\text{BTU/h} < 36000$) = EER de 12,2 y sí $\text{kW}_{\text{Térm}} \geq 10,5$ ($\text{BTU/h} \geq 36000$) = EER de 11,5). Se debe recordar que esta métrica se adecúa a equipos cuyo compresor trabaja a toda carga (0 y 100%) y al utilizarla en equipos con compresores de velocidad variable *inverter* (21,47,74,100%) funciona, mas no es la más adecuada para evaluarlos ya que su naturaleza de funcionamiento es de carga parcial.

Como se puede percibir en la tabla 8, solo en el 2017 para $2,6\text{kW}_{\text{Térm}}$, (9000 BTU/h), en promedio, se cumplió con la normativa nacional; sin embargo, las capacidades expuestas como de mayor importación -según el gráfico 6- quedan por debajo, aproximadamente, 10% de la línea horizontal establecida como límite mínimo de eficiencia energética, establecido en la normativa nacional. Por otro lado, los equipos con capacidad de enfriamiento de $16,9\text{kW}_{\text{Térm}}$ (58000 BTU/h), en promedio, se mantuvieron por encima de lo estipulado en la normativa nacional. El gráfico 9 ilustra el comportamiento detallado en la tabla 8.

Tabla 8: Promedio de cumplimiento de la normativa nacional por capacidad de enfriamiento

kW Térmicos	(BTU/h)	2015 (EER)	2016 (EER)	2017 (EER)	Norma EER
2,6	(9000)	11,6	11,8	12,2	12,2
3,5	(12000)	10,4	11	11	12,2
5,2	(18000)	11	10,7	10,6	12,2
7	(24000)	10,2	10,4	10,1	12,2
10,5	(36000)	9,1	9,9	10,9	11,5
16,1	(55000)	11	11		11,5
16,9	(58000)	11,7	11,7	11,7	11,5
17,5	(60000)	10,6	11,1	11,1	11,5

Fuente: Fabricación propia a partir de la base de datos de aduana



Gráfica 9: Promedio EER por potencia de enfriamiento importados entre 2015-2017

Fuente: Elaboración propia (base de datos de equipos de A/c de aduana)

Toneladas de CO₂ generadas por equipos de A/C (2015-2017)

Los equipos de aire acondicionado, al igual que el resto de electrodomésticos, requieren energía eléctrica para funcionar, razón por la cual generan su propia huella de carbono por concepto de electricidad.

En la tabla 9 se estima el equivalente de toneladas de carbono emitidas por los equipos de aire acondicionado, que se obtuvo a partir de la conversión de los KWh demandados por los equipos de aire acondicionado importado por cada año del estudio, a toneladas de CO₂ con ayuda de la calculadora en línea de CO₂ del MINEA²⁵, en la cual 1KWh equivale a 0,0000842 toneladas de CO₂.

²⁵www.cambioclimaticocr.com/calculador-su-huella-de-carbono

Tabla 9: Estimación de toneladas de CO₂ generadas por consumo de electricidad

Periodo	Suma de toneladas CO ₂ EER REAL	Suma de toneladas CO ₂ SEER REAL
2015	3.949,74	7.556,30
2016	6.835,03	9.871,74
2017	9.188,44	6.400,05
Total	19.973,22	23.828,09

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de aduana

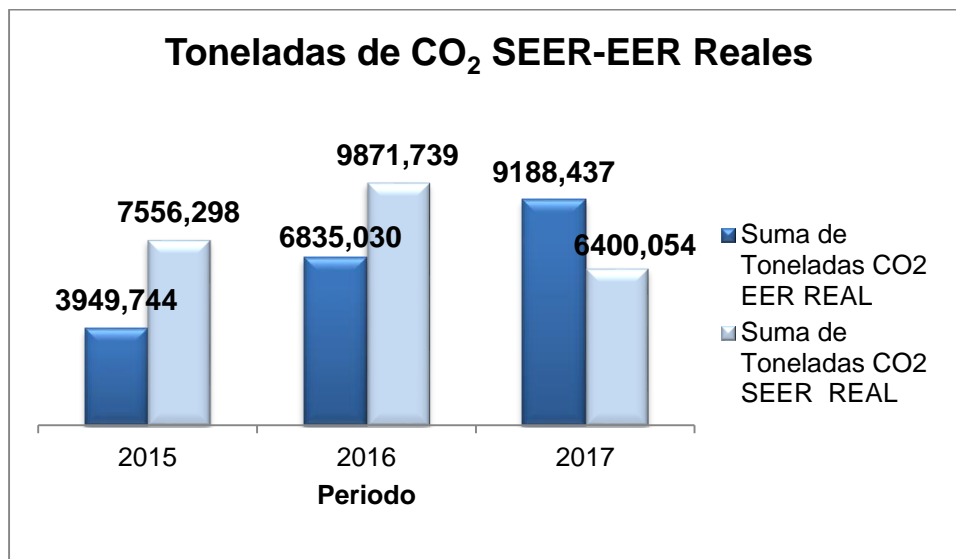


Gráfico 10: Estimación de toneladas CO₂ por consumo de electricidad de los equipos de aire acondicionado importados periodo 2015-2017

Fuente: Fabricación propia a partir de la base de datos de aduana

El gráfico 10 individualiza la cantidad de toneladas de CO₂ generada por año, así como por coeficiente de eficiencia energética, de las cuales se puede analizar que conforme avanza la importación de equipos más eficientes (SEER- 2017) disminuyó en 15% la generación de toneladas de CO₂, mientras que se triplicó para los equipos de velocidad fija EER, en el mismo período.

Comportamiento del mercado de equipos de aire acondicionado en Centroamérica²⁶

Importaciones por país

Durante los primeros nueve meses del año pasado el principal comprador de equipos de acondicionamiento de aire en Centroamérica fue Panamá, con \$52 millones, seguido de Costa Rica, con \$33 millones; Honduras con \$26 millones, Nicaragua con \$16 millones, Guatemala con \$15 millones y El Salvador con \$12 millones.

Variación de las importaciones regionales

Entre enero y septiembre de 2016 y en el mismo período del 2017 el valor importado registró una caída de 3%, de \$158 millones a \$153 millones. La reducción contrasta con las cifras de los años previos, ya que en el período enero-septiembre de los años 2013 a 2016 las importaciones crecieron a una tasa promedio de 10%.

Origen de las importaciones

Durante los primeros nueve meses del 2017 34% del valor importado desde Centroamérica provino de China, 35% de EE.UU., 2% de Malasia, 2% de México, y el 27% restante pertenece a países europeos y asiáticos con participación menor de 2%. China es el país de origen de las importaciones centroamericanas que más ha crecido en el período en análisis durante los últimos cinco años, puesto que en el 2012 representaba 23% del valor total comprado y en el 2017 subió a 34%.

Observación

Este análisis se realizó considerando máquinas y aparatos para acondicionamiento de aire

²⁶https://www.centralamericadata.com/es/article/home/Centroamerica_Mercado_de_equipos_de_aire_acondicionado.

adecuados para modificar temperaturas y humedades ajustables a paredes, ventanas, suelos o techos, vehículos, y las respectivas partes de los equipos.

Análisis para equipos de aire acondicionado de velocidad variable

Propuesta SEER límites mínimos de eficiencia energética

A pesar de que el país no cuenta con regulación alguna para equipos de velocidad variable, este tipo de equipos ingresaron al país y, como indica la tabla 10, su tasa de eficiencia energética estacional con certificación (dentro 9% para el 2017), en promedio ronda el SEER de entre 17 y 18, como se muestra en el gráfico 11 (a), el cual puede ser utilizado como referencia para definir los límites mínimos de eficiencia energética que se requieren para los equipos de velocidad variable (*inverter*).

Tabla 10: Promedio de SEER sin certificado AHRI

kW Térmicos	(BTU/h)	2015	2016	2017	Propuesta SEER
2,6	(9000)	12,2	14,8	0	18,5
3,5	(12000)	15,1	15,5	13,6	18,5
4,1	(14000)	15	15,9	16	18,5
5,2	(18000)	15	14,5	13,7	18,5
6,4	(22000)	16	16	9,6	18,5
7	(24000)	15	14,2	14,1	18,5
7,3	(25000)	15	15,8	16	18,5
8,8	(30000)	11	18	18	18,5
10,2	(34800)		16	16	18,5
10,5	(36000)	13	13,1	14,4	16
12,3	(42000)			13	16
13,2	(45000)			16	16
17,5	(60000)	14,4	13	13	16

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de aduana

Para estos mismos equipos de velocidad variable, pero sin certificación, se puede notar en el gráfico 11 (b) que el promedio de los equipos de mayor margen de importación es de entre SEER 13,5 y

16. Lo anterior resultó útil para plantear una propuesta que permita aumentar el ahorro en la generación de electricidad y producción de CO₂. Se planteó, como parámetro, que el aumento en eficiencia de la parte real, la parte propuesta para SEER, fuera proporcional a la diferencia que existía entre el promedio real de eficiencia y la normativa para EER. La línea horizontal superior propone, de acuerdo con estimaciones tomadas de los análisis anteriores, un SEER de 18,5 <math><10,5kW_{Term}</math>, a criterio de:

- 1- Equipos de mayor importación se encuentran en potencias de enfriamiento menores de $10,5kW_{Term}$.
- 2- Los equipos con certificación que ingresaron al país rondan entre SEER 17 y 18, pero los equipos sin certificación rondan un SEER de entre 9 y 16 para potencias de enfriamiento <math><10,5kW_{Term}</math>.
- 3- Equipos con menos índice de importación se encuentran en potencias de enfriamiento mayores de $10,5kW_{Term}$. Para potencias de enfriamiento $\geq 10,5kW_{Term}$ se propuso un SEER 16 a criterio
- 4- Los equipos con certificación que ingresaron al país rondan entre SEER 16 y 17, pero sin certificación rondan entre SEER 13 y 14 para potencias de enfriamiento $\geq 10,5kW_{Term}$.

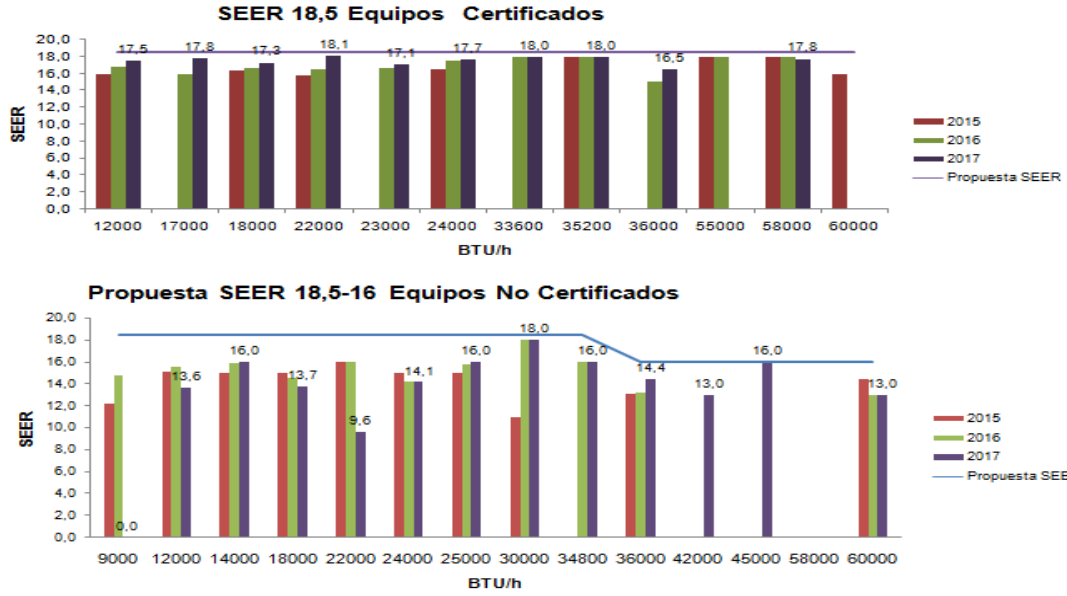


Gráfico 11: a-Promedio de SEER por potencia de enfriamiento, equipos certificados importados de entre 2015-2017, b- Promedio de SEER por potencia de enfriamiento, equipos sin certificados importados de entre 2015-2017

Fuente: Elaboración propia (base de datos de equipos de A/c de aduana)

Cámara psicrométrica

Muchas operaciones de equipo dependen en gran medida de las condiciones del entorno. Este hecho da paso a la necesidad de cámaras de prueba. Las cámaras de prueba permiten a los científicos e ingenieros probar tecnologías nuevas y existentes bajo condiciones de la vida real. Por ejemplo, una nueva tecnología de aire acondicionado no debería colocarse en cualquier aplicación sino hasta que haya sido probada en una cámara psicrométrica.

Numerosas cámaras de pruebas ambientales se han fabricado para probar diversos sistemas y componentes. Las cámaras de prueba se pueden comprar de todos los tamaños y difieren en sus variables de control. Estas variables incluyen temperatura, humedad, presión de aire, altitud,

exposición solar y precipitación. Las cámaras pueden diseñarse para mantener una constante condición. También pueden ser condiciones transitorias, o incluso cíclicas.

