



**Programa de las
Naciones Unidas
para el Medio Ambiente**

Distr.
GENERAL

UNEP/OzL.Pro/ExCom/84/69
18 de noviembre de 2019

ESPAÑOL
ORIGINAL: INGLÉS

COMITÉ EJECUTIVO DEL FONDO MULTILATERAL
PARA LA APLICACIÓN DEL
PROTOCOLO DE MONTREAL
Octogésima cuarta Reunión
Montreal, 16-20 de diciembre de 2019

RESUMEN **ACTUALIZADO DEL INFORME DEL GRUPO DE EVALUACIÓN
TECNOLÓGICA Y ECONÓMICA SOBRE ASUNTOS RELACIONADOS CON LA
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LO QUE RESPECTA A LAS CUESTIONES MENCIONADAS
EN LA DECISIÓN 82/83(e) (DECISIÓN 83/64)**

Antecedentes

1. En la 82ª reunión, el Comité Ejecutivo sometió a consideración el resumen elaborado por la Secretaría de las deliberaciones que sostuvieron las Partes durante la 40ª Reunión del Grupo de trabajo de composición abierta y la 30ª Reunión de las Partes del Protocolo de Montreal en relación con el informe sobre eficiencia energética elaborado por el GETE.¹
2. Tras deliberar, el Comité Ejecutivo resolvió, entre otros:
 - e) Abordar en la 83ª reunión las formas de llevar a la práctica los párrafos 22 de la decisión XXVIII/2 y 5 y 6 de la decisión XXX/5, incluyendo:
 - i) Iniciativas relativas a mantener y/o mejorar la eficiencia energética de tecnologías sustitutivas con bajo o nulo potencial de calentamiento atmosférico (PCA) en los sectores refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor, tales como:
 - a. Metodologías de cuantificación de cambios en la eficiencia energética; y
 - b. Intervenciones técnicas para mantener y/o mejorar la eficiencia energética;
 - ii) Cuestiones relativas a los sobrecostos asociados, plazos de amortización y costos de supervisión y verificación;
 - iii) Posibles beneficios ambientales, especialmente los relativos al clima; y

¹ UNEP/OzL.Pro/ExCom/82/65 y Add.1.

- f) Solicitar a la Secretaría, para su consideración por parte del Comité Ejecutivo en la 83ª reunión, un resumen del Informe del Grupo de evaluación tecnológica y económica (GETE) sobre asuntos relacionados con la eficiencia energética² en lo que respecta a las cuestiones mencionadas en el inciso e) precedente (decisión 82/83).

Análisis de la decisión 82/83 e) y f)

3. La decisión 82/83 e) y f) cita párrafos específicos de dos decisiones adoptadas por las Reuniones de las Partes:

- a) Párrafo 22, decisión XXVIII/2: Solicitar al Comité Ejecutivo fijar pautas relativas a los costos de mantener y/o mejorar la eficiencia energética de equipos y tecnologías sustitutivas de bajo o nulo PCA en el marco de la reducción de HFC y tomar nota, cuando corresponda, de la labor de otras instituciones que se ocupan de la eficiencia energética;
- b) Párrafo 5, decisión XXX/5: Solicitar al Comité Ejecutivo continuar su labor de analizar proyectos de servicio y mantenimiento a fin de determinar mejores prácticas, experiencias recogidas y oportunidades para mantener la eficiencia energética en el sector de servicio técnico, así como los costos correspondientes; y
- c) Párrafo 6, decisión XXX/5: Solicitar al Comité Ejecutivo considerar la información obtenida de proyectos piloto y autónomos a fin de fijar pautas relativas a los costos de mantener y/o mejorar la eficiencia energética de equipos y tecnologías sustitutivas en el marco de la reducción de HFC.

4. Al incorporar el texto de dichas decisiones, en lo sustantivo la decisión 82/83 e) y f) quedaría como sigue:

Solicitar a la Secretaría, para su consideración en la 83ª reunión, un resumen del Informe elaborado en virtud de la decisión XXIX/10 por el Equipo de Tareas del GETE sobre asuntos relacionados con la eficiencia energética en el marco de la reducción de los HFC (Informe del Equipo de Tareas del GETE), de modo que el Comité Ejecutivo pueda discutir:

- a) El desarrollo de orientaciones sobre los costos de mantener y/o mejorar la eficiencia energética de equipos de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor que se conviertan de HFC a tecnologías de bajo o nulo PCA, las que deberán:
 - i) Incluir iniciativas tales como metodologías de cuantificación de cambios en la eficiencia energética e intervenciones técnicas para mantener y/o mejorar la eficiencia energética;
 - ii) Incluir los sobrecostos asociados, plazos de amortización y costos de supervisión y verificación;
 - iii) Incluir los posibles beneficios ambientales, especialmente los relativos al clima;
 - iv) Tomar en consideración la información obtenida de proyectos piloto para la introducción de tecnologías de bajo PCA en países del artículo 5 y de proyectos autónomos de inversión relativa a los HFC aprobados por el Comité Ejecutivo;

² GETE, mayo de 2018: Informe elaborado en virtud de la decisión XXIX/10 por el Equipo de Tareas del GETE sobre asuntos relacionados con la eficiencia energética en el marco de la reducción de HFC (Volumen 5).

- v) Tomar en consideración el papel de otras instituciones que se ocupan de la eficiencia energética, cuando proceda; y
- b) Mantener u optimizar la eficiencia energética en el marco de la reducción de HFC en el sector servicio técnico de equipos de refrigeración, considerando mejores prácticas, experiencias recogidas y oportunidades para mantener la eficiencia energética extraídas de los actuales planes del sector servicio técnico de equipos de refrigeración.

5. De conformidad con la decisión 82/83, párrafos e) y f), el Comité Ejecutivo tomó conocimiento del documento UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/42 que resume el Informe del GETE sobre asuntos relacionados con la eficiencia energética, acordando derivarlo al grupo de contacto conformado para tratar estas materias. El convocante del grupo informó posteriormente al Comité que esta instancia no dispondría de tiempo para tratar dicho documento, ante lo cual el Comité decidió postergar su discusión para la 84ª reunión (decisión 83/64).

Alcance

6. El documento presentado a la 83ª reunión se basó en el informe que el Equipo de Tareas del GETE elaboró con anterioridad a mayo de 2019. En mayo y septiembre de 2019 el Equipo de Tareas hizo sendas revisiones al informe.³ Al conocer la versión actualizada a septiembre de 2019, la Secretaría destacó que contenía una detallada evaluación de la tecnología, disponibilidad y costos de la eficiencia energética en equipos de climatización y de refrigeración comercial autónomos. Este informe eliminaba además ciertos párrafos del documento que la Secretaría presentó a la 83ª reunión. En vista de la sustantiva información adicional contenida en el informe y que sería útil para la discusión del tema en el Comité Ejecutivo, la Secretaría estimó relevante enmendar el documento presentado a la 83ª reunión (la mayor parte de la información adicional consta en los Anexos II a VI al presente documento. Para facilitar su examen, el texto nuevo se destaca a color⁴ en tanto que el texto eliminado se muestra tarjado).

7. El presente documento, el que constituye una versión actualizada del que fuera presentado a la 83ª reunión, consta de las siguientes secciones:

Sección I	Resumen de los principales aspectos del Informe del Equipo de Tareas del GETE respecto de los párrafos (e) y (f) de la decisión 82/83
Sección II	Introducción a la eficiencia energética en el marco de la reducción de los HFC y la adopción de tecnologías de bajo y nulo PCA
Sección III	Intervenciones técnicas para mantener y/o mejorar la eficiencia energética
Sección IV	Cuestiones relativas a los sobrecostos asociados, plazos de amortización y costos de supervisión y verificación
Sección V	Beneficios ambientales en términos de CO ₂ equivalente
Sección VI	Proyectos piloto para la introducción de tecnologías de bajo PCA y proyectos autónomos de inversión relativa a los HFC

8. El presente documento consta además de los siguientes seis anexos:

³ GETE, septiembre de 2018: Informe elaborado en virtud de la decisión XXIX/10 por el Equipo de Tareas del GETE sobre asuntos relacionados con la eficiencia energética en el marco de la reducción de los HFC (Volumen 5). Informe final actualizado.

⁴ Para facilitar la lectura, no se destacan los textos de los Anexos II a VI.

Anexo I	Glosario de términos utilizados en el Informe del Equipo de Tareas del GETE, con algunas explicaciones (de fácil referencia para consultar la terminología utilizada en el documento)
Anexo II	Disponibilidad de climatizadores que operen con distintos refrigerantes y a distintos niveles de eficiencia energética ⁵
Anexo III	Información acerca de la disponibilidad, costo, impacto energético y aplicación a regiones climáticas de distintos componentes relativos a la eficiencia energética de refrigerantes de bajo y medio PCA en climatizadores y equipos autónomos de refrigeración comercial ⁶
Anexo IV	Disponibilidad de componentes para climatizadores que utilicen refrigerantes de bajo y medio PCA
Anexo V	Disponibilidad de componentes para climatizadores y equipos autónomos de refrigeración comercial que utilicen refrigerantes de bajo y medio PCA
Anexo VI	Costos adicionales relativos a modificar líneas de producción y componentes para la fabricación de climatizadores residenciales que utilicen refrigerantes inflamables y análisis de costo y rendimiento de equipos ecoenergéticos de refrigeración y aire acondicionado ⁷

9. Conforme a lo dispuesto en la decisión 82/83(f), la información contenida en el presente documento es un extracto del Informe del Equipo de Tareas del GETE.⁸ Tras recibir los aportes de un experto independiente que leyó el presente documento, se introdujeron algunos cambios menores y se agregaron algunas aclaraciones y antecedentes adicionales. La información que se entrega no sigue la misma secuencia que el Informe del Equipo de Tareas del GETE ni se ofrece información de otras fuentes, dado que ello no estaba contemplado en la decisión.

10. El Comité Ejecutivo podrá estimar oportuno tomar nota de que a lo requerido en el párrafo 5 de la decisión XXX/5 se le dio pleno cumplimiento en los siguientes dos documentos, por lo que el presente documento no aborda materias relativas al sector servicio técnico de equipos de refrigeración:

- a) Documento preliminar sobre todos los aspectos relacionados con el sector de servicio y mantenimiento de refrigeración que apoyan la reducción de los HFC (decisión 80/76(c)) (UNEP/OzL.Pro/ExCom/82/64); y
- b) Documento sobre formas de llevar a la práctica los párrafos 16 de la decisión XXVIII/2 y 2 de la decisión XXX/5 de las Partes (decisión 82/83(c)) (UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/40).

11. El Comité Ejecutivo podrá además estimar oportuno tomar nota de que durante la 84^a reunión se presentará una versión actualizada del documento sobre fondos e instituciones financieras que movilicen

⁵ Incluye información sobre la disponibilidad en distintos mercados de refrigerantes de alto PCA a base de HCFC y de refrigerantes de bajo y medio PCA a base de HFC.

⁶ Incluye información sobre compresores, intercambiadores de calor, controles y otros componentes y productos ecoenergéticos con tecnologías de bajo y medio PCA.

⁷ Entrega información sobre rangos de costos de capital, rendimiento operacional y análisis de costos de producción de equipos ecoenergéticos de climatización y refrigeración.

⁸ El Informe del Equipo de Tareas del GETE incluye un Anexo A sobre las dificultades específicas de cada sector para la adopción de tecnologías. La mayor parte de la información sobre el tema se aborda en la Sección III del presente documento; los Anexos II a V contienen información adicional sobre adopción de tecnologías.

recursos para la eficiencia energética factibles de utilizar en el marco de la reducción de HFC (decisión 83/63),⁹ materia que por consiguiente no está considerada en el presente documento.

I. RESUMEN DE LOS PRINCIPALES ASPECTOS DEL INFORME DEL EQUIPO DE TAREAS DEL GETE

12. La orientación histórica del Protocolo de Montreal hacia la eliminación de SAO trajo consigo un incremento en la eficiencia energética de equipos y productos.¹⁰ Durante la transición a refrigerantes alternativos la industria se esforzó por optimizar el diseño de equipos y componentes al alcance del bolsillo del consumidor, lo que con el correr del tiempo generó productos más ecoenergéticos a menores precios. Los sistemas de climatización reciben cada vez más atención debido a la necesidad de cambiar la tecnología refrigerante, por lo que se están haciendo esfuerzos para optimizar sistemas y componentes a fin de lograr un consumo ecoenergético con nuevos refrigerantes. Los sistemas de precio, facturación y rotulación son factores importantes en la adopción de tecnologías ecoenergéticas.

13. El mayor potencial para aumentar la eficiencia energética radica en un mejor diseño total de sistemas y componentes, lo que respecto de una base de comparación puede lograr mejoras que fluctúan entre el 10% y el 70% para unidades de primer nivel. Aportan al ahorro energético los enfoques integrales en diseño y selección de equipos de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor que minimizan las cargas de refrigeración/calefacción, utilizan el refrigerante más idóneo y componentes ecoenergéticos, y están diseñados para optimizar el control y operación bajo condiciones operativas y características comunes que facilitan el servicio y mantenimiento. Ello reduce la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) durante la vida útil de los equipos, reduce los costos energéticos para el usuario final y presiona a la baja la demanda de punta, y con ello la inversión en capacidad de generación y distribución eléctrica.

14. La selección de refrigerante es una fórmula de compromiso entre beneficio ambiental, seguridad, eficiencia del ciclo termodinámico, diseño del sistema, confiabilidad y costo. El efecto del refrigerante en la eficiencia energética de una unidad generalmente no supera +/- 5 a 10%. Los climatizadores y equipos de refrigeración comercial que cumplen con la norma mínima de eficiencia energética se encuentran ampliamente disponibles para todo tipo de refrigerantes, incluidos los HCFC.¹¹ Este refrigerante, sin embargo, se encuentra en fase de eliminación y no se espera lograr más eficiencia energética con estos equipos. Cuando los mercados y las políticas públicas entregan claras señales en favor de refrigerantes alternativos, los fabricantes invierten en investigación y desarrollo para esos refrigerantes, manteniendo o mejorando la eficiencia energética; por ello, los esfuerzos por potenciar la eficiencia energética apuntan actualmente a refrigerantes de menor PCA. Ciertos componentes necesarios para una mayor eficiencia energética en climatizadores y equipos de refrigeración comercial con refrigerantes de menor PCA no se encuentran ampliamente disponibles, a diferencia de los componentes para refrigerantes de PCA medio, especialmente a medida que algunos países orientan el grueso de su consumo hacia estos refrigerantes.

15. La mayoría de las nuevas tecnologías de mayor eficiencia energética ampliamente disponibles no se ven directamente afectadas por consideraciones de propiedad industrial. No obstante, en cuanto a las tecnologías de un número limitado de proveedores, las emergentes o las de investigación y desarrollo, esta materia deberá determinarse caso a caso.

16. En cuanto a intervenciones técnicas destinadas a mantener u optimizar la eficiencia energética, los ambientes donde imperan las altas temperaturas imponen un conjunto adicional de dificultades para la selección de refrigerantes, diseño del sistema y mejora potencial de la eficiencia. A alta temperatura ambiente, los sistemas capaces de mantener la eficiencia se ven afectados por la opción de refrigerante

⁹ UNEP/OzL.Pro/ExCom/84/68.

¹⁰ El Protocolo de Montreal ha generado una mejora gradual de la eficiencia energética. Si bien ello también ocurría antes, en muchos casos el Protocolo aceleró este proceso, dado que el cambio de refrigerante y el rediseño de los equipos tienden a constituir un incentivo para pasar a un mayor nivel tecnológico.

¹¹ Lo que podría no ser el caso para ciertas tecnologías (p. ej., climatizadores a base de R-290).

debido a sus propiedades termodinámicas, a las normas de seguridad exigidas por la mayor carga y a la disponibilidad y costo de los componentes. Los estudios en condiciones de alta temperatura ambiente realizados a la fecha han demostrado la capacidad de ciertas alternativas de bajo PCA para entregar resultados comparables a las actuales tecnologías. Están en curso otros estudios y esfuerzos a nivel del sector privado que se orientan a optimizar los diseños para lograr determinadas eficiencias para estas alternativas. El informe detalla las dificultades de orden técnico, financiero, comercial, informativo, institucional/regulatorio y de servicio técnico, junto con las medidas de mitigación factibles de adoptar. En el marco del proyecto PRAHA-II del Fondo Multilateral se está sometiendo a pruebas a un conjunto de unidades optimizadas con compresores e intercambiadores de calor más eficientes basados en los prototipos originalmente utilizados en el programa PRAHA-I.

17. Las condiciones de alta temperatura ambiente generalmente no representan mayor problema para los equipos autónomos de refrigeración comercial que se encuentran normalmente en tiendas y comercios. Sin embargo, en países del artículo 5 suele ocurrir que estos equipos se instalan en exteriores para bajar la carga calórica interior, lo que bajo condiciones de alta temperatura ambiente puede afectar su desempeño.

18. Varios países con programas consolidados de transformación de mercado fomentan la eficiencia energética con programas de rotulación y normas ecoenergéticas mínimas. Una fotografía de los programas ecoenergéticos tomada en un momento dado tenderá a entregar un cálculo más bien conservador (mayor) del costo, pero en la práctica los precios bajan a medida que se empieza a producir a mayor escala, especialmente en el caso de equipos pequeños producidos en serie, donde los fabricantes absorben rápidamente los costos de desarrollo y se esfuerzan por llegar a un nivel de precios que dé salida a los equipos.

19. El precio de venta no es un buen indicador del costo de mantener u optimizar la eficiencia energética en nuevos equipos debido al efecto de características distintas a la energía, a diferencias en la capacidad técnica del fabricante, a la variación en los precios de lista, a las diferentes estrategias de comercialización y posicionamiento de marca y a la idea de que la ecoeficiencia se puede vender como una característica “de alta gama”. Un análisis de los costos y plazos muestra que existen múltiples factores que influyen en la amortización de equipos que podrían tener un mayor costo inicial, y que la eficiencia energética tiene un límite después del cual el ahorro energético durante la vida útil del equipo deja de ser interesante. Es posible que haga falta un análisis más detallado de los costos para entender plenamente el efecto del mejoramiento ecoenergético. Este tipo de análisis es pertinente para la fijación de normas mínimas, proceso que involucra contrastar distintos niveles de eficiencia energética con una base de comparación. Estos estudios pueden tomar más de un año para cada categoría de producto.

20. Los costos de capital y operación de transitar a opciones de bajo PCA en equipos autónomos de refrigeración comercial, unidades de condensación, sistemas centralizados y distribuidos y climatizadores y bomba de calor, así como la matriz de intervenciones técnicas para mejorar la eficiencia energética y el cálculo de los costos asociados, muestran que existe una multiplicidad de factores que afectan los costos generales de transitar hacia refrigerantes alternativos de bajo PCA y una mayor eficiencia energética. Las prácticas operativas cumplen un papel importante en el rendimiento eficiente de los equipos.

21. El refrigerante representa cerca del 1% del costo total de los equipos de refrigeración y climatización. Se espera que el costo de los HFC aumente a medida que avance el proceso de reducción, lo que hará más competitivos a los refrigerantes de bajo PCA. Los compresores representan cerca del 20% del costo. Los avances técnicos pueden mejorar la eficiencia hasta en un 20%, pero el costo sube de manera proporcional. La introducción de tubos de menor diámetro ha mejorado la eficiencia de los intercambiadores de calor del tipo tubo y aleta; actualmente se observa un aumento en la adopción de intercambiadores de calor de microcanal, cuyo costo es similar o marginalmente menor (cercano al 5%), son un 5% más eficientes y reducen la carga de refrigerante en alrededor del 40%. La optimización del flujo de aire también mejora la eficiencia energética, pero la potencia y costo de los ventiladores aumentan a la par, generando una compleja relación entre costo y eficiencia energética. Otras tecnologías,

como el autolimpiado para combatir la acumulación de polvo, tienen costos marginales. A medida que nuevos estudios y economías de escala hacen bajar el costo de los componentes y de los diseños más eficientes, disminuye el costo de los equipos de mayor eficiencia. Cuando esto ocurre, a mayor eficiencia, menor será el período de amortización.

22. Además de menores costos energéticos para el consumidor, menores emisiones de CO₂ y reducción de las cargas punta, la eficiencia energética tiene una amplia variedad de beneficios complementarios, entre ellos menor morbimortalidad por pobreza energética, mayor bienestar, menores emisiones de SO_x, NO_x, de material particulado y de CO₂, y beneficios económicos directos, si bien el efecto sobre las emisiones de CO₂ varía según los entornos operativos y condiciones climáticas.

23. La adopción en distintos mercados de normas comunes de prueba y calificación permitiría a los fabricantes aprovechar las economías de escala y adelantar la disponibilidad de la tecnología. Los estados que fijen normas de prueba y rendimiento no homologables a las de sus principales proveedores o socios comerciales podrían retrasar la adopción de nuevas tecnologías ecoenergéticas, con las consiguientes desventajas económicas.

24. El presente documento no presenta información detallada sobre los costos de supervisar e informar las mejoras en materia de eficiencia energética.

25. Por último, el documento entrega la información disponible a la fecha sobre proyectos piloto de introducción de tecnologías de bajo PCA en el marco de la eliminación de HCFC. Aunque no se dispone de los resultados, se agrega una lista de los proyectos autónomos de inversión para eliminación de HFC aprobados en virtud de la decisión 78/3(g).

II. INTRODUCCIÓN A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL MARCO DE LA REDUCCIÓN DE HFC Y LA ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE BAJO Y NULO PCA

26. La orientación histórica del Protocolo de Montreal hacia la eliminación de SAO trajo consigo un incremento en la eficiencia energética de equipos y productos.¹² El Fondo Multilateral entrega financiamiento y asistencia técnica para el logro de metas de eliminación de SAO en países del artículo 5.

27. La eliminación de CFC en el sector refrigeración residencial permitió reemplazar el CFC-12 por los hidrocarburos R-600a o HFC-134a. Aunque en un inicio se utilizaron mezclas, luego se comprobó que éstas elevaban los costos energéticos, lo que llevó a que el R-600a, más ecoenergético, se convirtiera en la primera opción. El HFC-134a, de similar eficiencia energética pero mayor PCA, quedó restringido a regiones donde la inflamabilidad y la posible responsabilidad legal en caso de incidentes constituían importantes barreras de ingreso al mercado.

28. En el marco del reemplazo del CFC-12 la industria hizo grandes esfuerzos por mejorar la eficiencia energética, principalmente a través de optimizar los compresores y el diseño de sistemas. En el año 2015, el refrigerador que reflejaba las mejores prácticas a nivel mundial emitía nueve veces menos GEI que el aparato común que se vendía en los años ochenta en los países no acogidos al artículo 5. El mercado de los refrigeradores domésticos compite principalmente en función del costo y aprovecha las enormes economías de escala que ofrece la producción en masa. En términos reales, el refrigerador ecoenergético del 2015 tiene un costo menor que el modelo de los años ochenta (Figura 1).¹³

¹² Contexto que se explica en la nota al párrafo 10.

¹³ https://appliance-standards.org/sites/default/files/refrigerator_graph_Nov_2016.pdf.

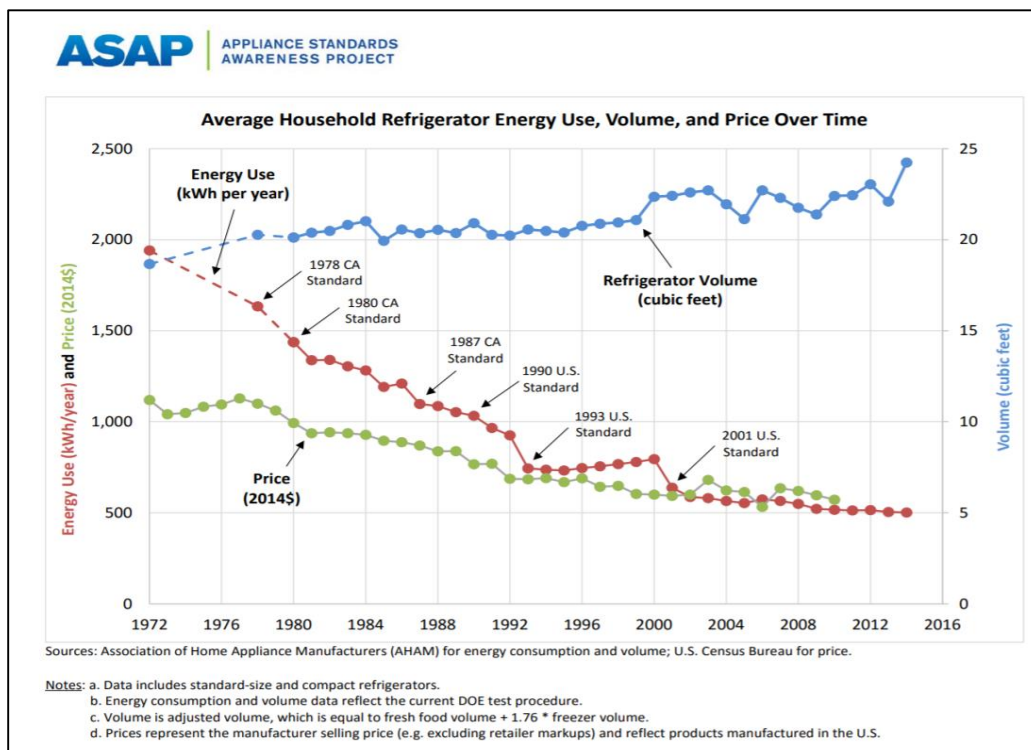


Figura 1. EE.UU.: Consumo energético, volumen y precio promedio de un refrigerador doméstico

29. Como se observa en la Figura 2, la evolución de los climatizadores unitarios en Estados Unidos a partir de los años setenta muestra mejoras constantes en eficiencia y relación costo-beneficio; de hecho, los fabricantes han logrado reducir el precio unitario reajustado de los equipos de climatización central con ductos para uso residencial (sólo el costo del equipo).¹⁴ Esto coincide con la eliminación de SAO y el endurecimiento periódico de la norma de eficiencia. Los motivos son complejos: innovación tecnológica, eficiencia productiva y factores macroeconómicos como la globalización productiva y el precio de las materias primas. El precio ajustado de los equipos no aumentó con la introducción o el endurecimiento de las normas de eficiencia y la prohibición del HCFC-22 en 2010 tampoco generó reacciones adversas.

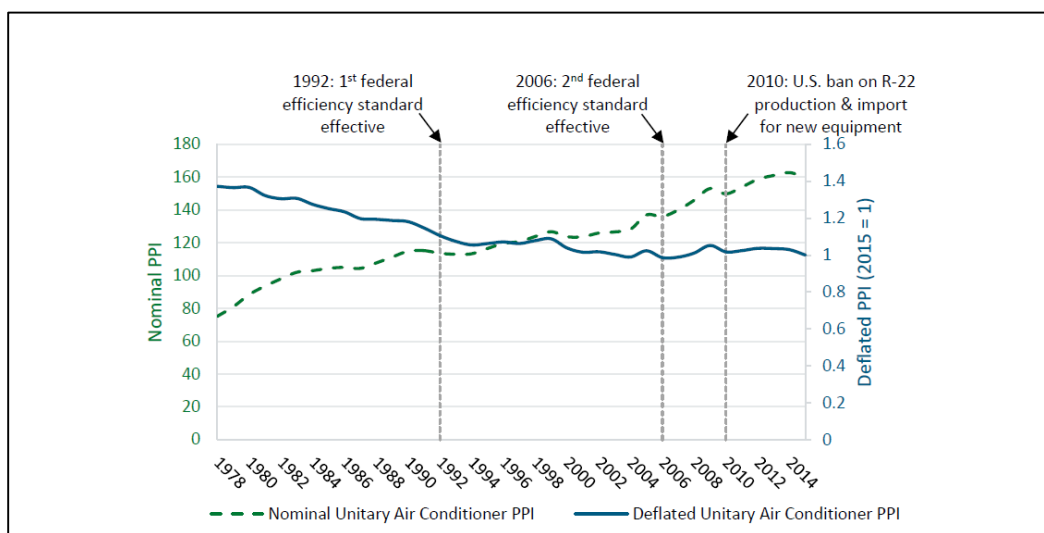


Figura 2. Costo de los equipos de climatización central residencial, 1978-2015 [Goetzler et al., 2016]

¹⁴ La línea verde punteada muestra el Índice de Precios al Productor y la azul el Índice reajustado. El reajuste se calcula dividiendo la serie del IPP por el IPC encadenado del PIB para iguales años, normalizado al año 2015.

30. A la fecha, los países del artículo 5 siguen en proceso de eliminar el HCFC-22¹⁵ y en muchos se ha introducido el HFC-32. Algunos han introducido además el R-290 por sus ventajas ecoenergéticas, si bien su inflamabilidad constituye un importante obstáculo para su uso en climatizadores residenciales.

31. El Anexo II al presente documento presenta la disponibilidad de diversas tecnologías y los rangos de normas ecoenergéticas mínimas vigentes en distintos países y regiones. Para la información presentada en los cuadros del Anexo se consideran los tres tramos de normas ecoenergéticas mínimas que se definen a continuación. Las categorías de refrigerantes se presentan como ampliamente disponibles (en negrita), disponibles (en letra normal), emergentes (en cursiva) y no disponibles (subrayado):

- a) Tramo bajo: Equipos de climatización que cumplen las normas ecoenergéticas mínimas de la región o país;
- b) Tramo medio: Equipos de climatización hasta un 10% más eficientes que la norma ecoenergética mínima; y
- c) Tramo alto: Equipos de climatización 10% o más eficientes que la norma ecoenergética mínima.

32. En países con normas ecoenergéticas mínimas, salvo algunas excepciones, los HCFC se encuentran principalmente en los tramos menos eficientes. Los HFC de alto PCA, principalmente R-410A, se encuentran disponibles para la totalidad del tramo bajo.

33. Actualmente se comercializa una amplia gama de climatizadores residenciales, con eficiencias energéticas que fluctúan de muy bajas a muy altas. El nivel de eficiencia tiene poca relación con capacidad o precio de compra [Shah et al., 2017, Kuijpers et al., 2018]. Optimizar el rendimiento de los climatizadores residenciales exige prestar atención al compresor, a la carga de refrigerante y al tamaño del intercambiador de calor. Estudios que comparan el HCFC-22 con el R-290, el HFC-32 y el HFC-161 demuestran que el índice de eficiencia energética (IEE) de un climatizador doméstico optimizado es igual o menor al 10% independientemente del tipo de refrigerante, en tanto que en sistemas no completamente optimizados la variación del IEE supera el 10%.

34. En países donde los climatizadores se usan todo el año y prácticamente a toda hora, éstos consumen casi el 70% de la generación eléctrica. El público está consciente de la carga económica que ello representa, por lo que está más dispuesto a aceptar medidas regulatorias y otras que la reduzcan a través del uso de sistemas más ecoenergéticos y de menor consumo. Ello no es el caso donde los servicios básicos son subvencionados y el costo para el consumidor es bajo, lo que desincentiva la eficiencia energética incluso en sistemas a ser instalados a futuro.

35. Otro problema son las tarifas que las empresas de servicios básicos cobran a sus clientes residenciales, comerciales e industriales. En algunos países se aplica una tarifa plana diaria que sube por tramo de consumo, sistema que funciona razonablemente bien para clientes residenciales pero que castiga a clientes comerciales e industriales que operan plantas de mayor tamaño y eficiencia -redes de frío, por ejemplo- si no se toman en consideración.

36. La rotulación de unidades y los programas energéticos son un paso adelante. La mayoría de los países cuentan con sistemas de rotulación energética para climatizadores y refrigeradores residenciales. Una de las dificultades de la rotulación y del cumplimiento de la norma en general es el proceso de pruebas y verificación que compruebe que los niveles declarados son ciertos y han sido confirmados. La Sección 4 del Informe del Equipo de Tareas del GETE entrega más antecedentes sobre rotulado y normas

¹⁵ La eliminación de HCFC-22 apunta principalmente a los sectores de fabricación y servicio técnico de climatizadores.

energéticas. Dado que estas materias no forman parte directa del alcance de la decisión, el presente documento no las aborda.

III. INTERVENCIONES TÉCNICAS PARA MANTENER Y/O MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

37. Para refrigerar o calefaccionar, los equipos y sistemas de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor consumen energía, en la mayoría de los casos eléctrica. El consumo por unidad dependerá de la carga de refrigeración/calefacción a suministrar -es decir, del nivel de servicio- y de la energía necesaria para suministrarlo. Una unidad o sistema ecoeficiente entrega igual nivel de servicio con un menor consumo de energía.¹⁶

38. La eficiencia energética se puede optimizar de mejor manera durante el diseño y fabricación del equipo, etapa en que se pueden incorporar características de ahorro energético que entreguen, entre otros, los siguientes beneficios:

- a) Reducir el consumo de energía y las emisiones de GEI durante la vida útil de los equipos;
- b) Menores costos energéticos, lo que aporta un beneficio económico al usuario final; y
- c) Reducir la demanda eléctrica máxima, potencialmente generando beneficios económicos al reducir las necesidades de generación y distribución, lo que para las empresas generadoras se traduce en menores costos de inversión, combustible y operación.

39. Por su parte, un riguroso enfoque integrado en materia de diseño y selección de equipos puede maximizar las posibilidades de optimizar la eficiencia energética. Un enfoque integrado incluye:

- a) Minimizar las cargas de refrigeración/calefacción;¹⁷
- b) Seleccionar el refrigerante más idóneo;
- c) Un diseño de sistema y componentes ecoenergéticos;
- d) Optimizar el control y operación de todas las condiciones operativas habituales; y
- e) Integrar características de diseño que faciliten el servicio y mantenimiento.

40. Las cinco condiciones anteriores se analizan en los párrafos siguientes.

Minimizar las cargas de refrigeración/calefacción

41. La eliminación o disminución de las cargas puede reducir notablemente el consumo energético, sin dejar de entregar los niveles de calefacción o refrigeración necesarios. Algunos ejemplos de medidas de disminución de la carga son:

- a) Un diseño que modere el calor durante el verano (p. ej.; protección contra la luz solar, techos de material reflectante, emplazamiento de ventanas, aislación);

¹⁶ La Agencia Internacional de Energía (AIE) define la eficiencia energética como “forma de manejar y limitar el aumento del consumo energético. Algo es ecoenergético cuando presta mayor servicio por igual energía o igual servicio por menos energía”.

¹⁷ Esto puede relacionarse directamente con un diseño y selección de equipos más ecoenergéticos, pero debe ser considerado de forma más integral por su importancia en reducir el consumo energético general.

- b) Poner puertas en las vitrinas frigoríficas comerciales;
- c) Dejar enfriar los productos calientes antes de refrigerarlos (p. ej., plantas elaboradoras de alimentos que usan torres de enfriamiento para enfriar productos cocidos);
- d) Reducir el calor generado por equipos auxiliares tales como ventiladores de evaporación, bombas de agua refrigerada o la iluminación; y
- e) Disminuir la carga de calor que generan los frigoríficos con una mejor aislación e impidiendo el ingreso de aire cálido a través de puertas abiertas.¹⁸

42. Disminuir las cargas podrá requerir una inversión extra, p. ej., en aislación, en reorientar la sombra que cae sobre las instalaciones o en poner puertas a una vitrina. Sin embargo, disminuir la carga de refrigeración puede ahorrar costos de capital al requerir sistemas de refrigeración de menor tamaño o un suministro eléctrico de menor potencia.¹⁹

Selección del refrigerante más idóneo

43. La selección de un refrigerante es una fórmula de compromiso entre beneficio ambiental, seguridad, eficiencia del ciclo termodinámico, diseño del sistema, confiabilidad y costo. El efecto del refrigerante en la eficiencia energética de una unidad generalmente no supera +/- 5 a 10%. El diseñador debe escoger el mejor refrigerante desde la perspectiva de la eficiencia, pero sin descuidar la amplia gama de las demás características de diseño. Cabe destacar que las tecnologías con mayor potencial de mejorar la eficiencia de refrigerantes de alto PCA pueden utilizarse también con refrigerantes de bajo PCA.²⁰

44. Un análisis termodinámico simplificado muestra el efecto relativo de distintos refrigerantes sobre la eficiencia energética de la unidad, permitiendo al diseñador preseleccionar sus opciones. Para una aplicación dada habrá un número limitado de refrigerantes dentro del rango del $\pm 5\%$ del rendimiento energético de la base de comparación. El análisis termodinámico es un punto de partida útil, pero es fundamental considerar además el rendimiento en la vida real; es decir, la forma en que el refrigerante interactúa con cada componente, en especial el compresor y los intercambiadores de calor. Esto se puede graficar comparando el HCFC-22 con el R-410A en climatizadores residenciales pequeños. El análisis termodinámico muestra que el HCFC-22 tiene ventajas en cuanto a eficiencia, pero la mayoría de los equipos ecoenergéticos actualmente en el mercado usan R-410A. Esto refleja el hecho de que los fabricantes abandonaron la optimización de equipos a base de HCFC-22 una vez que comenzó su eliminación en virtud del Protocolo de Montreal. En materia de eficiencia, los equipos modernos a base de R-410A incorporan diversas innovaciones que no están disponibles para el HCFC-22, haciendo su eficiencia mucho mayor. El análisis termodinámico del HFC-32 en pequeños climatizadores para edificios muestra una ventaja de alrededor del 5% respecto del R-410A.