Una cámara, incluso, simula el cambio en la presión de aire de un objeto que cae libremente. La mayoría de estas condiciones y variaciones están más allá del alcance de los controles necesarios, en una caracterización de rendimiento de equipos de aire acondicionado. Para la prueba de equipos de aire acondicionado la temperatura, la humedad y la tasa de flujo de aire son las variables controladas necesarias.

Un aspecto único de una cámara psicrométrica que la diferencia de una cámara de prueba ambiental típica es que esta es capaz de mantener las condiciones aun cuando se añada carga térmica viva. La cámara psicrométrica debe responder al rechazo o absorción de calor de la unidad de prueba para mantener las condiciones deseadas, en otras palabras, simula el ambiente actuando como una fuente o disipador infinito de calor.

La cámara psicrométrica debe estar diseñada para configurar fácilmente en el interior métodos de prueba para diferentes equipos de aire acondicionado sin modificar los dispositivos de prueba en su interior.

Para desarrollar este apartado se usaron como referencia los requerimientos establecidos por el Instituto de aire acondicionado, calefacción y refrigeración (AHRI, por sus siglas en inglés) en su estándar 210/240.

Interconexiones

Para los equipos de tipo dividido que rechacen el calor, todas las pruebas descritas en la Norma se deben llevar a cabo con un mínimo de 7,6 m de tubería de interconexión entre cada componente interior ventilador serpentín y el equipo exterior común. Para el equipo en donde la tubería de

interconexión se suministre como parte integral de este se recomienda no cortar, sino que debe ser probado con la totalidad de la tubería suministrada o con 7,6 m de tubería, lo que resulte mayor. (El tamaño de línea, aislamiento y detalles de instalación deben estar de acuerdo con las instrucciones de instalación del fabricante).

Instrumentos para medición de temperaturas

Las mediciones de temperaturas se deben hacer con uno o más de los siguientes instrumentos de 0 a 50 °C:

- Termómetros de vidrio con columna de mercurio (10).
- Termopares. 100Ω- 4 líneas, platino, RTD (mínimo 32 por equipo)
- Termómetros de resistencia eléctrica (20, 2 x cada pares del cuarto).

La diferencia de temperatura entre el aire de entrada y el aire de salida se medirá con una termopila.

La termopila se construirá con un cable de termopar de calibre 24 con 16 uniones en cada extremo (uno por cuarto por cada equipo en prueba).

El instrumento de medición de temperatura del aire debe tener una exactitud de $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ y de $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ para todas las demás temperaturas.

Todas las mediciones de la temperatura del aire se deben tomar antes de las derivaciones para la medición de la presión estática, para el lado de entrada del aire y después de las derivaciones para la medición de la presión estática, para el lado de descarga del aire.

En cuanto a los estándares de prueba para sistemas de aire acondicionado, se obtiene el punto de partida para la especificación del rango de temperatura; por tanto es necesaria una cámara que maneje un rango de temperatura de bulbo seco / bulbo húmedo, según lo especificado en la tabla 11.

Tabla 11: Temperaturas de bulbo seco/húmedo necesarias para pruebas de eficiencia energética

Descripción de la prueba	Temperaturas del aire entrando a la unidad en el cuarto interno		Temperaturas del aire entrando a la unidad en el cuarto externo		Velocidad del compresor	Rango de volumen del aire de enfriamiento
	Bulbo seco °C	Bulbo húmedo °C	Bulbo seco °C	Bulbo húmedo °C		
A2 Prueba-requerida (estable-serpentin húmedo)	26.7	19.4	35	23.9(1)	Máxima	Enfriamiento al Máximo(2)
B2 Prueba-requerida (estable-serpentin húmedo)	26.7	19.4	27.8	18.3(1)	Máxima	Enfriamiento al Máximo(2)
Ev Prueba-requerida (estable-serpentin húmedo)	26.7	19.4	30.6	20.6(1)	Intermedia	Enfriamiento Intermedio(3)
B1 Prueba-requerida (estable-serpentin húmedo)	26.7	19.4	27.8	18.3(1)	Mínima	Enfriamiento Mínimo(4)
F1 Prueba-requerida (estable-serpentin húmedo)	26.7	19.4	19.4	11.9(1)	Mínima	Enfriamiento Mínimo(4)
G1 Prueba-opcional (estable-serpentin seco)(5)	26.7	(6)	19.4	*****	Mínima	Enfriamiento Mínimo(4)
I1 Prueba-opcional (cíclica-serpentin seco)(5)	26.7	(6)	19.4	*****	Mínima	(6)

Notas:

(1) La condición de prueba se aplica únicamente si la unidad rechaza condensado al serpentín exterior

(2) Intervalo de volumen del aire de enfriamiento al máximo definido en marco teórico

(3) Intervalo de volumen del aire de enfriamiento intermedio definido en marco teórico

(4) Intervalo de volumen del aire de enfriamiento al mínimo definido en marco teórico

(5) El aire entrando debe tener bajo contenido de humedad de manera que no forme condensado en el serpentín evaporador

(6) Mantenga el flujo de aire y la diferencia de presión estática a través de los toberas durante el periodo de encendido igual que los medidos durante la prueba

Fuente: Estándar AHRI 210/240

Psicrómetro

El psicrómetro consiste en una sección de flujo y un ventilador para extraer aire a través de la sección de flujo y mide un valor promedio de la corriente de aire muestreada. Como mínimo, la sección de flujo debe tener un medio para medir la temperatura del bulbo seco (por lo general un dispositivo de temperatura de resistencia (RTD) y un medio para medir la humedad (RTD con el

elemento termorresistivo inmerso en agua, conocido como higrómetro de espejo frío o sensor de humedad relativa). En la mayoría de las aplicaciones, hay típicamente dos conjuntos de medidas para la temperatura y la humedad, uno para el control de cuarto áspero y el otro para el control fino y la medición real. El psicrómetro aspirante incluirá un ventilador que se puede ajustar manual o automáticamente para mantener la velocidad requerida a través de los sensores. Una configuración típica para la aspiración del psicrómetro se muestra en la figura 7 de acuerdo con el estándar AHRI 210/240.

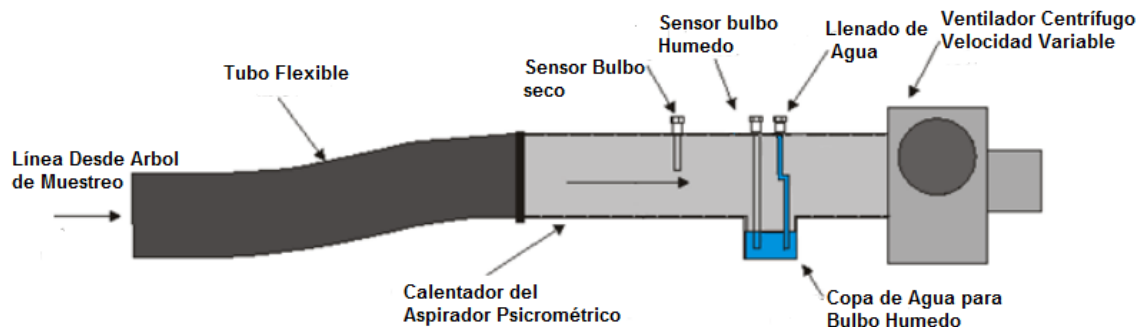


Figura 7: Psicrómetro

Fuente: Estándar AHRI 210/240

El tanque de humedad de bulbo húmedo y seco (WDT-DW) por lo general está conectado a un indicador/transmisor de humedad y temperatura (siglas en ingles IN-HWD) (o similares), con dos salidas 4~20mA que representa 0~100% RH y 0~100°C.

El psicrómetro estará hecho de un material adecuado que puede ser plástico (como policarbonato), aluminio u otros materiales metálicos. Los diámetros exteriores suelen ser de 4 pulgadas, pero pueden ser tan pequeños como 5,08cm (dos pulgadas) o tan grandes como 15,24cm (6 pulgadas). Todos los psicrómetros para un sistema dado que se prueba se construirán con el mismo material.

Los psicrómetros se diseñarán de tal forma que el calor radiante del motor no afecte las mediciones del sensor. Para los psicrómetros aspirantes la velocidad a través del sensor de bulbo húmedo debe ser de $5,08 \pm 1,016$ m/s (1000 ± 200 pies / min). Para todos los demás psicrómetros la velocidad será la especificada por el fabricante del sensor.

Árbol de muestreo de aire

Descripción:

- La densidad mínima de agujeros es de 6 agujeros por cada 0,093 metros cuadrados (6 por cada pie cuadrado) del área por medir.
- Paso del tubo de derivación del árbol de muestreo (espaciamiento) de $15,24 \text{ cm} \pm 7,52 \text{ cm}$ (6 ± 3 in).
- Proporción mínima de 3: 1 entre el diámetro tronco y el diámetro ramal.
- Relación máxima de diámetro de orificio a ramificación individual de 1: 2 (se prefiere 1: 3)

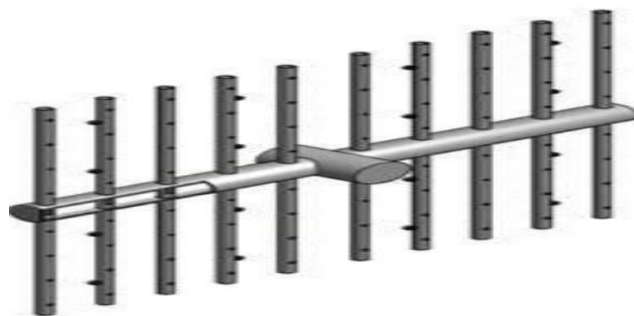


Figura 8: Árbol de muestreo de aire

Fuente: Estándar AHRI 210/240

La figura 8 muestra un árbol de muestreo de aire en el cual la velocidad promedio mínima a través de los orificios será de 7,62 metros por segundo (2.5 pies / s), según lo determinado al evaluar la suma del área abierta de los agujeros, en comparación con el área de flujo de aire en el psicrómetro aspirante, preferencialmente.

El árbol de muestreo debe estar fuertemente conectado al psicrómetro aspirante, pero si las limitaciones de espacio no lo permiten el ensamble debe tener un medio para permitir que un tubo flexible conecte el árbol de muestreo de aire al psicrómetro de aspiración.

El árbol de muestreo de aire también deberá estar equipado con una termopila de termopar, una rejilla de termopar o unos termopares para medir la temperatura promedio del flujo de aire sobre el árbol de muestreo de aire. De acuerdo con ANSI / ASHRAE, estándar 116, la disposición del termopar por árbol de muestreo de aire debe tener al menos 16 puntos de medición espaciados uniformemente a través del árbol de muestreo de aire. En la entrada de aire libre al intercambiador de prueba los árboles de muestreo de aire se colocarán entre 6-24 termopares por unidad para minimizar el riesgo de daños, mientras se asegura que los tubos de muestreo de aire midan el aire al entrar en la unidad en lugar de en el aire ambiente alrededor de la unidad. Cualquier agujero de muestra afuera del plano perpendicular a la descarga del ventilador del condensador se debe bloquear para evitar la toma de muestras de aire recirculado. El bloqueo de orificios no necesariamente prohíbe la transferencia térmica en los muestreadores; por lo tanto, la parte más allá del plano deberá estar térmicamente blindada con un material con un coeficiente de transferencia de calor R entre 19,5 y 29,29 $\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Kcal}$ (4 y 6 $\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^{\circ}\text{F}/\text{Btu}$). Los árboles de muestreo de aire en la ubicación de la entrada de aire exterior deberán tener un tamaño tal que cubran al menos 75% del área de la cara del lado de la bobina que están midiendo. El árbol de muestras de aire puede ser más grande que el área de la cara del lado medido; sin embargo, se debe

tener cuidado para evitar que se muestre el aire de descarga si se extiende más allá del área de entrada de la unidad. Los orificios deben estar bloqueados en el árbol de muestras de aire para evitar el muestreo de la descarga. Cada lado del intercambiador exterior (condensador) debe tener un árbol de muestras de aire.

Instrumentos para mediciones de presión

Las mediciones de presión deben ser hechas con uno o más de los siguientes instrumentos:

Manómetros de tubo Bourdón.

Transductores electrónicos de presión (12c/u).

La exactitud de los instrumentos de medición debe permitir desviaciones dentro del $\pm 2\%$ del valor indicado. La división más pequeña de los instrumentos de medición de presión no debe exceder, en ningún caso, 2,5 veces la exactitud especificada.

Los manómetros de tubo Bourdon y los transductores electrónicos de presión deben estar calibrados con respecto a un probador de peso muerto o por comparación con una columna de líquido.

Instrumentos para mediciones de presión estática y flujo de aire

La presión estática a través de las toberas y las presiones de velocidad en las gargantas de las toberas deben ser medidas con manómetros que hayan sido calibrados contra un manómetro "patrón" dentro del $\pm 1,0\%$ del valor de la lectura. La división más pequeña de la escala del manómetro no debe exceder de 2% del valor de la lectura. La presión estática del ducto debe ser medida con manómetros que tengan una exactitud de $\pm 2,5$ Pa.

Las áreas de las toberas deben ser determinadas por la medición de sus diámetros en cuatro lugares alrededor de la tobera, apartados aproximadamente 45°, con una exactitud de $\pm 0,2\%$, y en cada uno de los dos planos a través de la garganta de la tobera, uno en el exterior y el otro en la sección recta cercana al radio.

Instrumentos eléctricos

Las mediciones eléctricas deben hacerse con instrumentos de indicación o de integración. Los instrumentos utilizados para la medición de la entrada de energía o potencia eléctrica para calentadores u otros aparatos que suministren cargas de calor deben tener una exactitud de $\pm 1,0\%$ de la cifra medida. Los instrumentos utilizados para la medición de la entrada de energía o potencia eléctrica a los motores de ventilador, de compresor u otro equipo accesorio, deben tener una exactitud de $\pm 2,0\%$ del valor indicado. Los parámetros eléctricos deben medirse en las terminales de conexión de los equipos de prueba. El sistema de medición de potencias debe ser preciso dentro de $\pm 0.5\%$ o 0.5 W/h , el que sea mayor, para ambos ciclos de ENCENDIDO y APAGADO a una frecuencia de 60 Hz.

Mediciones de presión del refrigerante

Las presiones del refrigerante deben medirse con manómetros (de alta y baja presión), con una exactitud de $\pm 1,0\%$ (Al menos cuatro por cada cuarto).

Mediciones del flujo de líquido

La razón de recolección de condensado debe ser medida con un medidor de cantidad de líquido, midiendo el peso o el volumen y teniendo una exactitud de $\pm 1,0\%$ del valor indicado. (Al menos 4).

Instrumentos de medición de velocidad

Las mediciones de velocidad de los ventiladores deben hacerse con un contador de revoluciones, un tacómetro, un estroboscopio o un osciloscopio, con una exactitud de $\pm 1,0\%$. (Al menos 4).

Mediciones de tiempo y determinación de la masa (2)

Las mediciones de tiempo deben hacerse con instrumentos que cuenten con una exactitud de $\pm 0,2\%$ del valor indicado (1).

Los aparatos para la determinación de la masa deben tener una exactitud de $\pm 0,2\%$ del valor indicado.

Dispositivo de toberas empleado para la medición de flujo de aire

Como se muestra en la figura 9, este aparato consiste básicamente en una cámara receptora y una cámara de descarga separadas por una pared en donde se localizan una o más toberas. El aire del equipo bajo prueba es transportado a través de ductos a la cámara de recepción que pasan a través de la o las toberas, y es expulsado al cuarto de pruebas o canalizado de nuevo a la entrada del equipo.

El aparato de tobera y sus conexiones al equipo de entrada deben ser sellados para que las fugas de aire no excedan de $1,0\%$ la medición de la razón del flujo de aire.

La distancia entre los centros de las toberas que son utilizadas no debe ser menor de tres veces el diámetro de la garganta de la tobera más grande, y la distancia del centro de cualquier tobera a la descarga más cercana al lado de la pared de la cámara receptora no debe ser menor que 1,5 veces el diámetro de su garganta.

Los difusores deben instalarse en la cámara de recepción por lo menos a 1,5 veces de la distancia del diámetro mayor de la garganta de la tobera, hacia arriba de la pared de división y en la cámara de descarga al menos a 2,5 veces de esta distancia hacia abajo de la misma pared.

-Se debe instalar un ventilador de extracción capaz de suministrar la presión estática adecuada a la salida del equipo, en una pared de la cámara de descarga, y deben colocarse los elementos necesarios para suministrar la capacidad variable del ventilador.

Debe medirse la caída de presión estática a través de la o de las toberas con uno o más manómetros que tengan una exactitud de $\pm 1,0\%$ de la lectura. Una terminal del manómetro se conecta a la derivación para la medición de la presión estática, localizada a nivel de la pared interior de la cámara de recepción, y la otra terminal debe ser conectada a la derivación para medición de presión estática, localizada a nivel de la pared interior de la cámara de descarga; o, preferiblemente, las diferentes derivaciones de medición de cada cámara deben conectarse a manómetros conectados en paralelo o conectados a un solo manómetro. Alternativamente, la presión de la velocidad del flujo de aire a la salida de la o las toberas debe ser medida con un tubo de Pitot, como se muestra en la figura 9, pero cuando se esté usando más de una tobera las lecturas del tubo de Pitot deben ser determinadas para cada tobera.

-Deben emplearse los elementos necesarios para determinar la densidad del aire en la garganta de las toberas.

Toberas

La velocidad en la garganta de cualquier tobera no debe ser menor de 15,2 m/s y no debe ser mayor de 35,6 m/s.

Aislante de ductos

En las conexiones del conducto de entrada y salida del intercambiador interior de prueba (evaporador), aislar o construir, o ambas, la cámara para medición de presión estática y la cámara del impulsor de entrada con aislamiento térmico que proporcione una resistencia térmica nominal (valor R) de al menos $122.06 \text{ h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{°C} / \text{Kcal}$ ($25 \text{ h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{°F} / \text{Btu}$).

Todo el aparato de prueba no debe tener una tasa de fuga que exceda $0.01 \text{ m}^3 / \text{s}$ (20 cfm) cuando se mantenga una presión negativa de 0.25 kPa ($1.0 \text{ in H}_2\text{O}$) en la ubicación del aire de descarga del aparato.

La tasa de volumen de aire movido por el ventilador centrífugo de descarga de la figura 9 se obtiene al dividir por la capacidad total de enfriamiento del lado del aire interior, y esta no debe exceder $1,05 \text{ m}^3/\text{min}$ por $0.06 \text{ m}^3 / \text{s}$ por cada $1,000 \text{ W}$ (37.5 scfm por cada $1.000 \text{ Btu} / \text{h}$)

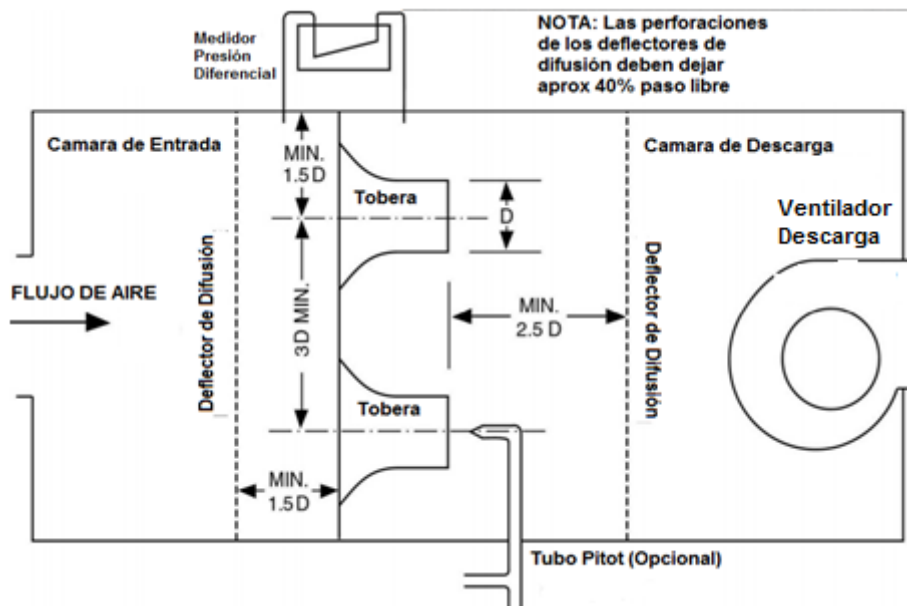


Figura 9: Dispositivo para medición de flujo de aire

Fuente: AHRI estándar 210/240

Mediciones de presión estática

Los equipos deben probarse a una presión de 0 Pa. En equipos con ventilador y una sola salida la presión estática externa debe medirse con un manómetro. Un lado del manómetro debe conectarse a las cuatro derivaciones de medición de presión externamente conectadas en la descarga del dispositivo de igualación de presión. Estas derivaciones deben conectarse en cada cara del dispositivo a una distancia de dos veces el diámetro seccional principal de la salida del equipo. Si se utiliza una conexión de ducto interior el otro lado del manómetro debe ser conectado a las cuatro derivaciones de presión comunicadas entre sí, centradas en cada cara del ducto interior; en caso contrario, el otro lado del manómetro debe ser abierto al ambiente circundante. La conexión del ducto interior debe tener un área de sección transversal igual a aquella del equipo.

La caída de presión estática del aire debe medirse por un manómetro, como se muestra en la figura 10. Un lado del manómetro debe conectarse externamente a cuatro derivaciones de medición de presión externamente comunicados en el ducto de salida. Estas son centradas en cada cara del ducto, localizadas a una distancia del serpentín. (Ver la figura 10).

El otro lado del manómetro debe conectarse externamente a cuatro derivaciones de medición de presión, centrada en cada cara del ducto de entrada, localizadas a una distancia del serpentín, como se muestra en la figura 10.

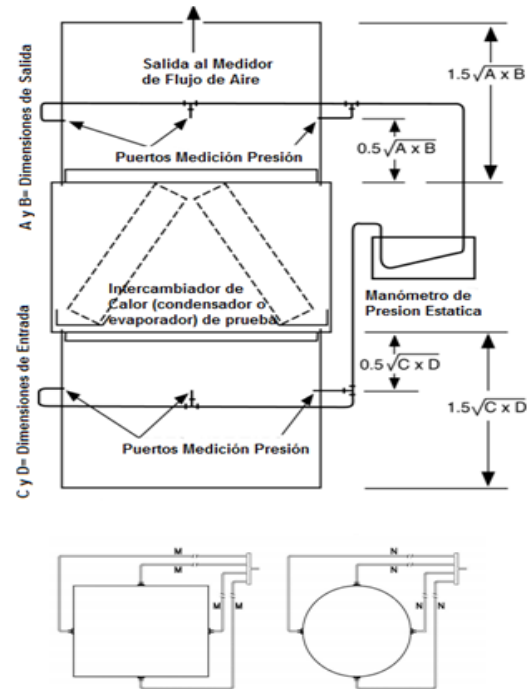


Figura 10: Medición de caída de presión estática del aire para una sección de serpentín sin ventiladores

Fuente: AHRI estándar 210/240

Se recomienda que las derivaciones para medición de presión estática consistan en uniones soldadas a la superficie exterior del dispositivo de igualación de presión, con un diámetro de 6,3 mm, centradas a través del dispositivo con un diámetro de orificio de 1 mm. Las orillas de estos orificios deben estar libres de rebabas y otras superficies irregulares.

Lazo psicrométrico

Conocido también como acondicionador del aire del cuarto psicrométrico, utiliza tres componentes para cambiar las propiedades del aire de la cámara de ensayos: intercambiadores de enfriamiento, calentador de resistencia eléctrica y un humidificador de vapor. Los intercambiadores de enfriamiento proporcionan enfriamiento sensible hasta la curva de saturación y el enfriamiento latente más allá de la curva de saturación. El calentamiento de las resistencias eléctricas

proporciona calor sensible. El lazo psicrométrico podría, técnicamente, alcanzar las condiciones requeridas para realizar las pruebas, usando solo intercambiadores de enfriamiento y el calentador; sin embargo, condensado y recogido en los intercambiadores sale del sistema de la cámara y es necesario reponerlo, ya que un efecto de secado general está fuera de las condiciones necesarias para realizar las pruebas. Debido al detalle anterior se requiere un generador de vapor que proporcione calentamiento latente y humidificación para restaurar el agua del sistema. La figura 11 demuestra el proceso del lazo psicrométrico en ambos cuartos de la cámara, indispensables para mantener las condiciones requeridas para la prueba.