45. En comparación con el HCFC-22, un análisis del ciclo termodinámico muestra que el coeficiente de rendimiento del propano (R-290) disminuye entre -2% y 0%, dependiendo de la temperatura de evaporación. Sin embargo, la capacidad volumétrica del R-290 es homogéneamente menor a la del HCFC-22 en alrededor del 14%. Una prueba hecha sustituyendo el HCFC-22 por R-290 mostró una mejora del 7% en el coeficiente de rendimiento y un 8% de menor capacidad, a valores nominales estándar. Esto se atribuye principalmente a las mejores propiedades de transporte del R-290. Con una ingeniería optimizada, alternativas tales como el R-290 pueden superar el rendimiento de las actuales unidades a base de HCFC-22 hasta en un 10%.

¹⁸ Reducir el tamaño. Por ejemplo, no escoger un refrigerador o congelador doméstico más grande de lo necesario.

¹⁹ Es común experimentar una reducción en el costo debido a la menor carga de refrigeración.

²⁰ Las tecnologías que generan mejoras ecoenergéticas generalmente se pueden usar con refrigerantes de bajo PCA.

46. El AREP²¹ del Instituto de Aire Acondicionado, Calefacción y Refrigeración (AHRI) generó 67-evaluaciones de refrigerantes alternativos y un estudio de referencia sobre los riesgos de los refrigerantes A2L. El rendimiento de los refrigerantes alternativos fue muy variable, dependiendo del tipo de estudio (con sucedáneos u optimización ligera), del equipo y del refrigerante de referencia. En general, las alternativas al HCFC-22 mostraron resultados en capacidad de rendimiento dentro del rango de $\pm 10\%$ pero con una eficiencia que fluctuó de -20% a -5% respecto de la base de comparación. Los alternativos de tipo R-410A mostraron una capacidad y eficiencia de $\pm 15\%$ y los de tipo R-404A una capacidad entre -20% y -5% y una optimización de la eficiencia de hasta un 10% .

47. El Departamento de Energía de los Estados Unidos de América efectuó estudios centrados en evaluar climatizadores tipo split e integrados bajo condiciones ambientales de hasta 55°C . Se demostró que, a 35°C , las alternativas fluoradas producían pérdidas del 3% al 14% en capacidad y del 11% al 16% en eficiencia. A 55°C , en tanto, las pérdidas eran del 3% al 14% en capacidad y del 7% al 15% en eficiencia. Sin embargo, a 35°C el R-290 producía una pérdida del 7% en capacidad y una optimización de la eficiencia del 11% . A 55°C , en tanto, había una pérdida de capacidad del 10% y una optimización de la eficiencia del 8% . La diferencia de capacidad del R-410A fluctuaba de -14% a 5% a 35°C y de -3% a 13% a 55°C , con diferencias en eficiencia de $\pm 5\%$ a 35°C y de hasta un 6% a 55°C .

48. Los estudios realizados a la fecha se centraron en el rendimiento de los refrigerantes alternativos de bajo PCA respecto de las tecnologías SAO y HFC de alto PCA actualmente en uso. Los estudios analizaron productos de venta en el comercio con “ligera optimización” de los dispositivos de carga y expansión. Será preciso realizar nuevos estudios sobre los efectos de la optimización total en productos nuevos utilizando alternativas de bajo PCA con modificaciones en los compresores, intercambiadores de calor y otros componentes.

49. En el caso de los equipos de climatización, los refrigerantes de inflamabilidad clase A2L y A3 presentan ciertas dificultades que exigen a los países dictar normas para su manejo.²² Los refrigerantes HFC-32 y R-290 se pueden adquirir a proveedores de todo el mundo. La demanda por R-290 se mantiene más o menos estable y está abastecida por los actuales niveles de producción. Otro tanto ocurre con el HFC-32, si bien este producto ha estado últimamente en mayor demanda. La demanda por ambos refrigerantes, sin embargo, sigue siendo menor en comparación con el R-410A.

50. En refrigeración comercial, el uso se limitaba a los refrigerantes HCFC-22, R-404A y HFC-134a. Esto está cambiando con la introducción en muchos países de unidades a base de CO_2 e hidrocarburos (R-600a o R-290) y mezclas de HFO (a base de HFO-1234yf).²³

Componentes y diseño de sistemas ecoenergéticos y optimización del control y operación

51. Los equipos de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor con compresión de vapor constan de una serie de componentes primarios (evaporador, condensador, compresor, válvula de expansión, refrigerante) y secundarios (ventiladores, bombas y torres de enfriamiento). Para maximizar la eficiencia energética es importante seleccionar un diseño de sistema que defina la disposición general del sistema y los niveles de temperatura de operación, así como componentes individuales que aporten a la eficiencia del sistema. Es posible considerar los controles como un componente más del sistema, pero para el diseñador es más útil considerar el control y operación como tema aparte. En términos de costos, por regla general se puede afirmar que las mejores tecnologías de control son las que ofrecen una estrategia de eficiencia energética con una buena relación costo-beneficio.

²¹ Programa de evaluación de refrigerantes alternativos.

²² Los refrigerantes clase A2L son de baja inflamabilidad (HFC-32); los clase A3 son de alta inflamabilidad, p. ej., hidrocarburos (HC-290, HC-600a). Los clase A2 tienen una inflamabilidad intermedia entre A2L y A3, pero su disponibilidad es aún menor.

²³ Se informa además el uso en refrigeración comercial de cantidades muy menores de refrigerantes a base de HFC.

52. Los equipos se diseñan para un punto de diseño nominal igual a la carga de refrigeración máxima durante las condiciones de mayor calor que sea dable esperar;²⁴ es decir, la condición de carga más extrema posible. En la realidad, sin embargo, la mayoría de los sistemas están expuestos al punto de diseño durante pocas horas al año. La mayor parte del tiempo la carga de refrigeración es menor cuando el clima está más templado. En un sistema bien controlado, a mayor distancia del punto de diseño, mayor eficiencia energética. Por ejemplo, en un día templado la temperatura de condensación baja, generando un incremento potencialmente importante en la eficiencia. En un sistema mal controlado esto no ocurre y la eficiencia se puede degradar en la medida en que los compresores operan a carga parcial.

53. Los siguientes ejemplos ilustran las eficiencias energéticas alcanzables con un diseño de sistemas, componentes y controles optimizados:

- a) Refrigeración a temperatura adecuada: Para maximizar la eficiencia, los sistemas de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor deben enfriar a la máxima temperatura posible. Elevar la temperatura de evaporación en apenas 1° C puede optimizar la eficiencia del 2% al 4%. Un diseño común consiste en agrupar varias cargas de refrigeración en un solo sistema de enfriamiento, aun cuando cada carga requiera una temperatura diferente. La temperatura de evaporación debe corresponder a la carga más fría, lo que hace que las más calientes se enfríen de forma ineficiente. Un diseño que separe las cargas a distintas temperaturas puede ser mucho más eficaz, pero en múltiples sistemas esto tiene un costo adicional. Otro ejemplo es el uso de agua refrigerada en un sistema de enfriamiento ambiental; a mayor temperatura, mayor eficiencia a la misma carga de refrigeración;²⁵
- b) Compresor: Los diseñadores consideran la cantidad óptima de compresores para una determinada carga. Los sistemas muy pequeños tienen siempre un compresor, pero para los de mayor formato es más eficaz utilizar varios compresores pequeños que uno grande, lo que exige buscar un equilibrio entre el costo de capital extra y el ahorro energético que se obtiene. Esto es especialmente importante para mantener la eficiencia ecoenergética a condiciones operativas de carga parcial. El compresor necesita ser optimizado para el refrigerante y rango previsto de condiciones operativas (en términos de temperaturas de evaporación y condensación). Entre dos compresores de similar tamaño y costo, la diferencia en cuanto a eficiencia puede llegar al 20%, por lo que una buena selección puede optimizar la eficiencia sin mayor diferencia de costo. Cuando la carga de refrigeración baja, por ejemplo, debido a cambios en las condiciones ambientales, el compresor necesita operar a carga parcial dado que la carga es inferior al punto de diseño nominal del sistema. En sistemas pequeños esto se logra por medio de un control de encendido y apagado y en los grandes con reguladores de carga del tipo cilindro (en compresores de pistón) o válvulas de distribución (en compresores de tornillo). Ahora bien, éstas son formas muy ineficientes de controlar una carga parcial. Recientes avances en los variadores de velocidad (p. ej., el inversor) permiten el uso de compresores de velocidad variable capaces de optimizar la eficiencia en más de un 25%;
- c) Intercambiador de calor: El diseñador debe seleccionar intercambiadores de calor con la menor diferencia práctica de temperatura a fin de optimizar las temperaturas de evaporación (lo más alta posible) y de condensación (lo más baja posible).²⁶ Hoy existen intercambiadores de calor tipo tubo y aleta con tubos de menor diámetro, lo que potencia el intercambio de calor y la eficiencia energética, aunque el diseñador debe también tomar en cuenta el efecto de la mayor caída de presión. Esto puede reducir el volumen interno del

²⁴ Los equipos se diseñan además para un punto nominal que incluye la operación a máxima eficiencia.

²⁵ Esto puede requerir un intercambiador de calor de mayor formato y costo.

²⁶ La selección del intercambiador de calor es casi siempre un proceso técnico y económico. A mayor tamaño, mayor será su efecto ecoenergético.

intercambiador, lo que posibilita reducir el volumen de refrigerante. Otra opción de diseño son los intercambiadores de calor con microcanales;

- d) **Presión del condensador:** Muchos sistemas de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor están equipados con un control de la presión de descarga que impide que la presión del condensador flote hacia abajo en días fríos, controles cuyo uso se puede eliminar o reducir con un mejor diseño. Por ejemplo, usar una válvula de expansión electrónica en lugar de una termostática permite reducir sustancialmente la posición del control de la presión de descarga, generando un posible ahorro energético cercano al 20%;
- e) **Bombas y ventiladores auxiliares:** Muchos sistemas circulan el aire frío con ventiladores y el agua refrigerada con bombas. Tradicionalmente estos eran dispositivos de velocidad fija diseñados para adecuarse a la carga de diseño nominal. Se dice que las cargas auxiliares en la zona fría de un sistema de refrigeración o climatización cuestan el doble, porque la bomba o ventilador generan calor que el sistema de refrigeración debe remover. A carga parcial, las cargas auxiliares se pueden convertir en una parte excesivamente mayor del consumo energético total. Un variador de velocidad, sin embargo, puede reducir la marcha de bombas y ventiladores a carga parcial.
- f) **Otras modificaciones de equipos, alumbrado y rediseño para operación ecoenergética:** Entre las demás intervenciones que podrían reducir la carga calórica y redundar en una operación más eficiente se cuentan el uso de vidrios antivaho, focos de menor carga calórica tipo LED, mejor flujo de aire en equipos, otras de reducción de la carga calórica (exhibidores con puerta, cortinas nocturnas, cubiertas) y control de fugas.

54. El informe del GETE informa sobre la evolución de mercado de los compresores y de otros componentes para climatizadores y equipos autónomos de refrigeración comercial, así como sobre la disponibilidad, el costo e impacto energético y la aplicación a regiones climáticas de distintos componentes relativos a la eficiencia energética para refrigerantes de medio y bajo PCA. Estos antecedentes constan en los Anexos III, IV y V, respectivamente.

El Cuadro 1 resume la optimización de la eficiencia para una serie de mejoras en el diseño de componentes a partir de un “caso base” representado por las normas mínimas europeas.

Cuadro 1. Opciones para optimizar la eficiencia y ahorro energético en base a condiciones europeas

Opción	Descripción	Optimización respecto del caso base (%) [*]	
		Min	Max
Carga en modo espera	Menores cargas en modo espera ²⁷	2	2
Compresores eficientes	Compresores rotativos de dos tiempos o de tornillo de alta eficiencia con motores DC ^{**}	6	19
Inversor/velocidad variable	Compresores accionados por inversor climatizadores ^{***} , climatizadores/DC o DC	20	≥25
Intercambiador de calor eficiente	Intercambiadores de calor de microcanales de alta eficiencia o mayor tamaño	9	29
Válvulas de expansión	Termostáticas y electrónicas	5	9
Calefacción del cárter	Requiere menos energía por menos tiempo	9	11

(*) La optimización acumulativa de la eficiencia de múltiples medidas no será igual a la suma de cada componente.

(**) DC: corriente continua

(***) climatizadores: corriente alterna

²⁷ La electricidad se usa sólo para mantener activos los controles a la espera de entrar en servicio. La carga de refrigeración generalmente no influye.

Características de diseño que faciliten el servicio y mantenimiento

55. Al momento de considerar nuevos equipos, el diseñador debe dar cuenta del aspecto servicio y mantenimiento e integrar características que garanticen la eficiencia energética durante su vida útil. Un correcto servicio y mantenimiento empieza con una correcta instalación y puesta en servicio; de lo contrario se podría reducir considerablemente la eficiencia de los equipos, generando pérdidas irre recuperables durante el resto de su vida útil. Un buen sistema de supervisión y control permitirá al operador o técnico de mantenimiento de una planta verificar el rendimiento y corregir cualquier falla que signifique mal uso de la energía. Los medidores y sensores es siempre mejor instalarlos como parte de un nuevo sistema que de forma retroactiva.

Consideraciones sobre entornos de alta temperatura ambiente

56. Los ambientes donde imperan las altas temperaturas imponen un conjunto adicional de dificultades para la selección del refrigerante, diseño del sistema y mejora potencial de la eficiencia. A alta temperatura ambiente, el diseño de sistemas capaces de mantener la eficiencia energética se ve afectado por la opción de refrigerante debido a sus propiedades termodinámicas, a las normas de seguridad exigidas por la mayor carga y a la disponibilidad y costo de los componentes. Los estudios en condiciones de alta temperatura ambiente realizados a la fecha han demostrado la capacidad de ciertas alternativas de bajo PCA para entregar resultados comparables a las actuales. Están en curso otros estudios a nivel público e iniciativas a nivel privado que se orientan a optimizar los diseños para lograr la máxima eficiencia bajo estas difíciles condiciones.

57. Una de las formas más eficaces de optimizar la eficiencia energética en condiciones de alta temperatura ambiente es aumentar el tamaño del condensador, lo que sin embargo eleva la carga de refrigerante y el costo del sistema. Es necesario analizar los efectos de la transición en cuanto a inflamabilidad, toxicidad y presiones de operación. Los órganos normativos y reglamentarios trabajan en potenciar la adopción de una nueva generación de refrigerantes alternativos de menor PCA.

58. Los compresores de velocidad variable también potencian la eficiencia energética respecto de los convencionales bajo condiciones de alta temperatura ambiente. La velocidad variable aporta ventajas donde las temperaturas oscilan ampliamente durante las 24 horas; incluso cuando la oscilación es menor, en temporada media (primavera y otoño) se logran notables ahorros. Una característica de los compresores de velocidad variable es que responden de mejor forma a la carga de enfriamiento y curva de demanda diarias del inmueble, lo que genera ahorros en relación al método menos acotado que utilizan los compresores convencionales.

59. El debate sobre la idoneidad de los refrigerantes bajo condiciones de alta temperatura ambiente llevó a la realización de pruebas a gran escala con prototipos que utilizan refrigerantes de medio y bajo PCA a temperaturas ambiente superiores a los 35° C. Esto permitió determinar que varios refrigerantes muestran una eficiencia comparable bajo condiciones de alta temperatura ambiente. En el marco de la segunda fase de PRAHA (PRAHA-II), proyecto financiado por el Fondo Multilateral, actualmente se están probando equipos optimizados con compresores e intercambiadores de calor más eficientes basados en los prototipos originales.

60. Las condiciones de alta temperatura ambiente generalmente no representan mayor problema para los equipos autónomos de refrigeración comercial que se encuentran normalmente en tiendas y comercios. Sin embargo, en países en desarrollo suele ocurrir que estos equipos se instalan en exteriores para bajar la carga calórica interior, lo que puede afectar su desempeño. La industria advierte que bajo condiciones de alta temperatura ambiente la temperatura interior es aproximadamente 5° C mayor que bajo otras condiciones (datos inéditos de Topten). Esta mayor temperatura, sin embargo, no alcanza a afectar la eficiencia energética del producto.

61. El Cuadro 1 resume distintas consideraciones sobre el efecto de la alta temperatura ambiente en la eficiencia energética.

Cuadro 1. Consideraciones sobre efectos de la alta temperatura ambiente en la eficiencia energética

Consideración	Descripción	Efecto de la alta temperatura ambiente	Medidas especiales
Selección de refrigerante	Propiedades termodinámicas y características de inflamabilidad	Cercanía a temperaturas críticas reduce la eficiencia Limitación de gran volumen de carga de refrigerante	Selección de refrigerante
Diseño del sistema	Cargas de refrigeración, temperaturas y presiones de condensación	Mayores cargas de refrigeración exigen equipos de mayor tamaño Mayores temperaturas y presiones de condensación	Probar sistema (presión de ruptura, estanqueidad, funcionalidad) considerando mayor presión operativa sin perder eficiencia
Fabricación	Diseño y construcción deben dar cuenta de la mayor presión	Condiciones que exigen diseño y componentes especiales que cumplan con las normas de eficiencia energética	Fabricantes deben mejorar constantemente su capacidad productiva y de diseño
Servicio técnico	Prácticas de servicio a mayores temperaturas y presiones	Riesgo de falla del sistema y pérdida de eficiencia	Capacitación técnica
Seguridad	Códigos	Cantidad de refrigerante por espacio ocupado debido a mayor carga de calor Limitación por aumento de la carga	Evaluación de riesgo

Dificultades para la adopción de tecnologías ecoenergéticas

62. En los sectores refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor ya existen equipos y sistemas de consumo ecoeficiente. Por ejemplo, un estudio sobre la eficiencia de distintos modelos de climatizadores reveló que los mejores modelos disponibles eran dos o tres veces más ecoenergéticos que el promedio mundial, lo que apunta al gran potencial de ahorro energético que ofrecen los equipos que ya se encuentran en el mercado. Con normas y rotulado más estrictos y otras políticas de transformación del mercado (incentivos, compras al por mayor, distinciones) es posible reducir el consumo en países donde los costos energéticos son altos.