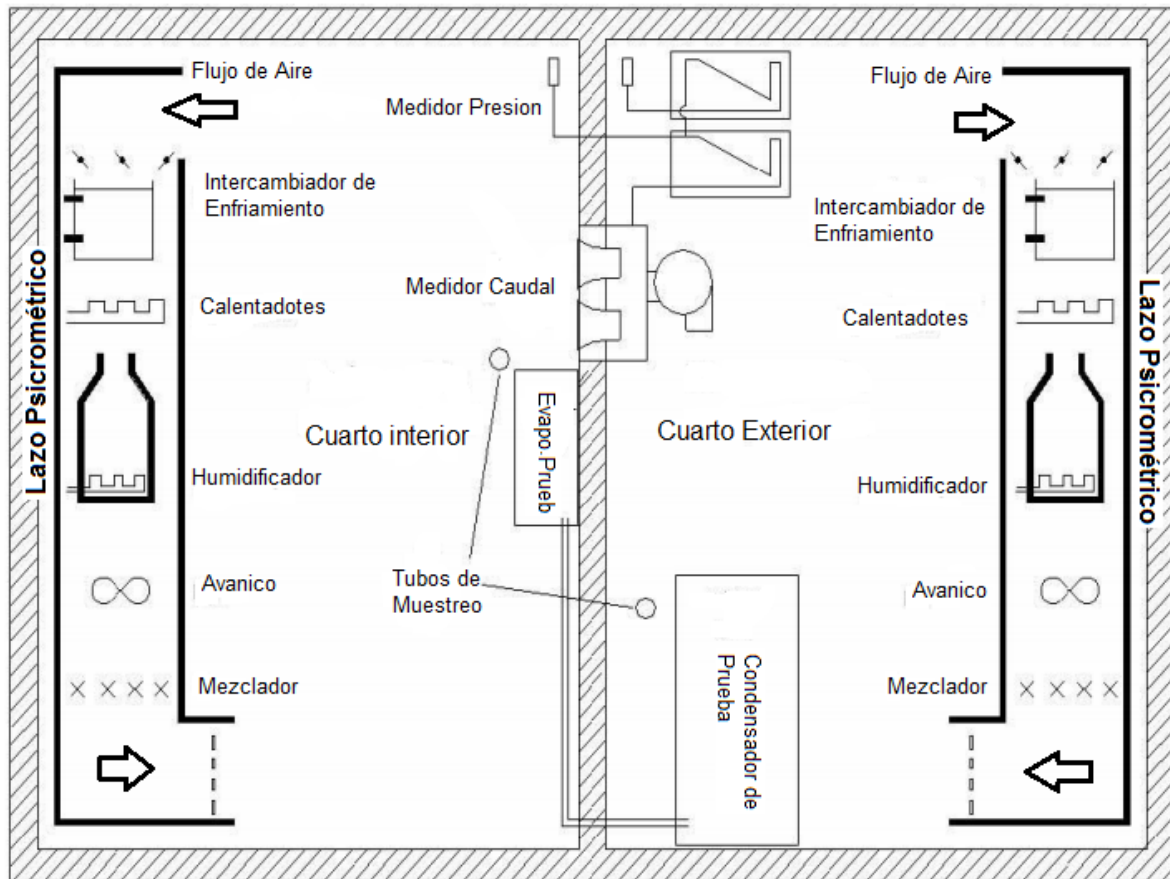


Figura 11: Cámara psicrométrica con sus respectivos lazos de acondicionamiento

Fuente: AHRI estándar 1230/210

En la salida del lazo psicrométrico requiere un mínimo de nueve sensores de temperatura individuales. Ahí la temperatura no deberá exceder de una diferencia de 17°C (1.5 °F) durante el ciclo de trabajo. Los mezcladores o pantallas perforadas, o ambos, se usarán para cumplir con este requisito. El mezclador de aire y una malla perforada de área abierta máxima de 40% se ubicarán en la parte de salida de aire del aparato aguas arriba del lazo psicrométrico.

El mezclador, según como se describe en el estándar ANSI / ASHRAE 41.1, debe alcanzar una propagación de temperatura máxima de 0.8 ° C (1.5 ° F) a través del dispositivo. No es necesario colocar un mezclador a la entrada de aire del lazo psicrométrico.

El sistema para controlar el movimiento, la velocidad y la uniformidad del aire a granel del lazo psicrométrico debe cumplir con lo especificado por ASHRAE Estándar 16-2012 (ASHRAE 2012), donde se establece que la circulación dentro de la sala de prueba debe ser al menos el doble de la circulación del ventilador del evaporador, y lo suficientemente grande como para crear al menos una renovación de aire ambiental por minuto.

De acuerdo con lo anterior, la capacidad de flujo de aire del lazo psicrométrico debe ser variable, con una capacidad de flujo máximo de 6796 m³/h (4000 cfm), ya que para un equipo de 17,5kW_{Term} (60000BTU/h) el ventilador del evaporador maneja aproximadamente 3.398 m³/h (2000 cfm). Los calefactores y el sistema de humidificación deben ser capaces de cumplir con las demandas de flujo de aire antes citadas.

Impacto económico-ambiental a partir de la propuesta Nuevos límites de eficiencia en equipos de aire acondicionado

En una entrevista que se sostuvo con personal del laboratorio de eficiencia energética del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), ubicado en Pavas, San José, el director de este laboratorio, el Ing. Virgilio Jiménez, comentó que cuando el ICE solicita préstamos a entidades financieras internacionales -como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID)- este último establece como requisitos para el préstamo que se debe invertir un porcentaje en energía renovables y eficiencia energética.

Con este presupuesto se pretende desarrollar la cámara psicrométrica para la evaluación de los equipos. Por tanto, este estudio no contempla un análisis financiero común con tasa interna de retorno, sino más bien un análisis económico en el cual se vean reflejados los beneficios (económicos y ambientales) de crear políticas públicas orientadas a la eficiencia energética.

Este apartado está dividido en dos escenarios temporales. El primero toma en cuenta los beneficios que tendría el país si hubiese cumplido con la normativa vigente y si hubiese tenido definido el límite mínimo de eficiencia energética para los equipos de SEER.

El segundo escenario plantea una posible realidad a futuro basada en proyecciones calculadas a partir del comportamiento de los datos del periodo de estudio, manteniendo las condiciones actuales y al implementar los límites de eficiencia energética planteados.

Análisis de ahorros de energía eléctrica (primer escenario)

El análisis de ahorro energético se tomó en cuenta tanto en el escenario real como en un escenario tomando en cuenta como propuesta planteada en el apartado anterior, tal y como se expone en la tabla 12. Para realizar el cálculo se tomó en cuenta el consumo anual por equipo, en que se dividió

la potencia en BTU/h entre el valor de SEER. Además, se tomaron como referencia 10 horas²⁷ por día, 22 días a la semana y 12 meses al año.

La estimación de ahorro en energía total ahorrada en el periodo en estudio pudo ser de 48,3GW/h, aproximadamente 23% menos solo en los equipos de velocidad variable.

Tabla 12: Porcentaje de ahorro en kWh SEER.

kW Térmicos	(BTU/h)	Suma de kWh SEER (total)	Suma de kWh SEER PROP (Total)	Ahorro
3,5	12000	65.655.833,74	50.701.464,28	31%
3,8	13000	31.746.000,00	21.964.800,00	20%
5,2	18000	38.074.993,96	29.290.037,57	18%
7	24000	37.369.439,91	28.628.402,21	18%
10,5	36000	9.792.760,62	7.867.860,00	4%
14	48000	3.583.069,89	3.125.885,71	1%
17,5	60000	19.794.075,17	16.307.500,00	7%
Total		206.016.173,29	157.885.949,77	23%

Fuente: Fabricación Propia a partir de la base de datos de aduana

El gráfico 12 debe interpretarse como el escenario real (barras) y como un escenario en el que se contabilizó el trasladar los valores SEER inferiores (línea) a los valores propuestos, y si este valor de SEER es superior a los valores propuestos se mantenía en valor real.

Como se puede apreciar en el gráfico 12, de los equipos de mayor importación que pudieron haber presentado mayor porcentaje de ahorro eran los de 3,5 kW (12000 BTU/h) de capacidad de enfriamiento, ya que la diferencia entre el consumo real y el consumo con la propuesta de SEER pudo haber sido de 14,9GWh de ahorro, lo que representa 31%.

²⁷ Consultado 16/4/18 en <http://www.climaideal.com/mantenimiento>

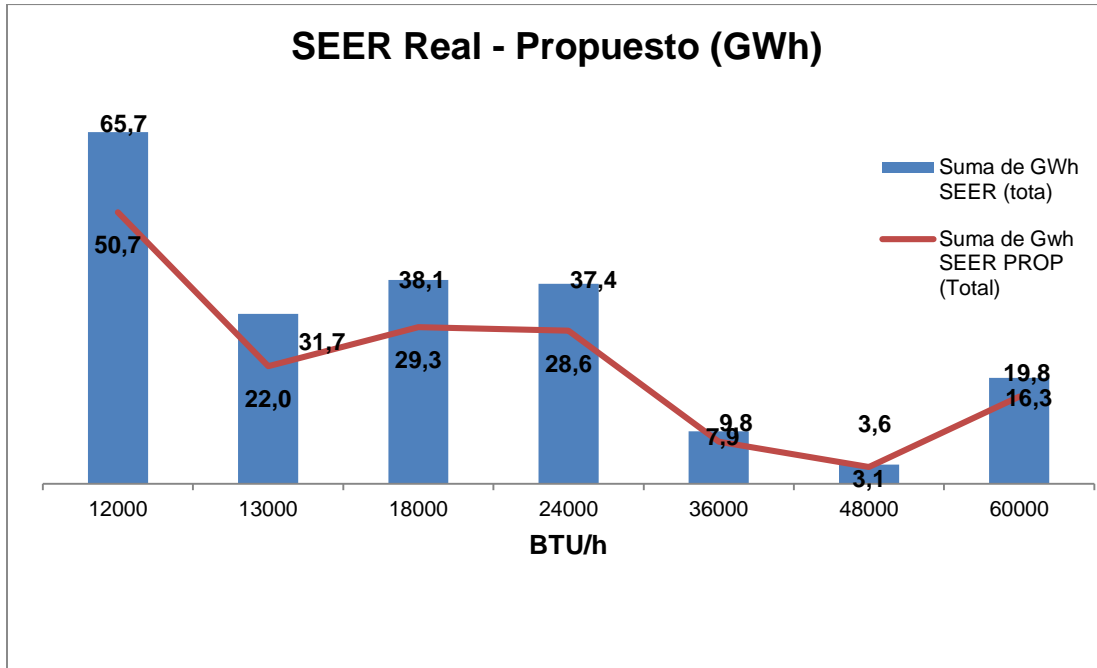


Gráfico 12: Consumo GWh SEER Real frente a consumo GWh SEER

Fuente: Elaboración propia (base de datos de equipos de A/c de Aduana)

Para comparar el escenario real en función de la normativa vigente de eficiencia energética para equipos de aire acondicionado se elaboró la tabla 13, en la cual, para realizar el cálculo del consumo anual por equipo, se dividió la potencia en BTU/h entre el valor de EER. Además, se contempló que los equipos, en promedio, trabajan un aproximado de 10 horas por día, 22 días a la semana y 12 meses al año. La diferencia entre los dos escenarios traducida en ahorro en consumo de electricidad habría significado 36,4 GWh en el periodo en estudio, aproximadamente 16% menos si se compara lo real con lo estipulado en la normativa de eficiencia energética de estos equipos.

Tabla 13: Porcentaje de ahorro kWh EER

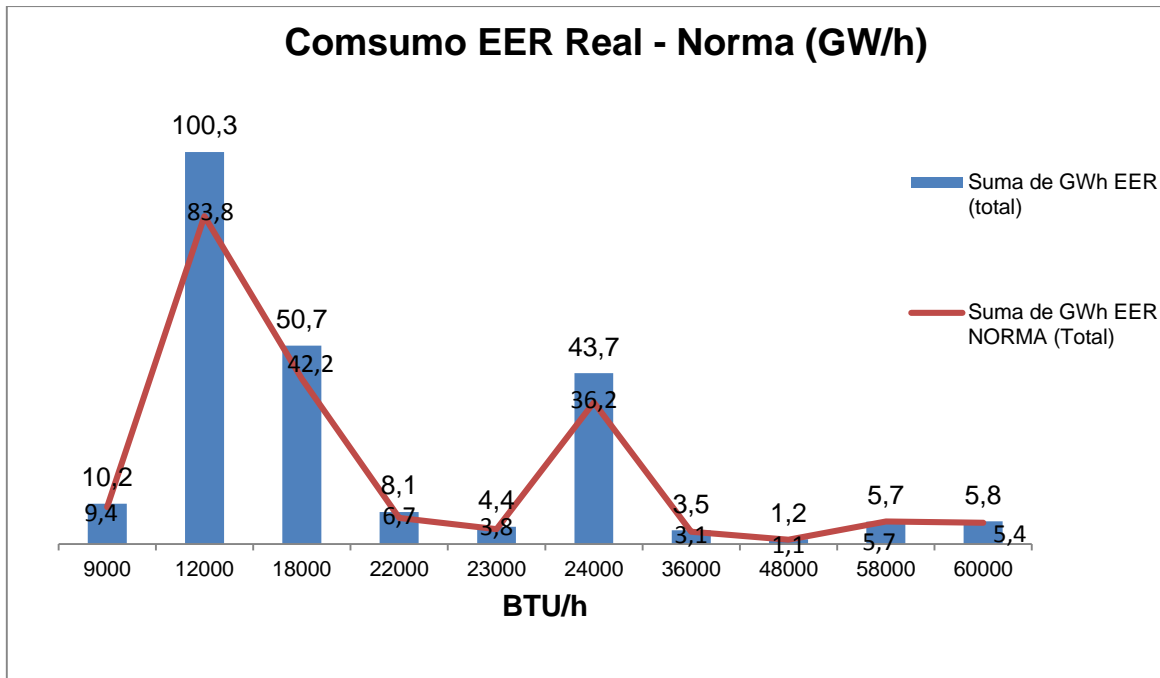
kW Térmicos	(BTU/h)	Suma de kWh EER (total)	Suma de kWh EER NORMA (Total)	Ahorro
2,6	9000	10.248.108,36	9.407.058,94	2%
3,5	12000	100.286.811,24	83.830.573,81	45%
5,2	18000	50.707.243,42	42.165.477,77	23%
6,5	22000	8.143.175,44	6.669.123,51	4%
6,7	23000	4.365.789,72	3.791.405,46	2%
7	24000	43.710.083,37	36.169.857,80	21%
10,5	36000	3.500.530,44	3.080.714,67	1%
14	48000	1.180.069,93	1.063.512,16	0,3%
16,9	58000	5.719.097,44	5.719.097,44	0%
17,5	60000	5.780.235,57	5.385.600,00	1%
Total		233.641.144,92	197.282.421,56	16%

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de aduana

Para la interpretación del gráfico 13 en las columnas se evidencian la situación real que presentó el país y la línea que pudo haber presentado si todos los equipos importados hubiesen cumplido con la normativa nacional en el periodo de estudio (2015-2017).

En el gráfico 13 se evidencia la diferencia que habría presentado al país en cuanto a generación eléctrica si se hubiera cumplido totalmente con la normativa, como en el caso de los 3,5kW (12000 BTU/h) que, como se dijo anteriormente, fue la potencia de enfriamiento de mayor importación en el periodo analizado. Hubiese presentado una diferencia de 16,5 GWh menos en la generación de energía eléctrica para el país.

En general, si la totalidad de los equipos importados al país en el periodo de estudio hubiesen cumplido con la normativa nacional de eficiencia energética para equipos de aire acondicionado, el país hubiera tenido que generar 36,4 GWh menos de energía en el periodo estudiado.



Grafica 13: Consumo GWh EER Real vrs consumo GWh sí todos los equipos cumplieran con la norma nacional para EER

Fuente: Fabricación propia (base de datos de equipos de A/c de Aduana)

Análisis de impacto económico (primer escenario)

Al traducir la demanda anterior de energía a dinero se tomó como referencia el costo promedio de generación hidroeléctrica, que para el 2016 representó 77% del total de generación eléctrica del país en kWh²⁸, según datos de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (Aresep). (Ver el anexo A.4)

El monto en dólares de lo que se pudo haber generado y de lo que se estima se generó se presenta en la tabla 14 para el caso del SEER y en la tabla 15 para el caso del EER.

²⁸https://aresep.go.cr/images/Brochure_informativo_del_Mercado_Electrico_Regional__Diciembre_2016.pdf

Tabla 14: Monto en dólares por kWh SEER

kW Térmicos	(BTU/h)	Suma de Costo kWh SEER REAL ANUAL	Suma de Costo kWh SEER PROPUESTA ANUAL
2,6	9000	161.463,62	118.004,73
3,5	12000	8.069.101,97	6.231.209,96
3,7	12500	49.569,67	48.229,95
5,2	18000	4.679.416,76	3.599.745,62
6,4	22000	737.447,56	666.982,08
7,0	24000	4.592.704,16	3.518.430,63
10,5	36000	1.203.530,28	966.959,99
14,0	48000	440.359,29	384.171,35
16,1	55000	87.242,61	87.242,61
17,0	58000	446.938,14	446.938,14
17,5	60000	2.432.691,84	2.004.191,75
Total general		\$22.900.465,90	\$18.072.106,81

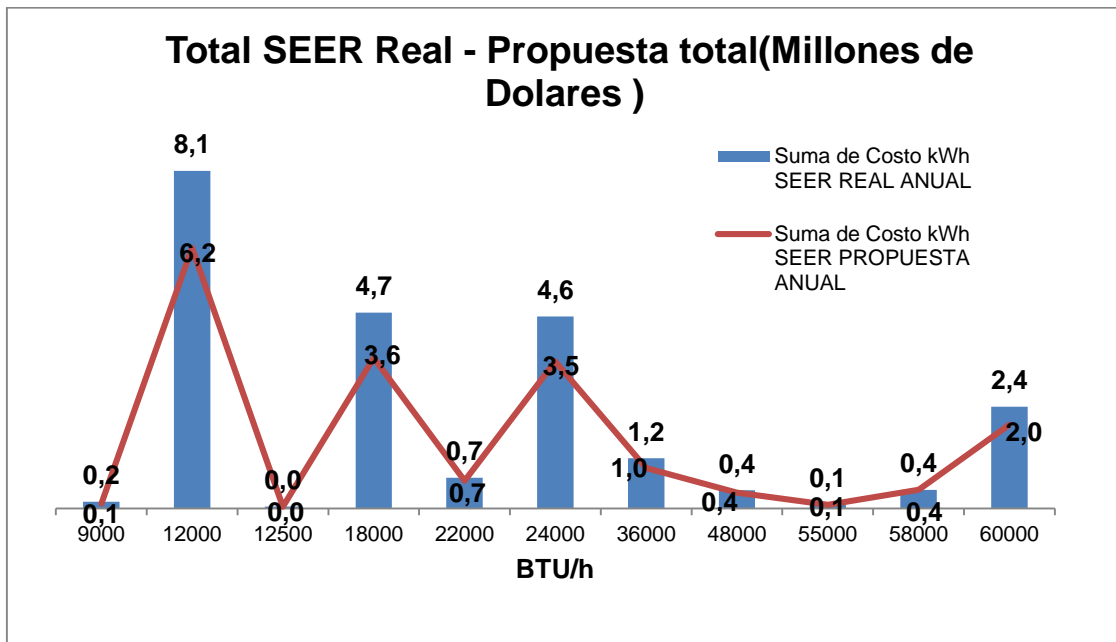
Fuente: Elaboración Propia a partir de la base de datos de aduana

Tabla 15: Monto en dólares por kWh EER

kW Térmicos	(BTU/h)	Suma de costo kWh EER REAL ANUAL	Suma de costo kWh EER NORMA ANUAL
2,6	9000	1.259.492,52	1.156.127,54
3,5	12000	12.325.249,10	10.302.777,52
4,9	17000	251.985,29	213.920,89
5,2	18000	6.231.920,22	5.182.137,22
6,5	22000	1.000.796,26	819.635,28
6,7	23000	536.555,56	465.963,73
7	24000	5.371.969,25	4.445.275,52
10,3	35200	173.185,04	173.185,04
10,4	35600	13.254,83	13.254,83
10,5	36000	430.215,19	378.619,83
14	48000	145.030,59	130.705,64
17	58000	702.877,07	702.877,07
17,5	60000	710.390,95	661.890,24
Total general		29.152.921,86	24.646.370,37

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de aduana

Al multiplicar la demanda de energía mencionada anteriormente por los \$0,1229²⁹, por cada kWh fue posible examinar el costo por potencia de enfriamiento en los gráficos 14 y 15 para SEER y EER, respectivamente. Ahí las columnas representan el costo real en dólares y la línea representa el costo en función de la propuesta planteada de SEER o el cumplimiento de la norma nacional, según corresponda.



Grafica 14: Costo de la demanda energética de SEER Real vrs SEER propuesto

Fuente: Fabricación propia (base de datos de equipos de A/c de aduana)

De acuerdo con las estimaciones realizadas, la diferencia de energía que se hubiese generado de menos en dinero rondaría los \$4,83 millones para el caso de la propuesta de SEER (gráfico 14) y \$4,5 millones para el caso de que se hubiese cumplido 100% con la normativa nacional de eficiencia energética en EER (gráfico 15).

²⁹ http://www.ucr.ac.cr/medios/documentos/2014/ARESEP/juan_manuel_quesada.pdf

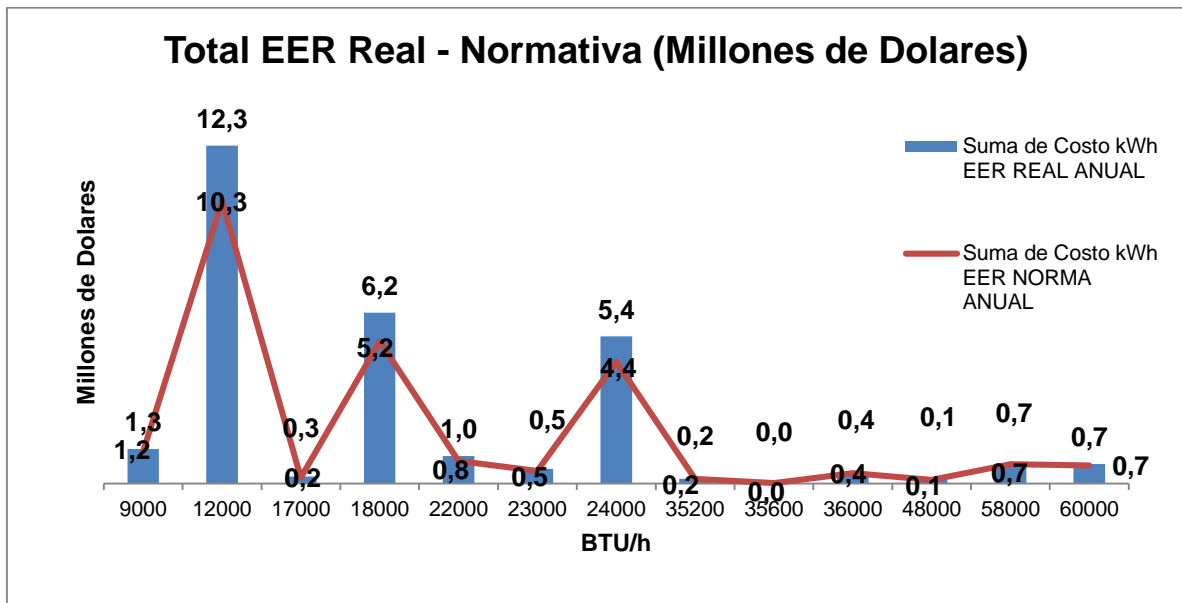


Gráfico 15: Costo de la demanda energética de EER real vrs EER normativa

Fuente: Fabricación propia (base de datos de equipos de A/c de aduana)

El monto del gráfico 14 es menor que el del gráfico 15 porque hay que recordar que en el segundo caso se están evaluando equipos de velocidad variable (*inverter*) junto con los equipos de velocidad fija (*Full load*), mientras que en el primer monto se evaluaron únicamente los equipos de velocidad variable.

El valor mínimo de EER se estimó con el valor establecido por la normativa INTE 28-01-13:2015, ya que por la naturaleza de estos equipos y por el comportamiento de importación se estima que con el simple hecho de que todos los equipos que ingresaron al país hubiesen cumplido 100% con la normativa antes mencionada, el país se habría ahorrado cerca de \$4,5 millones en porcentaje. La diferencia entre lo real y el cumplimiento hubiese representado aproximadamente 15% de ahorro.

Proyección de consumo en GWh (segundo escenario)

Para efectuar este análisis se utilizaron la tasa de variación absoluta y la tasa de variación relativa, las cuales marcan el comportamiento que tuvo la base de datos y que permitió un pronóstico promedio (con variación absoluta) y porcentual (con la variación relativa), tanto de la cantidad de equipos como de la cantidad de GWh. Esto en dos posibles escenarios, uno manteniendo las condiciones actuales y otro tomando en cuenta la propuesta de SEER y de EER. También fueron analizados los anteriores escenarios utilizando la herramienta Microsoft Office Excel con función de pronóstico.

Se aclara que debido a que la base de datos a la que se tuvo acceso contaba únicamente con un histórico de tres años, eso limitó el análisis por métodos de pronósticos probabilísticos, ya que estos requieren como mínimo cinco datos históricos para que su resultado sea confiable.

Al aplicar el pronóstico en función de la información obtenida de la base de datos de aduana entre 2015 y 2017 sobre la cantidad de equipos que ingresarían al país, el consumo histórico se obtuvo al dividir los kW/h totales (EER con norma + SEER propuesta) de cada año entre la cantidad de equipos de los cuales se obtuvo información de cada periodo, con la finalidad de proyectarlos por separado. Una vez aplicado el pronóstico se cruzó de nuevo la información como aparecía en la tabla 16, y con el resultado en GWh proyectado con la propuesta EER y SEER de este ejercicio se obtuvo el gráfico 16.