63. Aunque no siempre es así, los productos ecoenergéticos tienden a tener un costo inicial mayor, en parte porque a veces se comercializan como productos de alta gama que ofrecen otras prestaciones además del ahorro energético,²⁸ por lo que tienden además a tener un rango de precios más amplio. Asimismo, las normas de eficiencia demasiado estrictas pueden elevar los precios sin proponérselo si no se aplican con cuidado, por ejemplo, acordando cambios graduales con los fabricantes. Para minimizar los efectos adversos de medidas de mercado tales como la dictación de normas ecoenergéticas mínimas, éstas se deben estructurar como objetivos de largo plazo con un cronograma ajustado a la marcha de la tecnología y a los ciclos de inversión del sector.

64. Las barreras a la adopción de medidas de eficiencia energética son de tipo técnico, financiero, de mercado, de información, institucionales y regulatorios, de calificación técnica y otros. Estas barreras y sus medidas de mitigación se describen a continuación.

²⁸ Un aspecto importante del costo de los productos ecoenergéticos es el alto costo de sus componentes.

Cuadro 2. Barreras a la adopción de tecnologías eficientes y formas de eliminarlas

Barrera	Descripción	Medidas de mitigación	Ejecución (años)
Técnicas	Las instalaciones que puedan evaluar, medir y verificar la eficiencia energética no existen o carecen de recursos o capacidad para satisfacer la demanda. Los fabricantes pueden no tener capacidad técnica para fabricar equipos ecoenergéticos o disponer de la propiedad intelectual necesaria para producir componentes ecoenergéticos.	Disponer instalaciones adecuadas Capacitar a fabricantes y fortalecer sus capacidades Transferir propiedad intelectual o crear empresas conjuntas o programas de investigación y desarrollo de tipo colaborativo	1-3
Financieras	El costo de producción de los equipos ecoenergéticos es generalmente mayor; sus componentes tienden a asociarse a otras prestaciones y a venderse más caros. ²⁹ La disponibilidad y costo del financiamiento juegan un papel importante.	Financiamiento a menor costo, programas de rebajas en la cuenta de servicios, compras al por mayor, clubes de compradores y otros tipos de programas de adquisición	1-2
De mercado	El comprador puede no ser el usuario, p. ej. en viviendas de alquiler. La falta de incentivos para el comprador puede ser un obstáculo para la compra de equipos ecoenergéticos.	Ofrecer incentivos a los compradores de equipos ecoenergéticos	0.5-1
De información	Usuario final desconoce la disponibilidad o beneficios de los equipos ecoeficientes o los criterios de medición son demasiado técnicos o difíciles de entender. Este tipo de barrera se puede eliminar en parte con rotulación obligatoria o voluntaria, clasificación con estrellas u otros tipos de medidas de educación y sensibilización.	Programas de rotulación obligatoria o voluntaria, campañas de sensibilización y educación	0.5-1
Institucionales o regulatorias	Falta de normas legales sobre eficiencia energética, marco regulatorio permisivo o inexistente, normas laxas o inexigibles o insuficiencia técnica para exigir el cumplimiento de las normas o la rotulación.	Dictación de normativas y marcos regulatorios adecuados, diseño de mecanismos de evaluación y verificación, fortalecimiento de las capacidades de reguladores y autoridades, armonización de normas ecoenergéticas mínimas	2-4
De calificación técnica	Los equipos ecoenergéticos usan tecnologías que exigen nuevas calificaciones técnicas. Si los técnicos carecen de ellas, es posible que no se puedan usar equipos ecoenergéticos.	Programas de capacitación del personal técnico	1-3
Otras	Percepciones erróneas sobre los productos ecoenergéticos; por ejemplo, sobre su calidad y/o mantenimiento u otros criterios de rendimiento. ³⁰	Programas de sensibilización y educación sobre los beneficios de equipos eficientes, incluyendo los ahorros a largo plazo	0.5-1

²⁹ Los estudios muestran que a mayor tiempo y escala de producción, los precios de los equipos ecoenergéticos disminuyen en la mayoría de los mercados. Sin embargo, en cualquier momento dado, dichos equipos tienden a ser más caros, incluso cuando el mercado en general tiende hacia una mayor eficiencia.

³⁰ Dado que el producto recién entra al mercado, es de “confiabilidad no comprobada” y los instaladores, clientes, etc. pueden mostrarse reticentes a aplicar la nueva tecnología.

IV. CUESTIONES RELATIVAS A LOS SOBRECOSTOS ASOCIADOS, PLAZOS DE AMORTIZACIÓN Y COSTOS DE SUPERVISIÓN Y VERIFICACIÓN

65. Los beneficios económicos de optimizar la eficiencia energética se encuentran ampliamente documentados y varían según el tipo de equipo, aplicación, clima, tiempo y factores locales tales como tasas de descuento, horas de uso, precio de la electricidad y pérdidas de transmisión y distribución.³¹

66. Los beneficios más comúnmente mencionados del mejoramiento ecoenergético son los ahorros en cuanto a energía, costo y emisiones de GEI y, para climatización de espacios, menores cargas punta. La transición a refrigerantes de bajo PCA potenciaría aún más los ahorros.³²

67. Se destacan además una menor morbilidad por pobreza energética, menor afectación de la salud, mayor bienestar, menor contaminación por SO_x, NO_x y material particulado y menores emisiones de CO₂. Se estima que estos beneficios complementarios aportan de un 75% a un 350% extra a los beneficios directos de la eficiencia en cuanto a ahorro energético.³³

Metodología de cálculo de los costos de capital y operación

68. Varios países cuentan con programas de transformación de mercado que promueven la eficiencia energética, entre ellos normas ecoenergéticas mínimas y rotulación. Por ejemplo, tanto las Normas Técnicas para Electrodomésticos y Equipos del Departamento de Energía de los Estados Unidos y los estudios preparatorios de la Directiva de Ecodiseño de la Unión Europea utilizan un análisis de ingeniería “horizontal” basado en la recopilación de datos, prueba y modelación de equipos ecoenergéticos para determinar los costos reales de fabricación (distinto del precio de venta) involucrados en optimizar la eficiencia. Este análisis “horizontal” generalmente utiliza software de diseño de uso habitual en la industria³⁴ y datos obtenidos de la prueba de equipos ecoenergéticos a fin de determinar opciones de diseño a partir de un “caso base” que representa la eficiencia baja o promedio en el mercado en cuestión. Luego, los costos de las opciones de diseño ecoenergético se analizan con expertos, fabricantes y proveedores de componentes a fin de obtener una imagen del costo de los equipos más ecoeficientes.

69. Esta metodología ofrece una fotografía de los programas ecoenergéticos en un momento dado que tenderá a entregar un cálculo más bien conservador (mayor) del costo de optimizar la eficiencia, pero en la práctica los precios bajan a medida que se empieza a producir a mayor escala, especialmente en el caso de equipos pequeños producidos en serie, donde los fabricantes absorben rápidamente los costos iniciales de desarrollo y se esfuerzan por llegar a un nivel de precios que dé salida a los equipos.

70. Si bien en menor grado, países como China y la India han desarrollado normas de eficiencia energética a través de procesos similares. Aunque esta metodología se puede utilizar generalmente para estimar el costo para el fabricante de mantener y/o mejorar la eficiencia energética en Partes acogidas y no acogidas al artículo 5 con capacidad de fabricación, lo más probable es que el costo al consumidor sea similar para todas, con el costo adicional de transporte para la Parte importadora.

Recopilación de datos

71. Debido a los derechos de patente involucrados en algunas operaciones comerciales, a nivel público hay información limitada sobre los costos de capital y operación atribuibles a la optimización de

³¹ La Administración de Información Energética de los Estados Unidos estimaba el costo promedio de construir nuevos generadores en 2016 en unos 2.000 \$EUA/kW de capacidad, es decir, más de 2.000 millones de \$EUA por cada central nueva si se consideran los costos de financiamiento. <https://www.eia.gov/electricity/generatorcosts/>.

³² Lo que se puede hacer simultáneamente con la introducción de productos ecoenergéticos.

³³ Ürge-Vorsatz et al., 2014.

³⁴ Por ejemplo, [Fridley et al. 2001] utilizaron el Modelo de diseño de bombas de calor del Oak Ridge National Laboratory (ORNL), Mark V, versión 95d [ORNL, 1996; Fischer & Rice, 1983; Fischer et al. 1988].

la eficiencia energética en equipos de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor. Más aún, una mirada a los equipos en el mercado mundial muestra una gran variación de precios a similar nivel de eficiencia, lo que revela que el precio por sí solo no es un buen indicador del costo de mantener y/o mejorar la eficiencia energética de nuevos equipos.

72. A continuación se presentan diversos ejemplos de los datos recogidos para desarrollar esta metodología.³⁵

- a) El precio de venta no basta para entender el costo de mantener y/o mejorar la eficiencia energética. La Figura 3 muestra un ejemplo de pequeños climatizadores unitarios de velocidad variable con una capacidad de refrigeración de 3.5kW y nivel de eficiencia energética de unos 4.5 vatio a vatio (W/W) (medido según factor de rendimiento anual (FRA) en China.³⁶ El precio de venta fluctúa entre 500 \$EUA y 2.000 \$EUA, una variación del 400%. Este efecto de gran variación de precios a igual nivel de eficiencia es igual para múltiples capacidades de refrigeración y niveles de eficiencia y para climatizadores tanto de velocidad fija como variable;

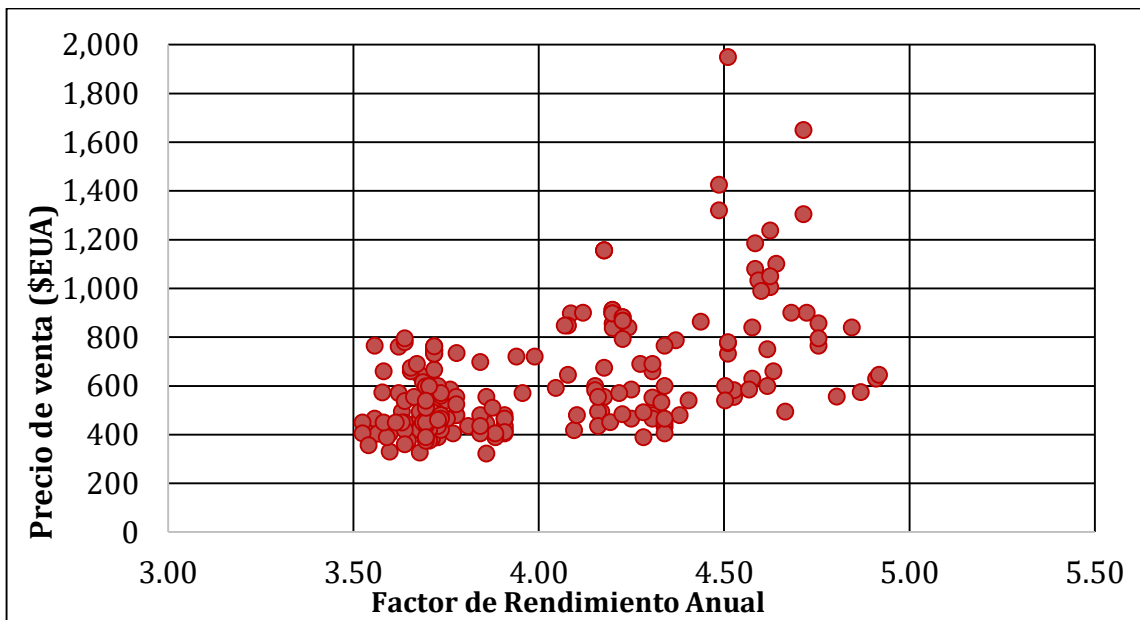


Figura 3. Precio de venta y eficiencia de climatizadores de 3.5kW tipo mini-split en el mercado chino

Fuente: Shah, Park y Gerke, 2017

- b) Un análisis del mercado japonés muestra que los climatizadores a la venta tienen un mayor rango de eficiencia energética. Aunque subyace una fuerte asociación entre eficiencia energética y precio unitario, se mantiene una amplia variación de precios a determinados niveles de eficiencia. La Figura 4 muestra la correlación entre precio y eficiencia energética para todos los modelos de 3.5 kW con refrigerante HFC-32. La tasa de aumento de precio es de unos 603 \$EUA por punto de eficiencia energética (FRA).

³⁵ La metodología de evaluación de costo que presenta el Informe del Equipo de Tareas del GETE se basa en la recopilación de los datos expuestos en el documento.

³⁶ Bases de datos IDEA del Lawrence Berkeley National Laboratory e Instituto Nacional de Normalización chino.

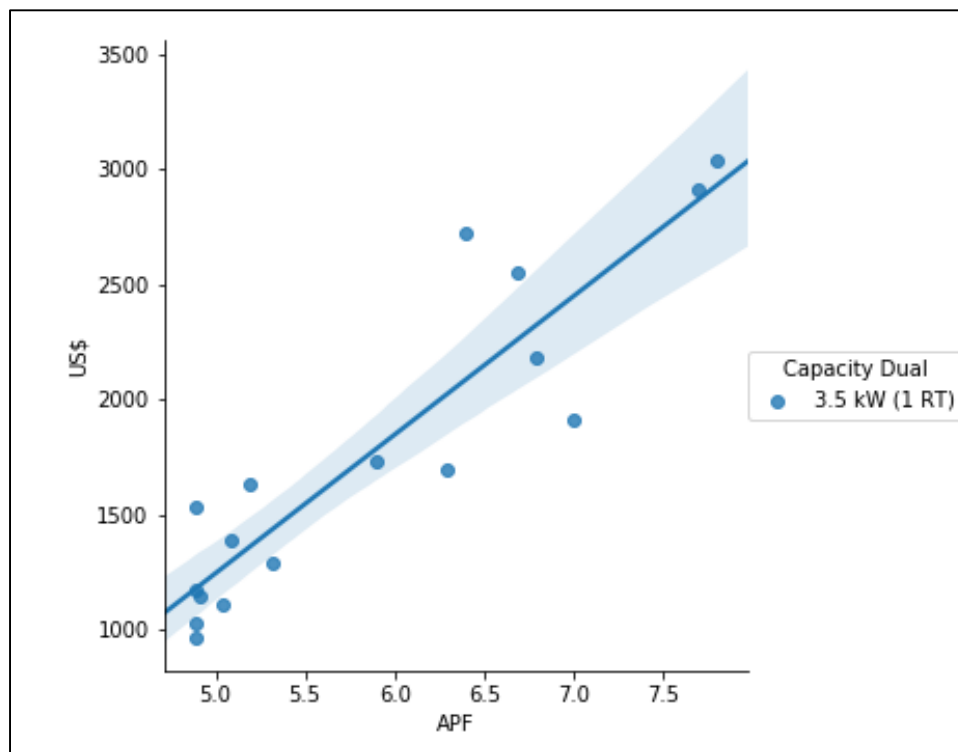


Figura 4. Precio de venta vs eficiencia energética en FRA de climatizador mini-split en el mercado japonés

- c) Ahorro energético y de costos de diversas opciones de optimización de la eficiencia: el Cuadro 3 muestra opciones de optimización de la eficiencia de diversos componentes para un climatizador mini-split de 5.27 kW, con el ahorro energético previsto respecto del caso base y los costos unitarios correspondientes para el caso de la India.

Cuadro 3. Opciones de optimización de la eficiencia, ahorro energético y costo de fabricación de un climatizador mini-split de 5.27 kW (India)

Tecnología	Ahorro energético (%)	Sobrecosto de fabricación (\$EUA) ³⁷
Compresores optimizados	5.5 - 15.0	1.43 - 12.27
Compresores de velocidad variable	21.0 - 23.0	25.67 - 115.54
Variadores de velocidad para ventiladores y compresores	26.0	44.93 - 134.79
Intercambiador de calor optimizado	7.5 - 24.0	10.48 - 156.90
Válvula de expansión	3.5 - 6.5	1.78 - 32.09

- d) Mayor precio de la eficiencia con y sin cambio de refrigerante: para una marca china, el precio de optimizar en un 13-15% la eficiencia de un climatizador de velocidad variable de 3.5 kW que utiliza R-410A aumenta en cerca de un 6%. Si se optimizan tanto la eficiencia como el refrigerante (optimización de un 5-8% y de R-410A a HFC-32), el precio aumenta en cerca de un 11%.

73. El Equipo de Tareas del GETE estimó los costos de capital adicionales que exige la fabricación de equipos que utilicen refrigerante inflamable versus los refrigerantes de referencia R-410A y HCFC-22 en equipos de climatización mini-split de hasta 10 kW (refrigeración/calefacción) y el HCFC-22 de

³⁷ 1 \$EUA = 70.11 INR.

referencia para equipos autónomos de refrigeración comercial. El Cuadro 4 resume los costos adicionales estimados de convertir a refrigerantes inflamables las líneas de producción de R-410A o HCFC-22.

Cuadro 4. Estimación del Equipo de Tareas sobre el costo adicional máximo de convertir a refrigerantes inflamables líneas de producción de R-410A o HCFC-22 (alto PCA, no inflamable)

Glosa³⁸	Descripción	Costo adicional máximo sobre refrigerantes de referencia (%)
Cambios en línea de producción o ensamblado	Intercambiadores de calor con tubos de menor tamaño y mayor eficiencia energética ^{39*}	100
	Unidades de carga de refrigerante	30
	Cambios en zona de pruebas (paneles eléctricos, accesorios de tubería)	30
	Cambios en zona de carga, incluyendo estanques para refrigerante y sus accesorios	100
	Distribución de refrigerantes al interior de la planta	100
	Mano de obra	15
Seguridad en áreas de carga y prueba	Sistemas de ventilación	30
	Sistemas de control	30
	Sistemas de detección de fugas	30
	Piso antiestático	Variable
	Sistemas de seguridad: mano de obra operación y mantención	Variable
Costo de la tecnología o propiedad industrial	Costos de propiedad industrial / tecnología	Variable
	Desarrollo de software de diseño*	Variable
	Modificaciones y cambios en instalaciones de prueba	50
	Capacitación en seguridad del personal	10
	Consultores y expertos externos*	Variable
Logística y manejo	Modificación de zona almacenamiento refrigerantes inflamables	200
	Transporte terrestre y marítimo	Variable
	Distribución de refrigerantes al interior de la planta	Variable
	Costo de seguros adicionales planta y personal	Variable
	Costo de certificación ante entes reguladores	20
	Capacitación del personal	30
	Capacitación de parte(s) jurisdiccionales	30
Sensibilización dentro y fuera de la empresa	30	

(*) Ofrecen oportunidades de mejorar la eficiencia energética (recuadros destacados).