Tabla 16: Métodos de proyección de la demanda GWh al 2030

Años	GWh Proyectado X unidades Proyectadas sin propuestas EER y SEER			GWh Proyectado X unidades Proyectadas con propuestas EER y SEER		
	Pronóstico Excel	Promedio	Porcentual	Pronóstico Excel	Promedio	porcentual
2015	267,67	267,67	267,67	138,16	138,16	138,16
2016	422,29	422,29	422,29	218,03	218,03	218,03
2017	400,34	400,34	400,34	187,27	187,27	187,27
2018	508,1	474,2	514,7	230,47	211,98	228,82
2019	588,1	553,2	661,6	255,23	236,77	279,57
2020	673,1	637,2	850,6	280,09	261,66	341,59
2021	763,2	726,2	1.093,40	305,04	286,64	417,36
2022	858,3	820,3	1.405,70	330,08	311,72	509,94
2023	958,5	919,5	1.807,10	355,22	336,9	623,06
2024	1.063,70	1.023,60	2.323,10	380,45	362,16	761,27
2025	1.173,90	1.132,90	2.986,50	405,77	387,52	930,14
2026	1.289,20	1.247,10	3.839,30	431,19	412,98	1.136,47
2027	1.409,60	1.366,50	4.935,70	456,71	438,53	1.388,56
2028	1.535,00	1.490,80	6.345,10	482,31	464,17	1.696,58
2029	1.665,50	1.620,30	8.157,00	508,02	489,91	2.072,92
2030	1.800,90	1.754,70	10.486,40	533,81	515,74	2.532,74
Promedio Total	961,08	928,55	2906,03	343,61	328,76	841,40

Fuente: Fabricación propia a partir de la base de datos de aduana

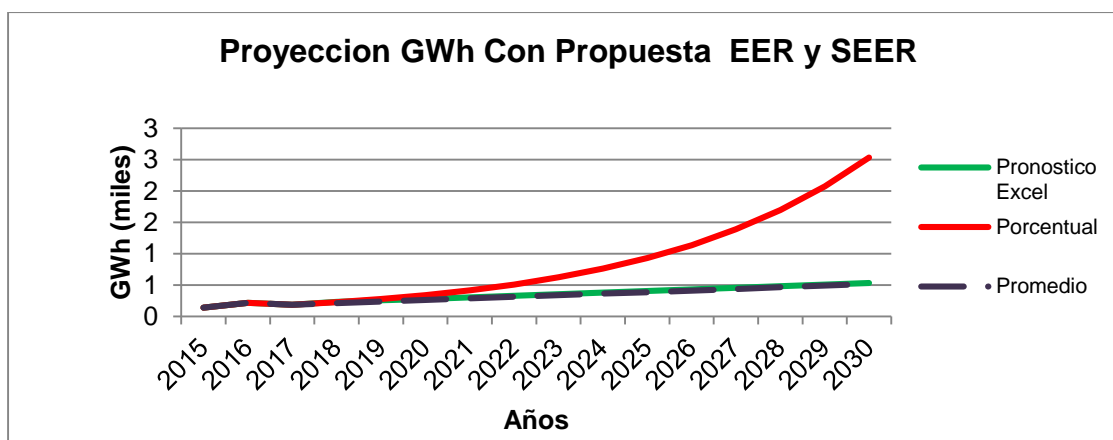
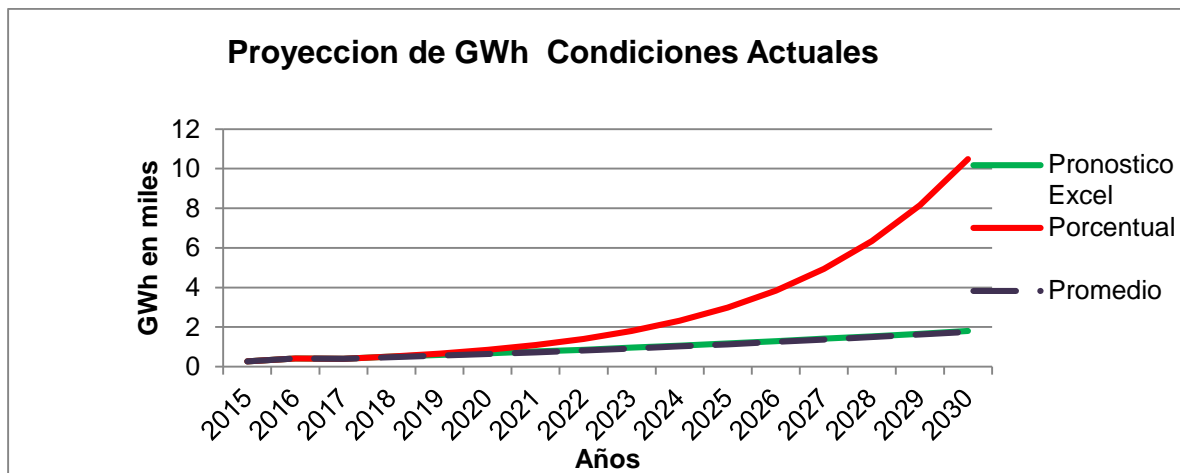


Gráfico 16. Proyección de GWh con la propuesta EER y SEER

Fuente: Fabricación propia (base de datos de equipos de A/c de aduana)

Aplicando el mismo procedimiento anterior pero esta vez en función de un escenario en el que se mantuvieran las condiciones actuales en el país en cuanto a la normativa de eficiencia de energética de los aires acondicionados, se obtuvo el gráfico 17. La tabla 16 mostró que los escenarios de proyección por los métodos de promedio y pronóstico de Excel se comportaron acordes con la proyección planteada en el gráfico 4 Costa Rica: Generación de electricidad histórico (1989-2014) y proyectada por el ICE (2015-2030), mientras que el método porcentual eleva su proyección a partir del quinto año y llega a ser diez veces mayor que los otros dos métodos aplicados.



Grafica 17: Proyección de GWh con la propuesta EER y SEER

Fuente: Fabricación propia (base de datos de equipos de A/c de Aduana)

En este proyecto se utilizará el método de proyección de pronóstico de Microsoft Office Excel para efectuar el resto del análisis, ya que de los dos métodos que presentaron un crecimiento similar al proyectado por el ICE en demanda de energía, este presenta el peor escenario, porque su aumento en GWh promedio total por año fue superior al método utilizando el promedio.

En términos de proyección de ahorro de GWh, primero se obtuvo la proyección de equipos que se estima que ingresarían al país en función del comportamiento de la base de datos. Una vez definida esta cantidad por año se realizó el pronóstico de la energía en los dos escenarios y se estableció la diferencia entre el cálculo utilizado para proyectar el escenario de consumo de energía, manteniendo las condiciones actuales (EER SSER) y el escenario con la propuesta planteada de EER y SEER. Al realizar la resta de estos escenarios se obtuvo la tabla 17, en la cual, además, se multiplicaron los valores de energía obtenidos por el factor de la calculadora en línea de CO₂ del MINAE, para la proyección de las toneladas de CO₂ NO generadas hasta el año 2030.

Tabla 17: Ahorro GWh y toneladas de CO₂ al 2030

Año	Ahorro GWh	Toneladas CO₂ Evitadas
2018	277,6	22.875,10
2019	332,8	27.425,50
2020	393	32.383,90
2021	458,1	37.750,40
2022	528,2	43.524,90
2023	603,2	49.707,50
2024	683,2	56.298,20
2025	768,2	63.297,00
2026	858,1	70.703,80
2027	952,9	78.518,70
2028	1.052,70	86.741,70
2029	1.157,40	95.372,70
2030	1.267,10	104.411,80

Fuente: Fabricación propia a partir de la base de datos de aduana

Ahorro en generación eléctrica

Al efectuar el análisis de los GWh ahorrados en función del porcentaje de generación fue necesario consultar a la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos para obtener los siguientes detalles de generación de energía eléctrica para diciembre del 2017. (gráfico 18)

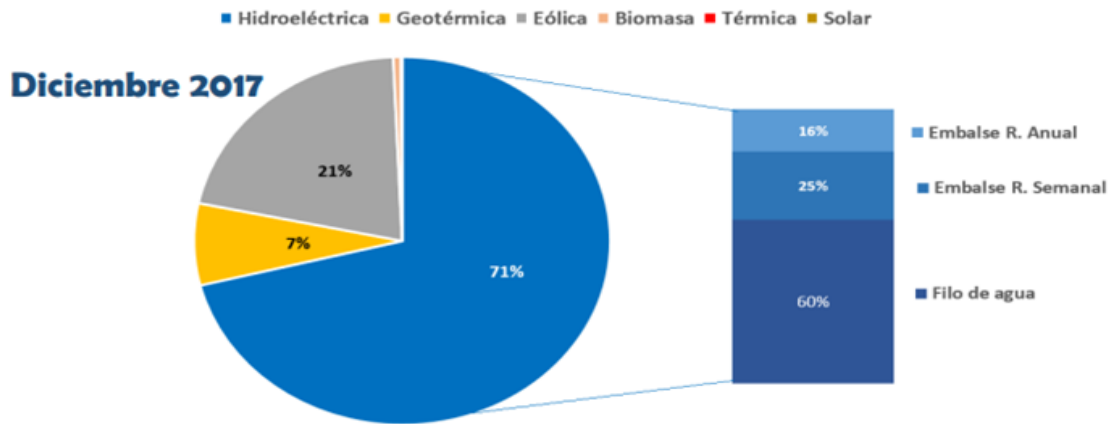


Gráfico 18: Porcentaje de generación eléctrica por tipo de fuente

Fuente www.Aresep.brouchure dic.2017

Utilizando como referencia la generación de electricidad hidro y eólica se tuvo 92% de la generación. Estos porcentajes, al multiplicarlos por los costos promedio de generación del anexo A4 dieron como resultado un costo de generación de 0,1085\$/kWh. Al multiplicarlos por el promedio anual de ahorro en GWh, se obtuvo un promedio de \$3,64 millones de ahorro por año.

Nota: En este cálculo se tomaron en cuenta las pérdidas por concepto de transmisión y distribución.

Análisis ambiental

Si se toma como referencia del año 2019 al 2030 en promedio por año se dejarían de generar cerca 81,1 GWh y se evitaría alrededor de 6.200 toneladas de CO₂ al año. La ilustración del comportamiento señalado anteriormente se puede apreciar en el gráfico 19.

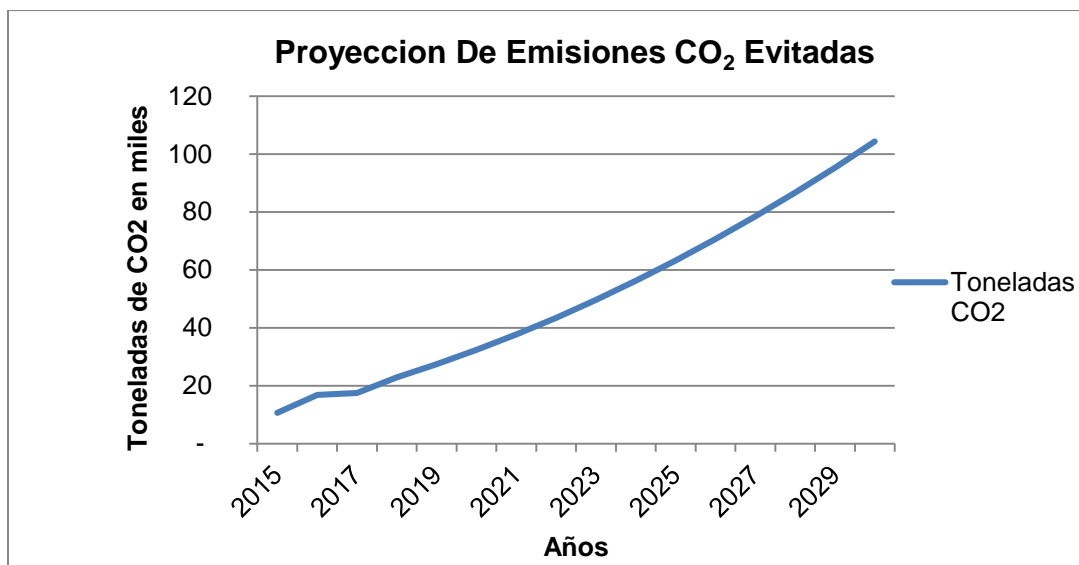


Gráfico 19: Proyección de emisiones CO₂ evitadas al 2030

Fuente: Fabricación propia (base de datos de equipos de A/c de Aduana)

Al comparar la tasa de reducción anual de las 6.200 TonCO₂ con la meta anual fijada por el país de 170 500 TonCO₂, la primera representa aproximadamente 3,6 % de la meta anual fijada en el plan de carbono neutralidad 2.0 al año 2030.

Dimensionamiento de la huella de carbono

Área boscosa

Para tener una idea más clara de las posibles dimensiones de esta propuesta se hizo la analogía de cuántas hectáreas de bosque son necesarias para fijar esas 6.200 TonCO₂. La tabla 18 presenta un estimado hecho por el MINAE de la fijación de carbono en algunas especies nativas de árboles. De ellas se tomó como referencia el promedio de toneladas de carbono fijadas por hectárea de estas especies citadas, para tratar de emular la diversidad de los bosques del país.

Tabla 18: Fijación anual de CO₂ por hectárea de bosque

Especie	Carbono fijado (Tonelada/hectárea)
Melina	8,2
Teca	4,9
Laurel	5,4
Pochote	3,3
Eucaliptus Deglupta	9,5
Pinus sp.	4,6
Ciprés	8,5
Jaúl	3,9
Terminalia Ivorensis	6,1
Otras	3
Promedio	5,74

Fuente: Información estadística relevante sobre el sector forestal MINAE.1996

Al dividir las 6.200 TonCO₂ evitadas en promedio por año entre el promedio de 5,74 TonCO₂ fijadas por hectárea se obtuvo como resultado un área de aproximadamente 1.080 hectáreas de bosque.

Al comparar el área boscosa obtenida del cálculo con el área de las zonas de bosque protegidas se puede decir que las 6.200 TonCO₂ /año equivalen a la extensión del Parque Nacional Cahuita ubicado en la provincia Limón.

Pago de servicios ambientales

Por otro lado, si se decidiera compensar el promedio de toneladas de CO₂ evitadas de acuerdo con el pronóstico, mediante el pago de servicios ambientales por medio del Fondo de Financiamiento Forestal de Costa Rica (Fonafifo), reconocida como única institución por el programa País para suscribir contratos de pago por servicios ambientales y actividad de reforestación. También desarrolla proyectos de “Unidades de Compensación de GEI” que sean medibles, verificables y reportables, utilizando metodologías amparadas en el Panel Intergubernamental de Cambio

Climático (IPCC). Cada unidad de compensación tiene actualmente un valor de US\$ 7.5 por tonelada CO₂/anual³⁰, por tanto sería equivalente a pagar alrededor \$46.500 al año si quisiera aplicar unidades de compensación de GEI para compensar.

Litros de búnker evitados

En la tabla 19 se aprecia la cantidad de metros cúbicos de búnker necesarios para hacer funcionar las plantas de generación térmica, dato que se tomó de la planta de Garabito, que fue la de mayor capacidad en los períodos 2016 y 2017.

Tabla 19: Cantidad de metros cúbicos de búnker por GWh generado

	Garabito	
	2016	2017
Generación (GWh)	167,50	36,32
Búnker (m³)	35.611,00	8.344,00
m³ Búnker X GWh	212,60	229,7

Fuente www.Aresep.Generac_Termic_2005-2017

De acuerdo con las proyecciones, en promedio, por año, se dejaría de generar 81,1 GWh por concepto de equipos de aire acondicionado más eficientes. Si se toma la cantidad de m³ X GWh del año 2017, que presenta el peor escenario, se puede decir que al año se dejarían de utilizar 18.627 m³ de búnker para generación térmica.

³⁰ <http://www.fonafifo.go.cr/inversiones/ucc.html>

Análisis de resultados

Un análisis de Pareto sobre la base de datos de aduanas, facilitada por DIGECA, de las importaciones de los equipos de aire acondicionado definió 20% de las marcas que generaron 80% de las importaciones en el periodo 2015-2017. Entre las cuatro marcas de mayor importación se encuentran: Innovair, Carrier, Panasonic, Midea, ya que entre estas representaron 44%, 33% y 37% en los años 2015, 2016, 2017, respectivamente.

Esta base de datos no suministraba la información necesaria para realizar la evaluación técnica, ya que como datos útiles solo suministraba el modelo y la cantidad de unidades. Al realizar la investigación se encontraron errores de nomenclatura en los modelos los cuales incidieron en que solo 49% de los equipos se pudieran ligar con la información técnica necesaria para la evaluación del estudio. Los rubros investigados a partir de cada modelo fueron la capacidad de enfriamiento, el certificado AHRI y las eficiencias EER y SEER.

Para evaluar la eficiencia energética de los equipos fue necesario distinguir entre los que trabajan a carga completa (on/off), los cuales utilizan como métrica el EER, y aquellos que son para equipos con tecnología de velocidad variable del compresor (*inverter*), que requieren la métrica de SEER, ya que estos fueron diseñados para trabajar a carga parcial.

Dentro de la métrica del EER se encontró que hubo una mejor selección de la tecnología importada, porque el promedio de EER varió de 10,4 a 11 entre el 2015 y 2017 para los equipos que representaron mayores importaciones en ese periodo. En este caso los de 3,5kW (12.000BTU/h)

representaron 60% de los equipos importados, solo en el 2017. De acuerdo con los datos investigados el promedio total de eficiencia energética (EER) se mantuvo entre 10,7 y 11,1 durante el periodo en estudio.

La eficiencia energética para los equipos de velocidad variable en promedio total de SEER pasó de 14,5 a 16,6 en el periodo de estudio.

En la métrica del SEER se encuentran dos tendencias, una de equipos que poseen certificación AHRI, en los cuales se encontró un aumento en el promedio de SEER de entre 2015 y 2017, el cual se ve directamente relacionado con la entrada en vigencia de la directriz 11 del MINAE; y los equipos que no se encuentran certificados, que experimentaron una baja en eficiencia durante el mismo periodo. Aunque este promedio disminuyó, sigue siendo más efectivo que el promedio de los medidos con el EER.

La normativa actual está estructurada para fiscalizar equipos con tecnología de carga completa (EER); no obstante, debería modificarse la reglamentación técnica para que sea de atención obligatoria. Además, debería contemplar los equipos de velocidad variable (SEER), ya que de los 134.826 equipos de los que se obtuvo información 55% eran de velocidad variable y 45% de carga completa.

Los intereses de compra de los usuarios no precisamente están relacionados con la eficiencia energética, sino más bien con un bajo costo de adquisición, lo que lleva al país a definir el límite mínimo de eficiencia para aires acondicionados que ingresan al país en función de sus metas de carbono neutralidad y de la optimización de su generación eléctrica. De acuerdo con los datos obtenidos en este estudio se observó que el mínimo para equipos con medición EER debería

mantener los valores establecidos por la norma, porque, en promedio, se obtendría un aumento de 10% en eficiencia.

Para el caso del SEER, un valor de 18,5 para capacidades de enfriamiento menores a 10,5kW (36000BTU/h) representaría aproximadamente 10% en la mejora de la eficiencia actual. Esta tasa de aumento es similar a la de los equipos de carga completa.

La evaluación de la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado se debe realizar en una cámara psicrométrica, la cual es vendida en el mercado como unidad completa y se define a partir de estos parámetros: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo y humedad relativa, además de la capacidad máxima de enfriamiento de los equipos que se pretende medir en ella. A pesar de que suena estricto, lo realmente importante es especificar la exactitud de los instrumentos de medición, ya que son un parámetro indispensable para cumplir con el estándar de AHRI 210/240 y el AHRAE 37.

El análisis económico-ambiental permitió demostrar que luego de un aumento en la eficiencia energética de 10% en EER y SEER el país, en el periodo 2015-2017, se habría ahorrado aproximadamente \$3,3 millones por año; mientras que según los pronósticos de proyección para el periodo 2018-2030 por año se ahorraría poco más de \$9,3 millones.

Análogo al caso anterior, al analizar el impacto en la huella de carbono producto del 10% antes mencionado, para el primer periodo se habrían evitado cerca de 6.400 TonCO₂ por año entre el 2015 y el 2017. Mientras tanto, al realizar la proyección se estima que el dióxido de carbono evitado sería de 6.200TonCO₂ al año, en promedio, entre 2019 y el 2030, equivalente a un área boscosa por año de 0,02% con la superficie terrestre de Costa Rica fijando CO₂.

Si la esta misma proyección de toneladas de dióxido de carbono evitadas se comprara con pagos de servicios ambientales mediante unidades de compensación sería necesario cancelar poco más de \$500.000 dólares en el periodo 2019-2030.

Ahora, si se analiza el tema desde la parte energética la proyección en GWh estima que, en promedio, se ahorrarían 81GWh al año. El dato anterior es de suma importancia porque, como se demostró en el apartado del diagnóstico, el país utiliza las plantas térmicas en caso de emergencia o para compensar los picos de consumo en temporada de sequía. También se determinó que la demanda del país presenta tres picos de demanda, uno alrededor de las 9:00 am, otro cerca de las 13:00 pm y un tercero a partir de las 19:00 pm. Se puede asegurar que dos de los tres picos de demanda se verían atenuados por el aumento en la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado. Además, si esta energía se tuviese que generar con plantas térmicas de búnker sería necesario un total de 517 cisternas con una capacidad de 36.000 litros.

Conclusiones

Al finalizar la investigación de los requisitos necesarios para redactar una reglamentación técnica para equipos de aire acondicionado menores a 17,5 kW (60.000 BTU/h) se determinan las siguientes conclusiones:

1. A partir de la base de datos de aduana de los equipos de aire acondicionado importados a Costa Rica y aplicando un análisis de Pareto fue posible determinar las marcas y los equipos de mayor presencia en el mercado.

Indiscutiblemente, los equipos de aire acondicionado deben agruparse en dos categorías según sea la naturaleza de su tecnología de enfriamiento, ya sean equipos con velocidad fija en el compresor (EER) o equipo con velocidad variable del compresor (SEER).

Por lo tanto, la primera conclusión es que actualmente las capacidades de enfriamiento con mayor índice de importación se encuentran entre 2,6 kW (9000BTU/h) y 7 kW (24000 BTU/h), con una eficiencia energética promedio de 10,9 EER y 15,8 SEER.

2. La definición de límites mínimos y el etiquetado de la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado es incuestionablemente una decisión de nivel país que impacta positivamente su matriz energética, económica y de ambiente. Costa Rica cuenta con un plan nacional de desarrollo que la compromete a promover la utilización tanto de energías limpias como de equipos con mayor eficiencia energética, los cuales poseen toda una estructura institucional como respaldo.

La normativa INTE 28-01-13:2015 establece los límites mínimos de eficiencia energética y etiquetado de los equipos de aire acondicionado que se importen a Costa Rica; sin embargo, al ser de acatamiento voluntario y no estar adecuada a la tecnología que actualmente ingresa al país, se ha quedado corta en cuanto a alcanzar su meta.

Por tanto, la segunda conclusión es que Costa Rica posee una normativa técnica en eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado que debe convertir en reglamentación técnica e incluir en ella los equipos de velocidad variable (SEER), ya que estos representaron 55% del total de equipo importados.

3. En el nivel mundial más de 40 países han adoptado límites mínimos de eficiencia energética en los equipos de aire acondicionado, inspirados principalmente en la optimización de su matriz eléctrica y el impacto en el ambiente por reducir su huella de carbono.

En Costa Rica estos límites mínimos son de cumplimiento voluntario y están definidos únicamente para equipos con velocidad fija (EER) de 12,2 para equipos menores a 10.5 kW (36000BTU/h) y 11,5 (EER) para equipos con capacidad de enfriamiento superior. La diferencia entre lo que establece la norma y el promedio real de eficiencia es de 10% para los equipos del 2017.

Por tanto, la tercera conclusión es que de momento se debe mantener el límite mínimo fijado en la normativa nacional, ya que al convertirla en reglamento técnico esto significará un aumento de 10% en la eficiencia energética. Además, se debe utilizar ese mismo porcentaje para definir el límite mínimo de los equipos SEER a partir de su promedio de eficiencia actual, de manera que quedaría en 18,5 para equipos menores a 10,5 kW de enfriamiento y un SEER de 16 para equipos superiores a los 10,5 kW.

4. Para realizar las corroboraciones de producto conforme en cuanto a eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado es indispensable una cámara psicrométrica, la cual en su interior se divide en dos cuartos, que son capaces de simular las condiciones de temperatura, humedad relativa y caudal de aire establecidas de acuerdo con el estándar definido por el Instituto de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado de los Estados Unidos de América.

Estas cámaras están diseñadas para medir equipos de aire acondicionado con sistemas de calefacción del tipo bombas de calor. Sin embargo, en Costa Rica no es necesario ya que el mercado para este tipo de equipos es limitado pues, en promedio, las temperaturas del país son cálidas durante todo el año.

Por tanto, la cuarta conclusión es que para la cámara psicrométrica, las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo en cuarto interior deben de ser 26,7°C y 19,4°C y en el cuarto exterior de 35°C y 11,9°C, respectivamente, y con variaciones de entre 0% y 95% de humedad relativa; además, de cumplir con los parámetros de exactitud definidos en el estándar AHRI 210/240.

5. En la valoración económico-ambiental fueron contempladas la condición actual de eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado y una nueva condición con las propuestas de límites mínimos de eficiencia energética.

La diferencia entre las proyecciones de primera condición y la segunda significó el porcentaje de ahorro para este caso. Este ahorro anual se estimó en 81,1 GWh, 6.200 TonCO₂, 18.627 m³ de Bunker para generación térmica y cerca de \$9,3 millones por concepto de generación hidro y eólica.

Por lo tanto, la última conclusión es que implementar una realimentación técnica de eficiencia energética para equipos de aire acondicionado ayudaría a optimizar la matriz eléctrica nacional y contribuiría a cumplir con la meta de reducción de carbono asumida por el país para el 2030.

Recomendaciones

- Implementar una metodología de captura de datos que permita registrar características técnicas de los equipos que ingresan al país, necesarias para desarrollar de forma simple análisis como los de este estudio.
- Realizar un estudio por lo menos con cuatro años de datos históricos mediante la implementación del modelo "PAMS"(Policy Analysis Modeling System) de Lawrence Berkeley Laboratory, de Universidad de California, para definir los nuevos límites mínimos de eficiencia para los equipos de aire acondicionado.
- Capacitar al personal encargado de captura de datos de aduana con la finalidad de reducir los errores en la información necesaria para desarrollar este tipo de estudios.
- Realizar un estudio para definir el límite máximo consumo fantasma o en espera (*standby*) de los equipos de aire acondicionado que ingresan al país.
- Plantear incentivos arancelarios que promuevan el interés en los importadores de aires acondicionados por traer al país equipos con mayores índices de eficiencia energética.
- Desarrollar campañas informativas para los consumidores, que les permita comprender los beneficios de adquirir equipos con tecnologías energéticamente más eficientes.
- Establecer el procedimiento para cargar los gastos operativos que implica la prueba de eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado, ya sea que cumplan o no con lo establecido en la reglamentación técnica.

Bibliografía

-MINAE, Información Estadística relevante sobre el Sector Forestal 1972-1995. Datos del Inventario y Estudio Preliminar sobre captura de CO2 por parte de seis empresas miembros de CONASE. San José-Costa Rica. 1996. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A11579e/A11579e.pdf>.

- Ana Rita Chacón Araya, Gladys Jiménez Valverde, Jhonny Montenegro Ballesteros, Jihad Sasa Marín y Kendall Blanco Salas Costa Rica. Ministerio de Ambiente y Energía. Instituto Meteorológico Nacional Inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorción de Carbono, 2012 primera edición / San José, Costa Rica 2012.