74. El Anexo VI detalla el costo de las modificaciones y/o recambios que necesitaría el proceso productivo para fabricar equipos de climatización residencial que utilicen refrigerantes inflamables.

Costo y plazo de amortización al consumidor a distintos niveles de eficiencia

75. El Cuadro 5 muestra el costo total al consumidor (precio de venta + instalación + energía durante la vida útil del equipo) y plazo de amortización (tiempo que toma el ahorro energético en compensar el mayor costo de instalación) calculados según la metodología expuesta en un documento regulatorio del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE)⁴⁰ para cuatro niveles de eficiencia superior al caso base para un climatizador mini-split. La mayor eficiencia tiene un mayor costo instalado y menores costos totales de operación. Los datos apuntan a que, al actual nivel de desarrollo tecnológico, la

³⁸ Algunas de estas modificaciones no son necesarias en líneas de producción que manejan el refrigerante R-410A.

³⁹ Los intercambiadores de calor con tubos de menor diámetro pueden utilizar los refrigerantes R-410A y HFC-32.

⁴⁰ <https://www.regulations.gov/document?D=EERE-2014-BT-STD-0048-0098>.

eficiencia tiene un máximo a partir del cual el ahorro energético no compensa el costo instalado durante la vida útil de los equipos.

Cuadro 5. Costo instalado, costo total y amortización simple al consumidor a distintos niveles de eficiencia para climatizadores tipo mini-split (Estados Unidos de América)

IEEE (W/W)	Costos promedio 2015 (\$EUA)			Amortización simple (años)	Vida útil promedio (años)
	Costo instalado	Costo de operación	Costo total		
4.1 (base)	3.714	4.758	8.472	—	15.3
4.3	+38	-93	-55	4.5	15.3
4.4	+105	-189	-84	4.8	15.3
4.7	+259	-295	-36	8.2	15.3
5.6	+1.105	-602	+503	16.6	15.3

76. En el Cuadro 6 se desglosa el costo total de una unidad corriente de climatización de 5 kW a tres niveles de eficiencia energética en la India (2, 3 y 5 estrellas), representando aproximadamente el 90% del mercado total. El efecto del refrigerante en el costo total es mínimo (menos del 1%). El costo total de las unidades de 2, 3 y 5 estrellas es de 1.672 \$EUA, 1.704 \$EUA y 1.540 \$EUA, respectivamente. Esto indica que aunque de 2 a 5 estrellas el precio aumenta, hay un ahorro neto total de 131.22 \$EUA.

Cuadro 6. Desglose porcentual del costo total de un climatizador R-410A de 5 kW a distintos niveles de eficiencia (India)⁴¹

Estrellas	Precio sistema	Precio refrigerante	Costo de instalación	Costo energético total
2 estrellas	25,9	0,5	1,3	72,3
3 estrellas	30,9	0,5	1,3	67,4
5 estrellas	42,8	0,7	1,4	55,1

77. Para exhibidores autónomos cerrados de tipo vertical y transparente,⁴² el Cuadro 7 muestra la reducción de costos durante la vida útil del equipo⁴³ a distintos niveles de eficiencia, calculada en base a la metodología expuesta en el mencionado documento regulatorio del DOE para siete niveles de eficiencia superior al caso base, así como los correspondientes valores estimados de uso anual de energía. A mayor eficiencia mayor costo instalado, pero menor costo de operación. Los datos apuntan a que, al nivel de desarrollo tecnológico vigente al fijarse la norma (~2013-2014) se observaba una eficiencia máxima cercana a los niveles 2, 3 y 4,⁴⁴ a partir de lo cual el ahorro energético entregaría el máximo beneficio al consumidor.

Cuadro 7. Reducción de costos durante la vida útil a distintos niveles de eficiencia, calculada con metodología del DOE. Cada nivel de eficiencia corresponde a una opción de diseño posible al fijarse la norma

Nivel	Uso anual de energía, kWh	Valor promedio de:			Reducción de costos durante la vida útil			Plazo medio amortización, en años	
		Costo instalado, \$ 2012	Costo anual operación, \$ 2012	Menor costo, \$ 2012	Reducción promedio, \$ 2012	Clientes que reciben: (%)			
						Costo neto	Cero impacto		Beneficio neto
1	10.022	6.498	1.270	19.135	2.503	0,0	10,1	89,9	0,5
2	6.727	6.799	970	16.433	5.200	0,0	10,1	89,9	0,8
3	6.654	6.822	964	16.397	4.709	0,0	0,0	100	0,8

⁴¹ Conversión a tabla de la Figura 2.15 del Informe del Equipo de Tareas del GETE.

⁴² Una de las 49 categorías de que se sirve el DOE para la regulación de los equipos de refrigeración comercial.

⁴³ La metodología se explica en la sección 3.5.1 del Informe del Equipo de Tareas del GETE (septiembre de 2019).

⁴⁴ En cada ciclo regulatorio, el DOE considera distintos niveles de eficiencia correspondientes a las tecnologías, opciones de diseño y conjuntos de éstas que mejoren la eficiencia energética y que sean tecnológicamente factibles al momento de fijarse la norma.

Nivel	Uso anual de energía, kWh	Valor promedio de:			Reducción de costos durante la vida útil				Plazo medio amortización, en años
		Costo instalado, \$ 2012	Costo anual operación, \$ 2012	Menor costo, \$ 2012	Reducción promedio, \$ 2012	Clientes que reciben: (%)			
						Costo neto	Cero impacto	Beneficio neto	
4	6.318	6.974	921	16.110	4.996	0,0	0,0	100	1,0
5	6.262	7.003	917	16.105	5.001	0,0	0,0	100	1,1
6	6.174	7.073	913	16.127	4.979	0,1	0,0	99,9	1,2
7	5.857	8.909	948	18.294	2.812	10,8	0,0	89,2	4,7

Costos de capital y operación

Equipos autónomos de refrigeración comercial

La transición desde HCFC y HFC de alto PCA a opciones de bajo PCA exige invertir en fabricación y equipos, especialmente si se utilizan refrigerantes inflamables tipo A2L o A3. En general, datos obtenidos en situ indican que el mayor costo al consumidor de un sistema autónomo R-290 fluctúa de 0 a 5% respecto de uno convencional. El mayor precio, de haberlo, se puede recuperar a través del menor consumo energético.

El costo de implementar otras formas de optimización de la eficiencia fluctúa desde menor, como en el caso de las luces LED, a mayor para los compresores de velocidad variable o mayor ecoeficiencia. La amortización dependerá del costo de la electricidad en la región respectiva, pero dado que la mayoría regulan estos sistemas, la expectativa es que el mercado adopte el método que entregue la eficiencia mínima requerida al menor costo.

La transición a refrigerantes de bajo PCA optimiza los costos operativos entre 0% y 10%, dependiendo del refrigerante seleccionado. El refrigerante R-290 podría reducir el costo de la electricidad de 5% a 10% respecto del HCFC 22. Los futuros avances en materia de ventiladores y compresores de velocidad variable, luces LED y otros podrán reducir aún más el consumo energético, dependiendo del nivel de optimización previamente alcanzado.

Unidades de condensación

La transición desde HCFC y HFC de alto PCA a opciones de bajo PCA exigirá algún grado de inversión en fabricación y equipos,⁴⁵ especialmente si se utilizan refrigerantes inflamables tipo mezclas de A2L o A3. Disminuir la carga térmica con una mejor aislación, especialmente en cámaras frigoríficas y congeladores, el uso de luces LED y otras optimizaciones de la eficiencia permitirán disminuir los costos de capital iniciales y recoger utilidades durante la vida útil de los equipos. Como decíamos, el plazo de amortización es una función del costo de la electricidad y varía de región en región. La regulación cumple un papel fundamental en la adopción de equipos ecoenergéticos.

La transición desde HCFC y HFC de alto PCA a opciones de bajo PCA puede reducir o mantener los costos energéticos, dependiendo del tipo de refrigerante escogido. Disminuir la carga térmica con una mejor aislación, especialmente en cámaras frigoríficas y congeladores, así como el uso de luces LED, son ejemplos de métodos ecoenergéticos que reducen tanto el consumo como los costos de operación.

Sistemas centralizados y distribuidos

Factores de mercado han llevado a muchos sistemas centralizados y distribuidos a adoptar métodos ecoenergéticos. En el caso de sistemas R-744 en cascada subcríticos, y especialmente transcíticos, los

⁴⁵ La que no debiese ser elevada para las unidades de condensación, las que generalmente no se cargan de fábrica. Lo más probable es que requieran algunas modificaciones al diseño y agregar elementos de seguridad, etc.

costos de capital han impedido una adopción más generalizada, especialmente en climas cálidos. En un reciente estudio europeo sobre un comercio menor con diez vitrinas refrigeradas⁴⁶, se comparó un sistema distribuido R-290 con un sistema de CO₂ transcrítico. El sistema R-290 fue 5% más eficiente en base anual y tuvo un costo de capital cerca de un 25% menor. El rendimiento del sistema de CO₂ se puede mejorar con eyeectores o compresores paralelos a un mayor costo (de compra) inicial.

En el caso de sistemas R-744 en cascada subcríticos, y especialmente transcríticos, en comparación con el R-404A los costos de operación se mantienen sin variación o suben ligeramente en el caso de los transcríticos. La arquitectura R-290 se puede adecuar a un comercio menor pero es difícil de justificar en locales con sistemas de refrigeración de formato mucho mayor.

Sector aire acondicionado y bombas de calor

Hay tecnologías que muestran no incidir en los costos, tales como los intercambiadores de calor de diseño avanzado, los compresores rotativos y los compresores centrífugos de capacidad variable. Hay otras que tienen un costo adicional factible de recuperar con economías de escala, tales como intercambiadores de calor de microcanal y válvulas de expansión electrónicas, o que se mantienen como elementos de alta gama, tales como los compresores de capacidad variable para climatizadores individuales e integrados.

Estudios previos indicaban que las mezclas de HFC/HFO de bajo PCA podían fácilmente reemplazar al R-410A, manteniendo o mejorando el rendimiento de los sistemas. Sin embargo, los refrigerantes alternativos HCFC-22 de menor PCA y mezclas de los mismos no tuvieron igual rendimiento. Un estudio posterior de Shen et al. 2017⁴⁷ muestra que, optimizando la ingeniería, las alternativas superan el rendimiento de las actuales unidades a base de HCFC-22 con un incremento de la eficiencia de hasta un 10%.

El Cuadro 7 muestra un ejemplo tomado de un documento regulatorio del Departamento de Energía de los Estados Unidos respecto de los costos de capital de la mayor eficiencia para cuatro niveles de ecoeficiencia en un climatizador tipo mini-split para la totalidad del sector en Estados Unidos.

Cuadro 7. Costos de capital sectoriales de la conversión para varios niveles de ecoeficiencia (2015)⁴⁸

IEEE (W/W)	Costos de capital de la conversión (millones \$EUA)	Ventas ⁴⁹ (millones de unidades/año)
4.2	61.0	6.5
4.4	205.6	6.5
4.7	337.9	6.5
5.6	373.0	6.5

Matriz de intervenciones técnicas en eficiencia energética y costos asociados

El Cuadro 8 resume la matriz de intervenciones técnicas para optimizar la eficiencia energética y los costos asociados.

⁴⁶ <http://www.emersonclimate.com/europe/en-cu/About-Us/News/Documents/FFR196-Emerson-Fact-sheet-Integral-Display-Case-Technology-EN-1711.pdf>

⁴⁷ Shen B, Abdelaziz O, Shrestha S, Elatar A. 2017 "Model-based optimization of packaged rooftop air conditioners using low GWP refrigerants." International Journal of Refrigeration, ISSN 0140-7007, en <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.10.028>. Consultado el 12 de mayo de 2018.

⁴⁸ Los niveles de prueba estándar 1, 2, 3 y 4 corresponden a un índice de eficiencia energética estacional de 14,5, 15,0, 16,0 y 19,0 BTU/hr/W, respectivamente, para climatizadores tipo mini-split de 2 toneladas. Estos niveles se definieron de forma diferenciada para cada categoría de producto (Fuente: Departamento de Energía, 2016).

⁴⁹ Los embarques totales para 2015 incluyen todo tipo de climatizadores centrales y sistemas de bomba de calor vendidos en los Estados Unidos de América.

Cuadro 8. Optimización de la eficiencia energética y costos asociados: Resumen de matriz de intervenciones técnicas

Equipo	Elementos de la base de comparación	Intervención	Mejoramiento ecoenergético	Costo asociado
Todos	Temperatura de evaporación	Optimizar	2–4% por cada incremento de 1° C	Bajo
Todos	Controles	Optimizar	10–50%	Bajo a medio
Climatizadores residenciales	Intercambiadores de calor	Agrandar o utilizar diseño avanzado (tubos de diámetro menor o intercambiadores de microcanal)	9–29%	Bajo a medio
	Compresores	Compresores rotativos de dos tiempos, compresores de tornillo de alta eficiencia con motores DC	5–19%	Medio
		Compresores climatizadores, climatizadores/DC o DC accionados por inversor	20–30%	Medio
	Válvulas de expansión	Termostáticas o electrónicas	5–9%	Bajo
	Carga en modo espera	Reducir	2%	Bajo
Climatizadores integrados y de gran formato	Compresores	Utilizar múltiples compresores para optimizar rendimiento a carga parcial	Hasta un 20%	Medio
	Compresores	Utilizar compresores climatizadores, climatizadores/DC o DC accionados por inversor	20–30%	Medio–alto
	Intercambiadores de calor	Agrandar o utilizar diseño avanzado (tubos de diámetro menor o intercambiadores de microcanal)	9–29%	Bajo
	Calefacción del cárter	Optimizar	9–11%	0
	-	Detección y diagnóstico de fallas	Hasta un 30%	Bajo
Refrigeración comercial	Control de presión del condensador	Minimizar control de presión de descarga (cambiando las válvulas de expansión termostáticas por electrónicas)	Hasta un 20%	Bajo
	Compresores	Control de velocidad variable o controles ecoenergéticos de capacidad variable	Hasta un 25%	Medio
	Ventiladores y bombas auxiliares	Controles de velocidad variable	Hasta un 10%	Bajo
	Otros controles	Desecongelmiento a voluntad y ajustar controles de presión de succión	Hasta un 10%	Bajo
	Calefacción del cárter	Optimizar	9–11%	0

V. BENEFICIOS AMBIENTALES EN TÉRMINOS DE CO₂ EQUIVALENTE

78. Mientras la Enmienda de Kigali se centra en los refrigerantes ecoenergéticos,⁵⁰ en paralelo la industria continúa desplegando esfuerzos para optimizar la eficiencia energética a través del rediseño de sistemas y de un mejor diseño constructivo que reduzca las cargas. Estas acciones reducirán la carga y las emisiones de refrigerante en sistemas de climatización.

⁵⁰ En el marco de la reducción de los HFC.

Efecto de las emisiones indirectas sobre la eficiencia energética

79. Para estimar las emisiones totales de un sistema existen varias metodologías. Las más comunes son el efecto de calentamiento total equivalente⁵¹ y la repercusión climática durante el ciclo de vida, las que intentan cuantificar el efecto sobre el calentamiento del planeta a través de evaluar los sistemas de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor durante la totalidad de su vida útil.

80. El mayor potencial de mejoramiento ecoenergético radica en optimizar el diseño y los componentes, medidas que pueden mejorar la eficiencia⁵² de un 10% a un 70%, en contraste con 5-10% en el caso de la mayoría de los refrigerantes. Calcular las emisiones totales a nivel país o región exigiría una serie de pasos y supuestos -vida útil del producto, opción de refrigerante, fugas- que trascienden las consideraciones de los beneficios ambientales de la eficiencia energética, los que pueden variar en un factor de 1.000 según horas de uso y el factor emisiones producidas por la generación eléctrica.

81. Calcular los beneficios ambientales de la eficiencia energética en términos de CO₂ equivalente involucra los siguientes tres pasos:

- a) Determinar el tipo de equipo (p. ej., climatizador tipo split sin ducto de 3.5 kW de capacidad), identificar el consumo de la unidad de comparación como función del mercado actual en el país o territorio o las unidades fabricadas en una determinada planta, y determinar el mejoramiento ecoenergético a evaluar;
- b) Calcular el ahorro energético del modelo más ecoeficiente como función del consumo de la unidad de comparación y horas de uso, factor este último que fluctúa notablemente según el país, el clima y la aplicación. En ciertos casos, la norma nacional considera las horas de uso en la medición (por ejemplo, el índice de eficiencia energética estacional de la India se define sobre la base de 1.600 horas al año), aunque una instalación o mantenimiento incorrectos pueden reducir el rendimiento energético real. Dado que la optimización de la eficiencia se compara con una unidad base, este método asume que la degradación del rendimiento por mala instalación o mantenimiento o por altas temperaturas tendría un efecto comparable sobre la unidad de comparación, por lo que el ahorro energético relativo se mantiene. Si las horas de uso de la unidad más ecoeficiente aumentan debido a un menor costo de la electricidad, en lo que constituye una especie de “efecto rebote”, el ahorro energético se vería reducido;
- c) Convertir el ahorro energético a CO₂ equivalente, multiplicando por el factor de emisiones de la generación eléctrica para el uso final. Los climatizadores tienden a utilizarse durante las horas de mayor calor y a coincidir con los períodos de mayor demanda eléctrica, motivo por el cual podría ser más preciso usar factores de “emisión marginal”, los que representan la intensidad de carbono de la generación eléctrica necesaria para satisfacer la demanda punta. Que la intensidad de carbono de la generación marginal sea mayor o menor al factor de emisión anual dependerá de la estructura de la red eléctrica del país. Sin embargo, a medida que se inyecta más capacidad renovable, la tendencia es hacia un menor factor de emisiones marginales.

82. En el sector refrigeración residencial, el ahorro por concepto de eficiencia energética en aparatos electrodomésticos fluctúa del 55% a casi el 70% con las tecnologías actualmente existentes. Se supone en

⁵¹ A veces el cálculo del efecto de calentamiento total equivalente (TEWI) se simplifica si no se consideran todos los efectos, entre ellos la fabricación del refrigerante y los equipos y la eliminación del refrigerante y de equipos descartados, aunque el efecto de estos elementos podría ser menor.

⁵² El mejoramiento ecoenergético a que se refiere este informe contrasta la energía que requiere un mejor diseño con una base de comparación. Por ejemplo, si el Sistema A utiliza 10 unidades de energía y el Sistema B utiliza 8, hay una optimización de la eficiencia del 20%.

este caso que los refrigeradores funcionan las 24 horas y que las altas temperaturas ambiente no afectan su rendimiento, dado que se emplazan en interiores bajo temperatura controlada.

83. En el caso de la refrigeración comercial existe un alto potencial de ahorro energético. En algunos casos, como por ejemplo los congeladores y enfriadores sin y con puertas, el ahorro puede fluctuar entre el 70 y el 80%. En el caso de los congeladores de helados, el consumo energético se midió a 25° C y 31° C. El aumento fue de un 13% a mayor temperatura ambiente, mucho menor que el de un congelador vertical ineficiente. Esto muestra que, en condiciones de alta temperatura ambiente, el tipo de aparato que se escoja es fundamental.

84. El Cuadro 8 resume el ahorro energético en kWh/año para determinadas horas de uso de climatizadores residenciales y la eficiencia energética a determinados niveles (10-20% mayor eficiencia y 40-50% eficiencia máxima respecto del consumo de la unidad base).

Cuadro 8. Ahorro energético en climatizadores residenciales

Caso*	Consumo y eficiencia de unidad base por producto específico				Ahorro unitario en modelos ecoeficientes		
	Horas uso/año	Tipo de unidad y capacidad (kW)	Consumo unidad base (kWh/año)	Mayor eficiencia	Máxima eficiencia	Mayor eficiencia (kWh/año)	Máxima eficiencia (kWh/año)
Caso muy bajo a (horas muy bajas, factor emisión eléctrica muy bajo)	350	Unidad tipo split / 3-4 kW	266	20%	50%	53	133
Caso bajo b (horas bajas, factor emisión eléctrica bajo)	1.200	Unidad tipo split / 3.5 kW	1.355	20%	50%	271	678
Horas altas c (horas altas, factor emisión eléctrica medio)	2.880	Unidad tipo split / 3.5 kW	2.965	10%	40%	297	1186
Factor emisión alto d (horas medias, factor emisión eléctrica alto)	1.600	Unidad tipo split / 5.275 kW	1.300	10%	40%	130	520
Caso máximo e (horas altas, factor emisión eléctrica alto)	2.880	Unidad tipo split / 5.275 kW	5.759	25%	40%	1.440	2.304

(*). Cinco casos representativos de situaciones reales para distintos factores de emisión y zonas climáticas del mundo.⁵³

a Horas de refrigeración en Europa (Topten.eu); consumo energético unitario tomado de Topten.eu con equipos ineficientes (266 kWh/año) y de máxima eficiencia (122 kWh/año).

b Horas de uso y consumo energético de climatizador base tomados de evaluación país realizada por Unidos por la Eficiencia para Argentina (diciembre de 2016); porcentaje de mejoramiento tomado de Topten.eu.

c Horas de uso y consumo energético de climatizador base tomados de evaluación país realizada por Unidos por la Eficiencia para Tailandia (diciembre de 2016); porcentaje de mejoramiento tomado de los ejemplos 3 y 5 estrellas del BEE de la India y del factor de emisión para Tailandia.

d Horas de uso y consumo energético de climatizador base tomados de la norma ISEER y nivel una (1) estrella del BEE de la India; porcentaje de mejoramiento tomado de los ejemplos 3 y 5 estrellas del BEE de la India.

e Ocho horas de uso durante 360 días; IEE de unidad base de 2.6 W/W convertido a consumo energético dividiendo capacidad por IEE y multiplicando por horas de uso; medio = IEE de 3.5; máximo = IEE de 4.5.

85. El Cuadro 9 muestra el ahorro energético para una bomba de calor en cuatro casos representativos de situaciones reales en distintas zonas climáticas del mundo.

⁵³ El efecto de las emisiones de CO₂ consta en el Informe del Equipo de Tareas del GETE.

Cuadro 9. Ahorro energético de una bomba de calor

Caso*	Consumo energético unitario								Mayor eficiencia (%)
	Caso base				Mejor tecnología disponible				
	Bomba de calor (GJ)	Respaldo eléctrico (GJ)	Total (GJ)	Total (kWh/a)	Bomba de calor (GJ)	Respaldo eléctrico (GJ)	Total (GJ)	Total (kWh/a)	
Clima frío; factor de emisión bajo	12.31	7.97	20.28	5.633	12.62	2.6	15.22	4.228	25
Clima frío; factor de emisión medio	12.31	7.97	20.28	5.633	12.62	2.6	15.22	4.228	25
Clima cálido; factor emisión medio	3.23	0.336	3.566	991	2.95	0.104	3.054	848	14
Clima templado; factor emisión alto	8.08	2.48	10.56	2.933	6.42	0.4	6.82	1.894	35

(*) Cuatro casos representativos de situaciones reales para distintos factores de emisión y zonas climáticas del mundo.⁵⁴

86. En el caso del aire acondicionado vehicular, un informe sobre normas de uso eficiente de combustibles para ciertos vehículos de pasajeros que otorga reconocimiento al uso de sistemas ecoeficientes señala que el efecto sobre las emisiones de GEI es un indicador de beneficio potencial. El rango fluctúa entre 0.9 y 6.1 gramos de CO₂ equivalente/km.

VI. PROYECTOS PILOTO PARA LA INTRODUCCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE BAJO PCA Y PROYECTOS AUTÓNOMOS DE INVERSIÓN RELATIVA A LOS HFC

87. En las 74^a, 75^a y 76^a reuniones el Comité Ejecutivo aprobó tres estudios de factibilidad para redes de frío⁵⁵ y 17 proyectos piloto de tecnologías de bajo PCA en virtud de las decisiones XXV/5 y 72/40.⁵⁶

88. El Cuadro 10 resume los resultados ecoenergéticos de los proyectos piloto aprobados en virtud de la decisión 72/40, excepción hecha del sector servicio técnico de equipos de refrigeración.

Cuadro 10. Introducción de tecnologías de bajo PCA: estudios de factibilidad y proyectos piloto

País	Título del Proyecto (código)	Fondos (\$EUA)*	Reunión N°	Avance de la ejecución
Subsector refrigeración, climatización y ensamblaje				
China	Demostración de compresores de tornillo semiherméticos con convertidor de frecuencia a base de amoníaco, sector refrigeración industrial y comercial - Fujian Snowman Co. Ltd. (CPR/REF/76/DEM/573)	1.026.815	82	El informe señala que el CdR ⁵⁷ del nuevo sistema diseñado en el proyecto con capacidades de refrigeración de 56,7 kW, 167,1 kW y 216,3 kW es de 1,57, 1,63 y 2,94, respectivamente.
Colombia	Demostración de HC-290 (propano) como refrigerante alternativo en la fabricación de equipos comerciales de	500.000	81	El informe señala que una unidad R-290 5-TR ⁵⁸ tipo split (compresor de tornillo R-290) consume 13,1% menos energía (kWh) que una unidad R-410A similar.

⁵⁴ El efecto de las emisiones de CO₂ consta en el Informe del GETE. Los datos en gigajoules (GJ) se refieren a consumo anual.

⁵⁵ En República Dominicana, Egipto y Kuwait.

⁵⁶ Incluye siete proyectos en el subsector refrigeración, climatización y ensamblaje (China, Colombia, Costa Rica, Kuwait, Arabia Saudita (dos), uno global (Argentina y Túnez) y otro regional (Asia Occidental); seis en el sector espuma (Colombia, Egipto, Marruecos, Arabia Saudita, Sudáfrica y Tailandia) y tres en el sector servicio técnico de equipos de refrigeración (Maldivas, Europa y Asia Central y un proyecto mundial (África Oriental y el Caribe).

⁵⁷ Coeficiente de rendimiento.

⁵⁸ Toneladas de refrigeración.

País	Título del Proyecto (código)	Fondos (\$EUA)*	Reunión N°	Avance de la ejecución
	climatización - Industrias Thermotar Ltd. (COL/REF/75/DEM/97)			
Costa Rica	Demostración de aplicación de sistema de refrigeración con amoníaco/dióxido de carbono en reemplazo del HCFC-22 para medianos productores y tienda de venta al público - Premezclas Industriales S.A. (COS/REF/76/DEM/55)	524.000	82	El informe final indica que la comparación de las cuentas promedio para los meses de octubre/noviembre de 2017 (antes de instalar el nuevo sistema de refrigeración) y de enero/febrero de 2018 (después de instalarlo) muestra una baja promedio del 10,23%. Se espera una reducción del consumo del 20% una vez que el sistema se estabilice y se apliquen mejores prácticas operativas.
Arabia Saudita	Proyecto piloto con fabricantes para desarrollar climatizadores de ventana e integrados que usan refrigerantes de bajo PCA (SAU/REF/76/DEM/29)	1.300.000	83	Los resultados muestran un mayor IEE de HFC-32 y R-290 respecto del R-410A a 52° C; el IEE baja para todos los refrigerantes cuando la temperatura exterior aumenta de 35 a 52° C.
Arabia Saudita	Proyecto piloto para promover el uso de refrigerantes HFO de bajo PCA en el sector climatización en lugares de altas temperaturas ambiente (SAU/REF/76/DEM/28)	796.400	--	Se espera informe final durante la 85ª reunión.
Regional (Asia Occidental), PRAHA-II	Fomento del uso de refrigerantes alternativos en países del Asia Occidental de alta temperatura ambiente (PRAHA-II) (ASP/REF/76/DEM/59 y 60)	700.000	--	Se espera informe final durante la 84ª reunión.
Sector espuma				
Colombia	Proyecto piloto para validar el uso de hidrofluoroolefinas para paneles discontinuos en países del artículo 5 por medio del desarrollo de formulaciones económicas (COL/FOA/76/DEM/100)	248.380	81	Aunque la eficiencia energética no se informa directamente, los resultados muestran que las formulaciones a base de HFO-1233zd(E) y HFO-1336mzz(Z) y agua tienen niveles de conductividad térmica similares a las formulaciones a base de HCFC-141b.
Egipto	Demostración de opciones de bajo costo para conversión a tecnologías libres de SAO en microusuarios de espumas de poliuretano (EGY/FOA/76/DEM/129)	295.000	83	El informe no proporcionó información sobre la eficiencia energética de los equipos. Se presenta informe actualizado a la 84ª reunión.
Marruecos	Demostración del uso de pentano como agente espumante de bajo costo para la conversión de PYMES de espuma de poliuretano a tecnologías libres de SAO (MOR/FOA/75/DEM/74)	280.500	--	
Arabia Saudita	Demostración de la eliminación de HCFC mediante el uso de HFO como agente espumante en aplicaciones de espuma	96.250	--	Se espera informe final durante la 84ª reunión.

País	Título del Proyecto (código)	Fondos (\$EUA)*	Reunión N°	Avance de la ejecución
	pulverizada en lugares con elevadas temperaturas ambiente (SAU/FOA/76/DEM/27)			
Sudáfrica	Demostración de ventajas técnicas y económicas de la inyección en vacío en planta de paneles discontinuos convertida de HCFC-141b a pentano (SOA/FOA/76/DEM/09)	222.200	81	Aunque la eficiencia energética no se informa directamente, los resultados muestran niveles de conductividad térmica comparables a los del HCFC-141b.
Tailandia	Proyecto de demostración en proveedores de sistemas para espumas para formular poliols premezclados para aplicaciones de espumas de poliuretano pulverizado utilizando agente espumante de bajo PCA (THA/FOA/76/DEM/168)	352.550	83	Aunque la eficiencia energética no se informa directamente, los resultados muestran que las formulaciones a base de HFO-1233zd(E) y HFO-1336mzz(Z) y agua tienen niveles de conductividad térmica marginalmente mayores. Esto podría cambiar en la medida en que se optimicen las formulaciones.
Estudios de factibilidad para redes de frío				
República Dominicana	Estudio de factibilidad para redes de frío en Punta Cana (DOM/REF/74/TAS/57)	91.743	81	Aunque el beneficio fundamental del proyecto era la eficiencia energética, no hay información disponible sobre mejoría en este sentido.**
Egipto	Estudio de factibilidad para redes de frío en Nueva El Cairo (EGY/REF/75/TAS/127 y 128)	27.223	82	El informe contiene la factibilidad técnica y económica de la configuración de redes de frío y el cálculo de los retornos. No hay información disponible sobre mejorías en eficiencia energética.**
Kuwait	Estudio de factibilidad comparando tres tecnologías sustitutivas para uso en climatización central (KUW/REF/75/TAS/28 y 29)	27.223	82	El informe contiene la factibilidad técnica y económica de la configuración de redes de frío y el cálculo de los retornos. No hay información disponible sobre mejorías en eficiencia energética.**

* No incluye preparación de proyectos ni gastos de apoyo.

** El Informe del Equipo de Tareas del GETE señala que, respecto de sistemas de climatización convencionales, las redes de frío disminuyen la demanda energética entre un 55% y un 62% y consumen 40-50% menos energía.

89. El Cuadro 11 muestra los diez proyectos autónomos de inversión relativa a los HFC aprobados a la fecha. Aunque al informe final debía adjuntarse un informe sobre el rendimiento energético de los equipos rediseñados, a la fecha los resultados de estos proyectos no están disponibles.

Cuadro 11. Proyectos autónomos de inversión relativa a los HFC aprobados a la fecha

País	Organismo	Título
Argentina	ONUDI	Conversión para la sustitución del HFC-134a por refrigerante a base de isobutano (R-600a)/propano (R-290) en la fabricación de equipos de refrigeración residencial y comercial en Briket, Bambi y Mabe-Kronen
Bangladesh	PNUD	Conversión del HFC-134a a refrigerante a base de isobutano en la fabricación de refrigeradores domésticos; conversión de compresor de pistón de HFC-134a a compresor ecoenergético a base de isobutano en Walton Hi-Tech Industries Limited
China	PNUD	Conversión de C5+HFC-245fa a C5+HFO en fabricante de equipos de refrigeración doméstica Hisense Kelon
República Dominicana	PNUD/Canadá	Conversión de línea de fabricación de refrigeradores comerciales de HFC-134a y R-404A a refrigerante a base de propano (R-290) en

País	Organismo	Título
		Fábrica de Refrigeradores Comerciales SRL (FARCO)
Jordania	ONUDI	Conversión de HFC (HFC-134a, R-407C, R-410A) a propano (R-290) en fábrica de grandes climatizadores unitarios comerciales de azotea de hasta 400 kW en Petra Engineering Industries Co.
Líbano	ONUDI	Conversión de HFC-134a y R-404A a R-600a y R-290 en equipos de refrigeración residencial fabricados en Lematic Industries
México	ONUDI	Conversión en dos plantas de la producción de refrigeradores comerciales desde refrigerantes a base de HFC-134a y R-404A a isobutano (R-600a) y propano (R-290) - Imbera
México	PNUD/Canadá	Conversión de refrigerante HFC-134a a isobutano (R-600a) en fábrica de refrigeradores domésticos y de fábrica de compresores de HFC-134a a isobutano - Mabe México
Tailandia	BIRF	Conversión de HFC a propano (R-290) e isobutano (R-600a) en la fabricación de aparatos de refrigeración comercial - Pattana Intercool Co. Ltd.
Zimbabwe	PNUD/ Francia	Conversión de HFC-134a a isobutano en la fabricación de refrigeradores residenciales en Capri (PYME de Harare)

Recomendación

90. El Comité Ejecutivo podrá estimar oportuno someter a consideración el resumen actualizado del Informe del Grupo de evaluación tecnológica y económica sobre asuntos relacionados con la eficiencia energética en lo que respecta a las cuestiones mencionadas en la decisión 82/83(e) (decisión 83/64), recogido en el presente documento UNEP/OzL.Pro/ExCom/84/69, durante las deliberaciones en torno a formas de llevar a la práctica los párrafos 22 de la decisión XXVIII/2 y 5 y 6 de la decisión XXX/5.

Anexo I

GLOSARIO DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN EL PRESENTE DOCUMENTO

FRA: Factor de Rendimiento Anual (véase Índice de eficiencia energética estacional).

Coefficiente de Rendimiento (CdR): Para una bomba de calor, refrigerador o aire acondicionado, razón de calefacción o refrigeración útil a trabajo requerido. A mayor CdR, menores costos de operación.

Capacidad de refrigeración: Medida de la capacidad de un sistema de extraer calor. Se mide en kW, Btu/h o tonelada de refrigeración (RT), donde $1 \text{ RT} = 3.5 \text{ kW} = 12.000 \text{ Btu/h}$.

Carga refrigeración/calefacción: Cantidad de energía necesaria para calentar o enfriar a un determinado nivel de servicio. En un edificio, una mejor aislación permite disminuir la carga de calefacción o refrigeración y mantener el mismo nivel de comodidad para el ocupante.

Coefficiente de Rendimiento (CdR): Razón capacidad de refrigeración a consumo energético de un sistema. El CdR se utiliza además en bombas de calor, en cuyo caso se define como la razón capacidad de calefacción a consumo energético del sistema.

CSPF: Factor de rendimiento estacional de la refrigeración (véase Índice de eficiencia energética estacional).

Eficiencia del diseño: Rendimiento energético de los equipos según diseño o configuración. Equivale a la eficiencia nominal.

Eficiencia energética: Atributo de un dispositivo o proceso; puede ser alta o baja.

Índice de eficiencia energética (IEE): Coeficiente salida de refrigeración dividida por la entrada de energía eléctrica, medida a carga plena (a la capacidad de refrigeración o punto de diseño máximo). Se mide en W/W o Btu/h/W ($1 \text{ W} = 3.412 \text{ Btu/h}$).

Rendimiento energético: Cantidad de energía que consume un equipo o sistema para prestar un determinado nivel de servicio. El mejoramiento ecoenergético a que se refiere este informe contrasta la energía que requiere un mejor diseño con una base de comparación. Por ejemplo, si el Sistema A utiliza 10 unidades de energía y el Sistema B utiliza 8, hay una optimización de la eficiencia del 20%.

HSPF: Factor de rendimiento estacional de la calefacción (véase Índice de eficiencia energética estacional).

Eficiencia instalada: El rendimiento energético del equipo instalado.

ISEER: Índice de eficiencia energética estacional de la India.

Kilovatio-hora (kWh): Medida de electricidad definida como una unidad de trabajo o energía, medida como 1 kilovatio (1.000 vatios) de potencia empleada durante una hora. Un kWh equivale a 3.412 unidades térmicas británicas (Btu) o 3,6 MJ.

Costo de fabricación: Costo de fabricar los equipos.

Millones de toneladas de petróleo equivalente (Mtoe): $1 \text{ Mtoe} = 11.630 \text{ millones de kWh}$.