. -Gutiérrez, Arturo. Manual de pronósticos para la toma de decisiones / Arturo Farrera Gutiérrez. p. 192 cm. 1. Toma de decisiones 2. Toma de decisiones—Manuales LC: HD30.23 Dewey: 658.403 Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Recuperado https://editorialdigitaltec.com/materialadicional/P007_Farrera_Manualdepronosticosparalatomadedecisiones.

-Butler W.F., Kavesh R.A. y Platt R. B. Methods and techniques of business forecasting. Englewood, N.J. Prentice/Hall. 1974 Recuperado de http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/moodle/pluginfile.php/61548/mod_resource/content/0/Modulo_2/Documentos/UNIDAD_4__Presupuesto_de_Ventas.pdf.

-Ministerio de Energía. Informe Técnico Estándar Mínimo de Eficiencia Energética Equipos de Aire Acondicionado DIVISIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, Santiago – Chile 2017 recuperado de [http://www.minenergia.cl/archivosbajar/consulta_ciudadana/2017/06/ Informe Tecnico_Borrador_MEPS_Aire_Acondicionado_ConsultaPublica.2017.pdf](http://www.minenergia.cl/archivosbajar/consulta_ciudadana/2017/06/Informe_Tecnico_Borrador_MEPS_Aire_Acondicionado_ConsultaPublica.2017.pdf).

-José A. Díaz, Juan J. Tineo. Empresa Eléctrica Socialista CORPOELEC. Procedimiento para evaluar la eficiencia energética de los sistemas de climatización y refrigeración de expansión directa (DX) con condensadores de aire y evaporativos. Colombia. 2014.

-Yunus A. Cengel, Michael A. Boles. Termodinámica. Mc Graw Hill. Sexta Edición. México. 2009.

-Juan Antonio Torre Marina. Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado, Tomo I. Prentice Hall. Tercera Edición. México. 1999.

PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA Y EL MINISTRO DE AMBIENTE Y ENERGÍA. PROGRAMA PAÍS CARBONO NEUTRALIDAD 2.0.Costa Rica.2018. Recuperado de: http://.cambioclimaticocr.com/recursos/COMP_28_05_2018-4-5.pdf.

MINAE y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. VII Plan Nacional de Energía 2015-2030.Costa Rica.2015. Recuperado de: [http://www.dse.go.cr/es/03 Publicaciones/ 01PoliticaEnerg/VII_Plan_Nacional_de_Energia_2015-2030.pdf](http://www.dse.go.cr/es/03_Publicaciones/01PoliticaEnerg/VII_Plan_Nacional_de_Energia_2015-2030.pdf).

- <http://pgrweb.go.cr/scij/> (Sistema costarricense de información jurídica).
- [http://web.energia.go.cr/informacion/normas/INTE 28-01-13:2015](http://web.energia.go.cr/informacion/normas/INTE%2028-01-13:2015).
- <http://web.energia.go.cr/informacion/normas/INTE28-01-14:2015>.
- <http://fonafifo.go.cr/inversiones/ucc.html>.
- http://tescor.inc.com/productimages/Large/HVAC_PsychTestRm/psychrometric_room.
- AHRI (2008). ARI Standard 210/240.
- ANSI/AHRI Standard 1230 with Addendum 2.
- <https://ingeniero.com/metodos-cualitativos-pronostico-demanda>.
- <https://support.office.com/es-es/article/pronostico-funci%C3%B3n-pronostico-50ca49c9-7b40>.
- Secretaria Mexicana de Energía, Norma Oficial Mexicana NOM026ENER2015. México 2016.
- <http://cambioclimaticocr.com/calculador-su-huella-de-carbono>.
- https://www.centralamericadata.com/es/article/home/Centroamerica_Mercado_de_equipos_de_aire_acondicionado.
- <http://www.climaideal.com/mantenimiento>.
- https://aresep.go.cr/images/Brochure_informativo_del_Mercado_Electrico_Regional_Diciembre_2016.pdf.

-http://www.ucr.ac.cr/medios/documentos/2014/ARESEP/juan_manuel_quesada.pdf.

-<https://aresep.go.cr/electricidad/estadisticas>.

-<https://www.ahridirectory.org/Search/QuickSearch?category=8&searchTypeId=3&producttype=7&SubmenuId=3&ProgramId=40>.

-<http://www.eca.or.cr>

-<http://www.lacomet.go.cr>.

-<https://www.inteco.org/page/inteco.faq>.

-<https://www.reglatec.go.cr/reglatec/principal>.

ANEXOS

A.1 Acuerdo de París, Ley 9405. Aprobado el 04 de octubre de 2016

Entre otras cosas, este acuerdo establece los compromisos de los países parte para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), de manera que el aumento de la temperatura media mundial se mantenga por debajo de los 2°C. Esto implica medidas de mitigación de dichos GEI (economías bajas en carbono, tanto en procesos de producción como en consumo), así como de adaptación a los efectos del cambio climático; en procura de un desarrollo sostenible.

A.2 Ejemplo de la distribución de la información de la etiqueta de los aires acondicionado



Figura A2.1: Ejemplo de distribución información de la etiqueta para equipos de aire acondicionado

Fuente: INTE 28-01-14:2015 Etiquetado

A.3.1 Ejemplo base de datos de equipos de aire acondicionado importados de aduana.

(Facilitada por DIGECA)

Formular Partida	Descripción	Valor	Modelo	Fabricante	Cantidad	Cargados	Tipo	Peso Neto por unidad (g)
2956404	AC Portable 14K BTU Danby	3500	DPA140B1W3	Danby	8	S	R410A	490
290065	CONDENSADOR LIEBERT	3978	TC0V205-Y	LIEBERT C	3	N	NA	0
290065	CONDENSADOR LIEBERT	3978	TC0V85-Y	LIEBERT C	4	S	NA	0
290066	CONDENSADOR LIEBERT	32238	TC0V85-Y	LIEBERT C	6	N	NA	0
2967577	Viper 2 Ft Air Cooled 22000 T-aj	12000	621260002	Cornelius	2	S	R410A	690,39
2968694	CONDENSADOR EVAPORAT	47000	WCA330A	BALTIMOR	1	N	NA	0
2970403	AC SPLIT 24K BTU 13 SEER P4	89508	CSCLP32PKY	PANASON	2	S	R410A	900
2956490	AC Portable 14K BTU Danby	2500	DPA140B1W3	Danby	4	S	R410A	490
2956809	EQUIPO AIRE ACONDICIONAD	6000	WCHK12K4D	MORPINE	7	N	NA	0
2956809	EQUIPO AIRE ACONDICIONAD	6000	WHK12K4D	MORPINE	7	N	NA	0
2927148	EQUIPO DE AIRE ACONDICIONA	1200	LSX-L108C1-60PKX2LX3-L108C0-41	LENINIX	1	S	R410A	1190
2927485	Aire acondicionado usado marc	250	ECD407C4W1V	ELECTRO	1	N	NA	0
2969295	AIRE ACONDICIONADO GENIE	250	AEM08LQ	GENERAL	1	N	NA	0
2956277	MINISPLIT INVERTER DE 36.0	4996,26	GOU-36CDM1H	ZHEJIANG	5	S	R410A	3290
2956277	MINISPLIT INVERTER DE 48.0	6910,72	GOU-48CDM1H	ZHEJIANG	5	S	R410A	4050
2956277	MINISPLIT INVERTER DE 60.0	20779,25	GOU-60CDM1H	ZHEJIANG	15	S	R410A	4650
3000094	CONDENSADORES TIPO MINI	6576,03	MS1D-12CR1H	MIDEA AIF	211	S	R410A	430
3000094	CONDENSADORES TIPO MINI	6556,65	MS1D-10CR1H	MIDEA AIF	100	S	R410A	650
3000094	CONDENSADORES TIPO MINI	6924,77	MS1D-24CR1H	MIDEA AIF	25	S	R410A	921
3000094	EVAPORADORES TIPO MINI	19438,08	MS1D-12CR1H	MIDEA AIF	240	N	NA	0
3000094	EVAPORADORES TIPO MINI	1194,8	MS1D-10CR1H	MIDEA AIF	100	N	NA	0

A.3.2 Ejemplo base de datos de equipos de aire acondicionado importados de aduana con información investigada. (Facilitada por DIGECA)

País de Origen	Tipo	BTWA	EER	SEER	CERTIFICADO	CUMPLE	KWh EER/ton (año)	KWh EER (total)	KWh EER NOMMA (Total)	DIFERE NCIA REAL-NORMA	% AHORRO	Costo KWh EER ANUAL	Costo KWh EER NOMMA ANUAL	DIFERE NCIA DE ACTUA L CON NOMMA	KWh SEER/ton (año)	KWh SEER (total)	KWh SEER PROP (Total)	DIFERE NCIA REAL-PROP	% AHORRO	Costo KWh SEER ANUAL	Costo KWh SEER PROP ANUAL	DIFERE NCIA DE ACTUA L CON PROP	TONELAJE AS CARBONO EER REAL	TONELAJE AS CARBONO O EER NOMMA	TONELAJE AS CARBONO O SEER REAL	TONELAJE AS CARBONO O SEER PROPPUS T	
300	P40A	2000	12.0	NO	No cumple	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108525	904375	555405	2478345	0.00	908739	838803	304836	0.00	0.00	6.23	4.58	
295	P40A	2000	13.0	NO	No cumple	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130465	1073338	757814	3208871	0.287	128273	322734	394016	0.00	0.00	8.08	6.14	
300	P40A	2000	12.0	NO	No cumple	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108525	904375	555405	2478345	0.00	908739	838803	304836	0.00	0.00	6.23	4.58	
295	NA	2000	13.0	NO	No cumple	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1323077	708823	508375	237247	0.287	883836	620839	628677	0.00	0.00	8.24	4.83	
240	P40A	2000	11.0	NO	No cumple	130081	64873	0	64873	1	348338	0	848338	0	848338	0	0	0	0	0	0	0	0	6.44	0.00	0.00	0.00
300	NA	2000	12.0	NO	No cumple	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1454387	307193	555405	320882	0.849	458034	838803	30822	0.00	0.00	30.00	4.58	
300	NA	2000	12.0	NO	No cumple	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1454387	307193	555405	320882	0.849	458034	838803	30822	0.00	0.00	30.00	4.58	
300	P40A	2000	12.0	NO	No cumple	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108525	904375	555405	2478345	0.00	908739	838803	304836	0.00	0.00	6.23	4.58	
22	P40A					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
24	P22					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
190	P40A					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
220	P40A	2000	12.0	NO	No cumple	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108525	908375	409247	1911453	0.288	749534	508334	223849	0.00	0.00	4.61	3.83	
185	P40A	2000	11.0	NO	No cumple	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108525	344753	30880	238334	0.00	423134	308472	345346	0.00	0.00	24.1	2.80	
240	P40A	2000	13.0	NO	No cumple	144783	95842	0	95842	1	128823	0	128823	0	128823	0	0	0	0	0	0	0	0	7.49	0.00	0.00	0.00
180	P40A	2000	11.0	NO	No cumple	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108525	294533	308273	238346	0.00	423	308472	345346	0.00	0.00	27.4	2.40	
185	P40A	2000	13.0	NO	No cumple	12249	50842	0	50842	1	68042	0	68042	0	68042	0	0	0	0	0	0	0	0	4.23	0.00	0.00	0.00
183	P40A	2000	13.0	NO	No cumple	134835	54842	0	54842	1	688272	0	688272	0	688272	0	0	0	0	0	0	0	0	4.88	0.00	0.00	0.00
220	P40A	2000	12.0	NO	No cumple	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108525	908375	409247	1911453	0.288	749534	508334	223849	0.00	0.00	4.61	3.83	
190	P40A					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	
240	NA	2000	13.0	NO	No cumple	144783	95842	0	95842	1	128823	0	128823	0	128823	0	0	0	0	0	0	0	0	7.49	0.00	0.00	0.00
140	P40A	2000	13.0	NO	No cumple	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1323077	348375	238346	104247	0.287	49247	248411	148533	0.00	0.00	24.1	8.75	
130	P40A	2000	13.0	NO	No cumple	122821	49800	0	49800	1	5024	0	5024	0	5024	0	0	0	0	0	0	0	0	3.23	0.00	0.00	0.00
240	NA	2000	13.0	NO	No cumple	144783	95842	0	95842	1	128823	0	128823	0	128823	0	0	0	0	0	0	0	0	7.49	0.00	0.00	0.00
180	P40A					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	

A.4 Costo promedio del KW/h generado en Costa Rica 2014³¹

Plantas Hidroeléctricas (*)

(RIE-33-2013)

Límite Superior \$ 0,1510/kWh

Tarifa Promedio: \$ 0,1229/kWh

Límite Inferior: \$ 0,0948/kWh

Con estructura horaria y estacional

(*) Temporalmente esta metodología aplica a otras fuentes no convencionales sin metodología aprobada.

Plantas Eólicas

(RIE-80-2013)

Límite Superior: \$ 0,1191/kWh

Tarifa Promedio: \$ 0,1015/kWh

Límite Inferior: \$0,0840/kWh

Con estructura estacional

³¹ http://www.ucr.ac.cr/medios/documentos/2014/ARESEP/juan_manuel_quesada.pdf