Punto de diseño nominal: Conjunto de condiciones (p. ej., temperatura interior y exterior) consideradas en el diseño de un sistema.

Costo de operación: Costo para el usuario de operar un equipo.

Operación a carga parcial: Condición en que la carga del sistema cae por debajo de la carga nominal (el diseño de un sistema se basa en condiciones nominales). Los sistemas de refrigeración, aire acondicionado y bomba de calor generalmente operan a carga parcial durante la mayor parte de su vida útil.

Carga punta: Máxima demanda eléctrica que enfrenta una red eléctrica en un período determinado.

Optimización ecoenergética porcentual: Variación porcentual en el consumo de una unidad ecoenergética en comparación con una unidad base.

Tonelada de refrigeración (RT): Medida de capacidad de refrigeración, donde 1 tonelada se refiere a 12.000 Btu, equivalente a la energía necesaria para congelar 2.000 libras de agua en 24 horas. 1 RT = 3,52 KW.

Precio de venta: Precio de comprar un equipo.

Índice de eficiencia energética estacional (IEEE): Coeficiente salida de refrigeración dividida por la entrada de energía eléctrica, medida a carga plena y parcial y ponderada para representar el rendimiento general de un aparato en el clima de que se trate durante una estación de refrigeración normal en un país dado. También llamado **Factor de rendimiento estacional de la refrigeración** o **Factor de rendimiento estacional de la calefacción**. El **Factor de Rendimiento Anual (FRA)** es un criterio de medición utilizado para bombas de calor reversibles que enfrían y calefaccionan.

Consumo energético unitario: Cantidad de energía que consume un equipo, generalmente durante un año.

Variador de velocidad: Tipo de controlador que acciona un motor eléctrico por medio de variar la frecuencia y voltaje, también denominado inversor.

Annex II

AVAILABILITY OF AIR-CONDITIONERS OPERATING WITH DIFFERENT REFRIGERANTS AND AT DIFFERENT EE LEVELS

Table 1: Availability of technology options for AC: Energy Efficiency vs. refrigerants - Low Tier

Low Tier Energy Efficiency Meeting MEPS	Regions	HCFC	High-GWP HFC	Medium and low GWP
	Australia & New Zealand (ANZ)	<u>Aus. & NZ: Not Available</u>	45% of the market is R-410A in the low and mid-tier efficiency ranges	53% of the market is HFC-32 units more weighted towards the higher efficiency tiers 1% of the market is HC-290 in the low tier
	Oceania & PIC	Around 5% of the market	Papua New Guinea / Fiji/ Solomon Islands: R-410A imports from ANZ in the low and mid tiers	HFC-32 becoming prevalent in line with trend in ANZ
	Japan	<u>Japan: Not Available</u>	Japan: Units available for export only Regulation does not support equipment development with high-GWP HFCs	Japan: HFC-32 units are prevalent
	Korea	<u>Korea: Not Available</u>	Korea: 410A system including ductless, mini-split system and VRF	Korea: HFC-32
	China	China: Less than 20% equipment with HCFCs	China: about 60% of equipment are High-GWP HFCs	China: HFC-32 and HC-290 units are available
	Thailand	Locally manufactured	R-410A locally manufactured with inverter and non-inverter	HFC-32 units locally manufactured in small quantities
	South East Asia	Locally manufactured in some countries	Indonesia: ~50 of the market is R-410A R-410A fixed speed locally manufactured in some countries or imported MEPS are not separated for inverter and non-inverter except in Singapore and Indonesia	Malaysia: manufacturing of compressors for HFC-32 Vietnam and Indonesia: HFC-32 units with inverter
	India	India: Available from local manufacturers. Import is not allowed.	<u>India: Not available in lower efficiencies</u>	India: HFC-32 and HC-290 units available
	Central Asia	Locally manufactured in some countries	Locally manufactured in some countries	Available for import
Gulf Cooperation Council	Available as locally manufactured or imported	HAT: R-410A with fixed speed and variable speed	HFC-32 units are available Research on HC-290 and HFO leads to viable result Saudi G-Mark regulation requires certification for charge limitation of flammable refrigerants for residential applications	

	Middle East & North Africa	Available as locally manufactured or imported	Available as locally manufactured or imported	HFC-32 and R-454B Accepted in Egypt, manufacturing not started Morocco*: HFC-32 inverter is available for import through Buyers' club
	Central Africa	Available in most countries	R-410A units fixed speed and inverter	Ghana: HC-290 units imported into the country in a program supported by GIZ Other countries: HFC-32 units with inverter available for import*
	Southern Africa	Available as locally manufactured or imported	R-410A units fixed speed and inverter	HFC-32 units
	Europe		EU: Available in R-410A and R-407C in mini-splits: 2-speed and VRF	EU: both HFC-32 and HC-290
	North America		N. America: Available in R-410A and R-407C in mini-splits: 2-speed and VRF	<i>N. America: Emerging new technology using HFC-32 and HFO blends</i>
	Central America	Available in most countries	R-410A available	Mexico: HFC-32 inverter by at least one manufacturer Other countries: HFC-32 available to import Grenada: HC-290 available to import through a GIZ program
	South America	Available in most countries	S. America: R-410A both fixed speed and variable speed Brazil: 40-50% of R-410A units are inverter	Brazil: HFC-32 inverter available from one manufacturer. A second manufacturer announced production of HFC-32 by end of 2019 HC-290 expected to be available once MLF projects completed. Other countries: available to import

Table 2: Availability of Technology for AC: Energy Efficiency vs. refrigerants - Mid Tier

Regions	HCFC	High-GWP HFC	Medium and low GWP
Australia & New Zealand	<u>Aus. & NZ: Not Available</u>	45% of the market is R-410A in the low and mid-tier efficiency ranges	53% of the market is HFC-32 units more weighted towards the higher efficiency tiers
Oceania & PIC	Around 5% of the market	Papua New Guinea / Fiji/ Solomon Islands: R-410A imports from ANZ in the low and mid tiers	HFC-32 becoming prevalent in line with trend in ANZ
Japan	<u>Japan: Not Available</u>	<u>Japan: Not Available</u>	Japan: "The top runner program" requires weighted average APF higher than the standard value. (for both domestic and commercial air-conditioners)
Korea	<u>Korea: Not Available</u>	Korea: 410A system including ductless, mini-split system and VRF	Korea: HFC-32 units with inverter
China	China: Less than 20% equipment with HCFCs	China: about 60% of equipment are High-GWP HFCs	China: Both HC-290 and HFC-32 inverter that have higher APF than the standard value are introduced
Thailand	Thailand: Locally manufactured	Thailand: R-410A locally manufactured	Thailand: 70% of the locally manufactured units are HFC-32 units with inverter
South East Asia	Locally manufactured in some countries	Indonesia: 5% of the market is R-410A inverter R-410A units are locally manufactured in some countries or imported MEPS are not separated for inverter and non-inverter except in Singapore and Indonesia	Indonesia: ~ 50% of the market is HFC-32 units MEPS are not separated for inverter and non-inverter except in Singapore and Indonesia
India	India: Available from local manufacturers. Import is not allowed.	India: R-410A widely available up to 3 Stars	India: HFC-32 and HC-290 available up to 5 Star
Central Asia	Locally manufactured in some countries	Locally manufactured in some countries	Available for import
Gulf Cooperation Council	Available as locally manufactured or imported	R-410A with inverter	HFC-32 units are available Research on HC-290 and HFO leads to viable results Saudi G-Mark regulation requires certification for charge limitation of flammable refrigerants for residential applications
Middle East & North Africa	Available as locally manufactured or imported	Available as locally manufactured or imported	HFC-32 and R-454B Accepted in Egypt, manufacturing not started Morocco: HFC-32 inverter is available for import
Central Africa	<u>Not Available</u>	R-410A units with inverter	HFC-32 units in some markets
Southern Africa	<u>Not Available</u>	R-410A units with inverter South Africa: 75% of the market is inverter	HFC-32 units in some markets
Europe	<u>Not Available</u>	EU: Available in R-410A and R-407C in mini-splits: 2-speed and VRF	EU: Cent A/C 2-speed, Mini-splits VRF - EU Eco-Design,

Mid-Tier Energy Efficiency up to 10% above Minimum MEPS

	North America	<u>Not Available</u>	N. America: Available in R-410A and R-407C in mini-splits: 2-speed and VRF	<i>N. America: Emerging new technology using HFC-32 and HFO blends</i>
	Central America	Available in most countries	R-410A available	Mexico: HFC-32 inverter by at least one manufacturer
	South America	Available in most countries	S. America: R-410A both fixed speed and variable speed Brazil: 40-50% of R-410A units are inverter	Brazil: HFC-32 inverter available from one manufacturer. A second manufacturer announced production of HFC-32 by end of 2019 HC-290 expected to be available once MLF projects completed. Other countries: available to import

Table 3: Availability of Technology for AC: Energy Efficiency vs. refrigerants - High Tier

High Tier Energy Efficiency more than 10% above Minimum MEPS	Regions	HCFC	High-GWP HFC	Medium and low GWP	
	Australia & New Zealand	Not Available	<u>Not Available</u>	53% of the market is HFC-32 units more weighted towards the higher efficiency tiers	
	Oceania & PIC		<u>Not Available</u>	Available for import	
	Japan		<u>Japan: Not Available</u>	Japan: "The top runner program" requires weighted average APF higher than the standard value (for both domestic and commercial air-conditioners)	
	Korea		Korea: 410A system including ductless, mini-split system and VRF	HFC-32 units with inverter	
	China		China: "The top runner program" requires weighted average APF higher than standard value, about 1% of market	China: Both HC-290 and HFC-32 inverter that have higher APF than the standard value are introduced	
	Thailand		R-410A locally manufactured mainly inverter type Separated MEPS for inverter and non-inverter	HFC-32 units with inverter Separated MEPS for inverter and non-inverter	
	South East Asia		R-410A locally manufactured in some countries or imported. MEPS are not separated for inverter and non-inverter except in Singapore and Indonesia	Indonesia, Philippines, and Vietnam: HFC-32 units with inverter	
	India		India: R-410A widely available in inverter 3 to 5 star	India: HFC-32 and HC-290 available up to 5 Star	
	Central Asia		<u>Not Available</u>	Available for import	Available for import
	Gulf Cooperation Council		<u>Not Available</u>	HAT: High GWP HFCs Could not meet higher efficiency with conventional design, however, MEPS >10%, (EER 12.7) can be achieved with microchannel heat exchangers	HFC-32 units are available Research on HC-290 and HFO leads to viable result Saudi G-Mark regulation requires certification for charge limitation of flammable refrigerants for residential applications
	Middle East & North Africa		<u>Not Available</u>	Available as locally manufactured or imported	HFC-32 and R-454B Accepted in Egypt, manufacturing not started. Morocco: HFC-32 inverter is available for import
	Central Africa		<u>Not Available</u>	R-410A units with inverter	HFC-32 units in some markets
	Southern Africa		<u>Not Available</u>	R-410A units with inverter South Africa: 75% of the market is inverter	HFC-32 units in some markets
	Europe		<u>Not Available</u>	EU: Cent A/C 2-speed, Mini-splits, VRF- Eco-Design	EU: Cent A/C 2-speed, Mini-splits VRF - EU Ecodesign
	North America		<u>Not Available</u>	N. America: Cent A/C 2-speed, Mini-splits, VRF with R-410A units	<i>N. America: Emerging new technology using HFC-32 and HFO blends</i>
Central America	<u>Not Available</u>	R-410A available	Mexico: HFC-32 inverter by at least one manufacturer		
South America	<u>Not Available</u>	S. America: R-410A both fixed speed and variable speed Brazil: 40-50% of R-410A units are inverter	Brazil: HFC-32 inverter available from one manufacturer. A second manufacturer announced production of HFC-32 by end of 2019. HC-290 expected to be available once MLF projects completed. Other countries: available to import		

Annex III

INFORMATION ON AVAILABILITY, COST AND ENERGY EFFICIENCY (EE) IMPACT AND APPLICATION TO CLIMATE REGION FOR DIFFERENT COMPONENTS RELATED TO EE FOR MEDIUM- AND LOW-GLOBAL-WARMING POTENTIAL REFRIGERANTS FOR AIR-CONDITIONERS AND SELF-CONTAINED COMMERCIAL REFRIGERATION EQUIPMENT

Part 1: Air conditioners

Component	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Remarks	Necessary components	Max potential improvement	Incremental cost for RAC unit	Applicability to climate region		
								LAT	MAT	HAT
Compressors										
Higher efficiency	X	Y	Y	Mostly rotary compressor				X	X	X
- Inverter driven	X	Y	Y	Mostly used for rotary	Inverter, dedicated compressor	20% to 30%	20%	X	X	X
- two stage compression	X	Y	L	Very limited availability		10%	10% – 20%	X	X	X
- motor efficiency controllers		Y	L	Standard		same	Same	X	X	X
Energy efficient fan motors										
- EC fan motors		Y	Y	Reduce energy, heat load	Controller	7% to 15%	15% to 25%	X	X	X
- variable/fixed-speed		Y	Y					X	X	X
- optimized fan blades		Y	Y					X	X	X
- tangential fans		Y	Y	For indoor unit only				X	X	X
- improved axial fans		Y	Y	For outdoor unit only				X	X	X
Expansion devices										
- electronic expansion valves	X	Y	L		EEV and controller	15% to 20%	15%	X	X	X
- fixed orifice	X	Y	L		RAC heating	Less efficiency	negative	X	X	X
- capillary tubes	X	Y	Y		TEV	Heating mode	negative	X	X	X
Heat exchangers										
- Microchannel condenser coil	Y	Y	Y	Only condenser	AL/AL	15%	negative	X	X	X
- Microchannel evaporator coil	N	N	N				Less cost compared to the fin and tube			
- smaller tube diameter for condenser coil	X	Y	Y	Y	CU/AL	10% to 40%,	negative	X	X	X
- smaller tube diameter for evaporator coil		Y	Y	Y	CU/AL	10% to 40%	negative	X	X	X
Adiabatic condensers		Y	Very limited	Only in high ambient	Filter water and treatment	25% to 30%	20% to 35%			X
Pipe insulation		Y	Y	Normal practice	Pipe insulation	<2%	Standard	X	X	X
Refrigerant	X	Y	Y	See RTOC 2014, 2018	Refrigerant	See RTOC 2014, 2018	+/- depends on the region	X	X	X

Component	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Remarks	Necessary components	Max potential improvement	Incremental cost for RAC unit	Applicability to climate region		
								LAT	MAT	HAT
Defrost techniques	Y	Y		For HP only	controller		HP	X	X	X
- hot gas, reverse cycle		Y	L	HP	4 WAY VALVE	negative	Heating	X	X	X
- resistance heaters for Heating		Y	Y	some regions	Electric heater	negative	Some areas	X	X	X
- on demand control		Y	Y		controller		same	X	X	X
Controls										
- dynamic demand controllers		Y	Y		standard		standard	X	X	X
Reducing head pressure	X	Y	Y		Var speed cond. fans, controller	2 – 3% per 1 K	various		X	X

Part 2: SCCRE

Option	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Applicable to what SCCRE?	Remarks	Necessary component(s)	Max potential EE improvement of entire SCCRE	Indicative additional cost for SCCRE	Applicability to climate region		
									LAT	MAT	HAT
Anti-fogging glass		Y	Y	Glass freezer door	Avoids heating elements, as option	Surface treatments	Minimal	<5%		X	X
Improved cabinet air flow											
- air deflectors/guides		Y	Y	Open multideck	Reduces cold spillage	Aerofoils	15%	neg.	X	X	X
- shelf risers and weir plates		Y	Y	Open multideck	Reduces cold spillage	Plastic strips	4%	neg.	X	X	X
- short air curtains		Y	Y	Open multideck	Reduces cold spillage	Airflow design	30%	neg.	X	X	X
- strip/night curtains		Y	Y	Open multideck	Reduces cold spillage	Clear plastic strips	60%	\$100	X	X	X
Energy efficient fan/motors											
- Electronically Communicated (EC) fan motors		Y	Y	All types	Less energy & heat load	EC motors	10%	+15%	X	X	X
- variable speed		Y	Y	All types	e.g., 2-speed fixed	Fan motor type	10%	+15%	X	X	X
- optimised fan blades		Y	Y	All types		None	5%	Neg.	X	X	X
- tangential fans		Y	Y	All types		Fan type	5%	<10%	X	X	X
- diagonal compact fans		Y	Y	All types	Match press of cabinet	Fan type	5%	<10%	X	X	X

Option	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Applicable to what SCCRE?	Remarks	Necessary component(s)	Max potential EE improvement of entire SCCRE	Indicative additional cost for SCCRE	Applicability to climate region		
									LAT	MAT	HAT
- improved axial fans		Y	Y	All types		Fan type	5%	<10%	X	X	X
- fan motor outside cabinet		Y	N	Never used	Not worth it	None	n/k	neg.	X	X	X
Cabinet doors											
- doors on cabinets		Y	Y	All types	Reduces heat load and infiltration	Doors	45%	\$300 per m	X	X	X
- door gaskets		Y	Y	Standard freezer	Reduces heat load and infiltration	Gaskets	15%	\$30	X	X	X
Compressors											
- higher efficiency	X	Y	Y	All types	Increased by 20% over past 20 years	Advanced compressor	20% (MT), 30% (LT)	neg.	X	X	X
- Inverter driven	X	Y	Y	All types	Better PL efficiency; with/out PFC	Inverter, dedicated compressor	40%	2 × non-inverter	X	X	X
- motor efficiency controllers		Y	L	All types	Regions having poor mains power; not needed for Variable Speed Drive (VSD)	MEC device	10%	n/k	X	X	X
- two stage compression	X	Y	L	Mainly for R744		Two (smaller) compr; two roller rotaries	5%	20 – 40%	X	X	X
- economisers / inter-stage coolers	X	Y	L	Mainly for R744		Special compressor + flash vessel or HX	15%	n/k	X	X	X
Expanders	X	Y	L	Mainly for R744		Expander / integrated compressor-expander	30%	n/a	X	X	X
Cabinet lighting											
- LEDs		Y	Y	All types	Now standard	LED lamps	50% on lighting	<0%	X	X	X
- occupancy sensors		Y	Y	mainly for non-perishables	On demand lighting	Proximity sensors	10%	<0%	X	X	X
Defrost techniques											
- hot gas, reverse cycle		Y	L	Freezers, shortens time, product quality	Increases leaks, faults	Valve	5%	3%	X	X	X

Option	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Applicable to what SCCRE?	Remarks	Necessary component(s)	Max potential EE improvement of entire SCCRE	Indicative additional cost for SCCRE	Applicability to climate region		
									LAT	MAT	HAT
- resistance heaters		Y	Y	MT and LT cabinets ¹	Preferred reliable	Heater rods	n/a	n/a	X	X	X
- off-cycle		Y	Y	HT and MT cabinets	Eliminates defrost energy	none	10%	<0%	X	X	X
- on demand control		Y	Y	All types	Defrosts when needed	Sensors, controller	10%	<5%	X	X	X
Controls											
- dual port thermostatic expansion valve (TEV) (balanced)	X	Y	N	Open type	Evens evaporator load	TEV	n/k	n/k	X	X	X
- dynamic demand controllers		Y	Y	All types	Manages energy use	Sensors & controller	40%	Various	X	X	X
- electronic expansion valves (EEV)	X	Y	L	Larger cabinets	Modulates evaporator pressure	EEV and controller	20%	\$200	X	X	X
- optimisation of capillary	X	Y	Y	All cabinets			Anything	Neg.	X	X	X
- suction pressure control	X	Y	L	Larger systems	Modulates evaporator pressure	(See VSC & EEV)	2% per K increase	\$40 - \$400	X	X	X
Reducing head pressure	X	Y	Y	Larger systems	Reduces press lift	Variable speed fans, controller	2 – 4% per 1 K reduction	Various		X	X
Ejectors	X	Y	L	Larger systems, R744 only		Ejector valve	20% or 30% with R744	\$20		X	X
Heat exchanger (HX) design											
- optimised configuration	X	Y	Y	All types	Better heat transfer (HT), lower discharge pressure (DP)	HX materials	0 to 40% of baseline	Neg	X	X	X
- optimised air fins		Y	Y	All types	Better HT, lower DP	HX design	10%	Neg	X	X	X
- internal rifling	X	Y	Y	All types	Better HT, lower DP	HX design	5%	Neg	X	X	X
- internal fins	X	Y	Y	All types	Better HT, lower DP	Internal fins	5%	Neg	X	X	X
- hydrophobic coating		Y	L	All types	Mainly for conds, reduces dust and corrosion	Coating	5%	Neg	X	X	X

¹ LT: Low Temperature, around -18°C; MT: Medium Temperature, around 0°C to 8°C

Option	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Applicable to what SCCRE?	Remarks	Necessary component(s)	Max potential EE improvement of entire SCCRE	Indicative additional cost for SCCRE	Applicability to climate region		
									LAT	MAT	HAT
- hydrophilic coating		Y	L	All types, evaporators	Anti-corrosion; reduce water layer thickness	Coating	5%	Neg	X	X	X
- flooded evaporators	X	Y	N	Larger systems	added to R744	Float v, surge drum	5%	n/a	X	X	X
Other heat load											
- radiant reflectors		Y	Y	Any glass	Reflects infrared (IR)	Internal surface	8%	Neg	X	X	X
- night blinds and covers		Y	Y	All types	Can reduce IR and infiltration	Night blinds, covers	20%	\$300	X	X	X
- improved glazing		Y	Y	Any glass	Reflects IR	New glass	5%	5%	X	X	X
- anti-sweat heater control		Y	Y	Any with AS heaters	Minimise heat load	Controller, sensors	3%	Neg.	X	X	X
- refrigerant line trim heaters		Y	Y	LT cabinets	Instead of resistance heaters	Extra piping	10% to 25%	Neg.		X	X
- vacuum insulated panels (VIP)		Y	N	All types	Reduces thermal cond.	VIP	15% ²	\$400/m ²	X	X	X
Heat pipes		Y	N	All types	In cabinet shelves, improving product temperature	Integrated heat pipes	12%	n/k	X	X	X
Leak minimization											
- improved leak tightness	Y	Y	Y	All types	Degrees of improvement	Manufacturing kit	20%	10%	X	X	X
- leak detection	Y	Y	L	All types	Previously on large system	Sensors	15%	10%	X	X	X
Liquid pressure amplification	X	Y	N	Larger systems		Liquid pump	25%	30% of compressor cost	X	X	X
Liquid-suction HX (LSHX)	X	Y	Y	All types	Brazing pipes together	LSHX	0%	Various	X	X	X
Pipe insulation		Y	Y	All types	Normal practice	Pipe insulation	3%	n/k		X	X
Higher efficiency refrigerant	X	Y	Y	All types	See RTOC 2014, 2018	Refrigerant	RTOC 2014, 2018	+/-	X	X	(X)
Nanoparticles in refrigerant	X	Y	N	All types	Experimental, concerns	nanoparticles	20%	\$20 – 100	X	X	X

² Clodic and Zoughaib (2000).

Annex IV

AVAILABILITY OF COMPONENTS FOR AIR-CONDITIONING EQUIPMENT WITH LOW- AND MEDIUM-GLOBAL-WARMING POTENTIAL REFRIGERANTS

This annex presents information on availability and EE aspects relating to AC equipment.

Availability of compressors for AC equipment

1. The most common form of AC equipment, mini-split ductless systems, mainly use rotary type compressors. The simplest form of rotary compressor is “fixed-speed,” meaning it only has two modes: “on” or “off”. It turns on to cool a room and turns off once the room has reached the desired set temperature. “Variable-speed” compressors are inverter-driven and can operate at more than one speed to more efficiently and comfortably deliver the amount of cooling needed and maintain the desired temperature. The variable-speed units require electronic control systems, which can add to manufacturing costs.
2. Nearly all rotary compressor production is currently located in Asia and concentrated in China, as shown in Figure 5. Compressor manufacturing outside of China in descending order of capacity as of 2018 include Thailand, South Korea, Malaysia, Japan, India, Brazil, and the Czech Republic.



Figure 5. Global RAC Rotary Compressor capacity as at September 2018 (Nicholson et al 2019)

3. China is by far the world’s largest producer of compressors for room air-conditioner, with an estimated annual capacity of nearly 200 million units per year. In 2018, the four largest compressor manufacturers in China together accounted for over 60 per cent of global rotary compressor production capacity.
4. An analysis of company catalogues and websites found that rotary compressors using higher-GWP HCFC-22 and R-410A refrigerants accounted for the majority of models available worldwide in 2018, although many companies, mostly in Asia, now offer both fixed-speed and variable-speed compressors which use medium- and low-GWP HFC-32 and HC-290 refrigerants. However, the analysis found that none of the variable-speed compressor models identified use HCFC-22. In China, 42 per cent of the 167 million rotary compressors produced in 2017 were of the variable-speed type, compared to five years earlier in 2012, when these were only 30 per cent of 103 million.

5. Approximately 30 per cent of the rotary compressors produced in China in 2017 were designed to operate with the HCFC-22 refrigerant. While the quantity of HCFC-22 units has remained approximately constant over the past several years (Figure 6), the percentage of HCFC-22 units has declined in recent years, as the production of units using R-410A has increased to become the dominant type in China-produced rotary compressors.

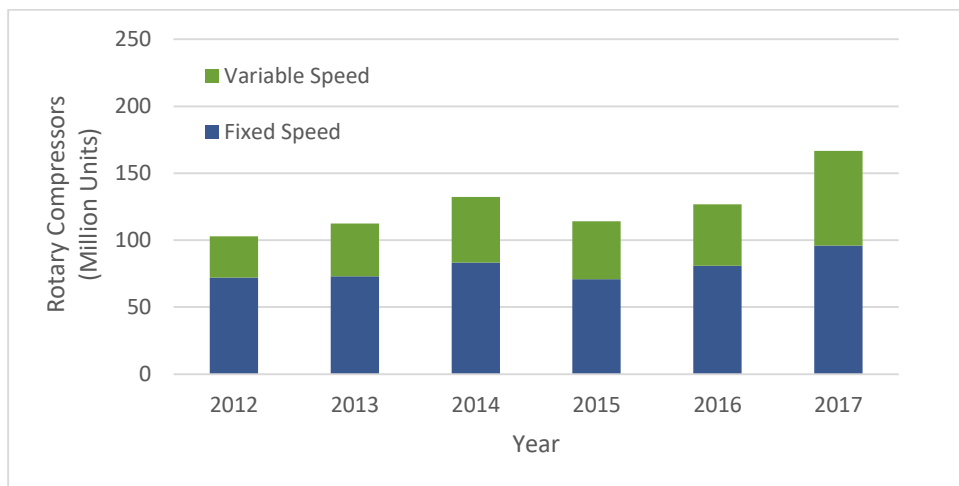
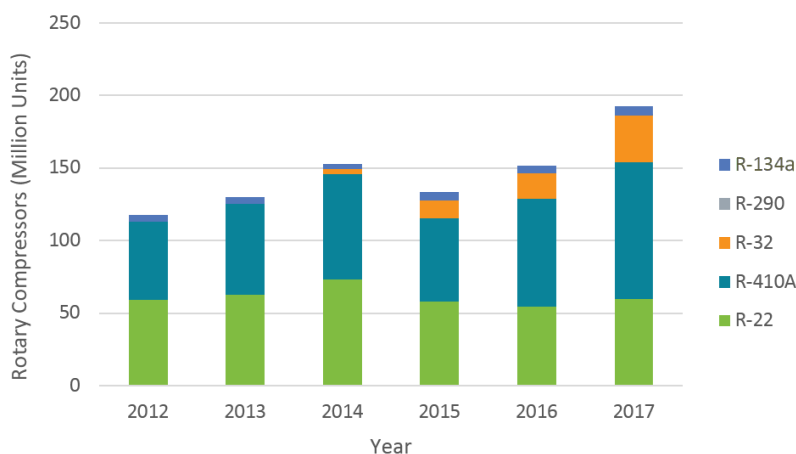


Figure 6. Chinese production of Fixed and Variable Speed Rotary Compressors, 2012-2017

6. Compressors for medium- and lower-GWP refrigerants (HFC-32 and HC-290) are mainly made in China.



Source: ChinaIOL

Figure 7. Chinese Production of Rotary Compressors by Refrigerant, 2012-2017

Note: HFC-134a rotary compressors are primarily used in mobile cooling applications, in contrast to the rest of the rotary compressor market which is used mainly for room (stationary) AC

7. As can be seen from the chart, the production of HC-290 compressors is not significant compared to the other refrigerants.

8. Some Middle East countries, especially with HAT conditions, continue to use reciprocating and scroll compressors in some of their production. Only a few rotary compressors are used for split AC units. Compressors operating at HAT conditions have specific design requirements (e.g. higher starting torque against the higher standing pressure during the off cycle; a motor-design suitable for those conditions). The technology for 2-ton units running on A2L refrigerants is available; however, commercial availability of compressors will depend on the demand.

9. The transition from fixed-speed to inverter compressors has sharply increased in the last five years to meet MEPS requirements, even though MEPS in some countries still list the full load efficiency figures only, rather than the seasonal efficiency figures. This is the case for Saudi Arabia where most of the AC units are fixed speed.

10. New compressor lubricants are being developed to be compatible with low-GWP synthetic refrigerants. Certain conventional polyester (POE) and polyvinyl ether (PVE) oils used for HFC refrigerants were insufficiently miscible with some refrigerants like HFC-32. New oils with better miscibility properties have been developed and patented for room AC use.

Availability of heat exchangers for AC

11. In most cases, the heat exchangers continue to be of the “fin-and-tube” type made from copper or aluminium. However, many companies are switching to use smaller tube diameter and micro-channel heat exchangers, which are already used in existing high-GWP AC split units. The most commonly used heat exchanger tube diameter for standard high GWP refrigerant are 3/8-inch (9.525 mm), 1/4 inch (6.35 mm), and 7mm (~1/4 inch) tube diameter, but for the new refrigerants, some companies are using tubes of 5 mm diameter. These higher energy efficiency components reduce the refrigerant charge and are valuable in enabling medium and lower GWP refrigerant AC units to comply with safety standards. They are widely available. More information on heat exchangers in section 3.2.3 of TEAP Task Force report 2019.

Availability of fans for AC

12. Each split unit contains two fans (one in the outdoor unit and one in the indoor unit). Fan technologies are widely available. There are no special requirements for using efficient fans for medium and lower-GWP refrigerants.

Availability of refrigeration accessories for AC

13. The accessories for the refrigeration circuit used in the split AC units include the expansion device, liquid and gas valves, suction accumulator, liquid receiver, oil separator (if needed), and all accessories installed in the connecting pipes between all major components of the AC unit either in the gas side or liquid side of the unit. All of these components and accessories are available for high-GWP refrigerant applications and can be used for the medium- and low-GWP applications.

Annex V

AVAILABILITY OF COMPONENTS FOR AIR-CONDITIONERS AND SELF-CONTAINED COMMERCIAL REFRIGERATION EQUIPMENT LOW- AND MEDIUM-GLOBAL-WARMING POTENTIAL REFRIGERANTS

This annex presents information on availability and energy efficiency aspects relating to SCCRE.

Availability of compressors

1. A variety of different compressors are used in SCCRE, depending upon temperature lift, capacity, refrigerant type, and so on. For most types of compressors, efficiency improvements arise from marginal incremental refinements (such as oil distribution, valve losses, motor efficiency, internal leakage, flow path pressure losses, internal heat transfer, etc.). One major technological progression involves use and deployment of variable speed compressors, typically using inverter technology to enable the control of rotational speed over a fairly wide range. Variable speed compressors allow the mass flow of refrigerant to be adjusted to suit the cooling (or heating) demand so that the system components are essentially closer to the optimal balance point for the surrounding temperatures. Implicit in this is the lower mass flow (at sub-maximum load) which leads to reduced pressure losses and less frosting.
2. Usual compressors are hermetic reciprocating, scrolls and rotary (both vertical small print and horizontal when height restrictions apply). The remaining compressor developments have arisen from the increased use of R744, where much higher pressures, pressure ratios and pressure differences are present, compared to usual refrigerants. Although many of these developments are in principle beneficial to other refrigerants, they result in a costly approach for minor efficiency improvements.
3. The applicability to a specific climate/region depends more on daily or annual variation in temperature, rather than absolute high or low temperature.

Improved cabinet air flow

4. Improved cabinet air flow has a potentially huge impact on energy use and also product quality. Various physical approaches are available such as changes to configuration of air ducting and small plastic baffles and plates. Most are broadly cost-neutral but just require extensive R&D.

Energy-efficient fan/motors

5. Major transformation has occurred in the shape of electronic commutation (EC) motors, which offer significant reduction in energy use. Further benefits arise from design of fan structure and blade shape.

Doors on cabinets

6. Intuitively the use of doors on display cabinets should yield major energy benefits by retaining cold air and preventing spillage and entrainment of warm humid air. Major improvements are associated with “vertical” type cabinets, where infiltration ordinarily contributes to about 70 – 80 per cent of the heat load. The benefits are less with gondola (also known as well or coffin) type cabinets where infiltration is responsible for about 20 per cent of the load. Gaskets around glass doors also amplifies the benefit of using door.

Cabinet lighting

7. Historically SCCRE used fluorescent lamps but presently LEDs are almost ubiquitous. LEDs use less power and also reduce heat output (thus reducing heat load).

Defrost techniques

8. Historically a variety of defrost techniques have been used, including reverse cycle, hot gas, cool gas as well as electrical resistance heaters on “off-cycle” where air is continued to be passed over the frosted coil but with absence of refrigeration. Whilst reverse cycle, hot gas and cool gas defrost offer more efficient defrosting, they tend to be more costly to implement and have other implications that affect system reliability, such as causing thermal shock and thus increasing leakage. The most beneficial development related to defrost is control methodology so that defrosting-on-demand can be applied.

Controls

9. In addition to improved cabinet airflow, and in parallel with variable speed compressor drives, the most significant contribution to SCCR equipment (SCCRE) efficiency improvement has come from modern control technology. Application of the electronic expansion valve (EEV) and associated control software can yield substantial improvements in EE, although at present there is only limited application in SCCRE due to the relatively high cost, compared to other technologies. Control systems linking compressor modulation, EEVs, defrost-on-demand, lighting, trim-heaters, fan airflow rates as well as leak detection based on system parameters can have a major influence on energy consumption and optimisation of cycle efficiency. Adjusting the cooling to the use pattern e.g. while keeping the product at, say, 3°C if the shop is closed (such as during weekends, etc.). The set-point temperature can be adjusted to achieve the optimum balance between run time and pull-down energy demand. Such techniques are not applicable to perishable products.

Heat exchanger design

10. Features related to heat exchanger design are diverse and given the variation on SCCRE design, construction and function, it is difficult to make general statements on how much EE improvement particular approaches can offer and what the potential improvements could be. Target heat exchanger approach temperature difference should be below 5 K, for both evaporator and condenser. Often it depends upon the skill and knowledge of heat exchanger designers and manufacturers. In general, it is common practice today to use microchannel heat exchangers (MCHX) for condensers and brazed plate heat exchangers (BPHX) for liquid-cooled condensers, which simultaneously offer advantages in terms of charge reduction (preferred for flammable refrigerants). For smaller capacity units, wire-on-tube (WoT) condensers are used, which are low cost and provide sufficient levels of EE. The major advantage is however, that degradation due to dust accumulation over time is substantially.

Heat load

11. Lowering the heat load into the SCCRE helps reduce energy consumption per m² or per m³ of refrigerated space, although it does not necessarily impact on the refrigeration cycle efficiency. Most approaches are based around limiting thermal transfer from electrical components, minimising radiant heat transfer from the surroundings and reducing conduction into the space.

Leak minimisation

12. Whilst leak minimisation is a priority for the application of flammable refrigerants, actions to retain the entire charge can significantly contribute to maintaining the “design” efficiency of a SCCRE. A deficit of refrigerant charge can go unnoticed until a certain level is reached, but in the meantime the compressor operates longer, and cycle efficiency degrades.

13. Whilst many of these technologies can in isolation produce substantive improvements in EE, combining two or more technologies will not result in summation of both improvements. Considered selection and iteration of implementation is necessary to obtain the most cost-effective benefit.

14. Many of the “older” technologies are now becoming redundant since newer technologies help bypass the need for others. For example, locating fan motors outside the cabinet is no longer worth the effort, when new EC fan motors only emit a fraction of heat of previous fan types

15. National or regional MEPS are the main driver for improving EE. Historically “in-situ” direct testing of energy use was riddled with misinterpretation and misunderstanding of measurements and results. Increasingly more rigorous methods are being developed. However, one of the main challenges is conducting tests that mimic real life conditions, which can vary widely and drastically affect comparative results.

16. Regulators in certain regions have introduced MEPS. However, the process has been turbulent in many cases due to the basis (dominator) for determining energy consumption, i.e., per internal volume, per display area, etc.

Annex VI

ADDITIONAL COSTS RELATING TO PRODUCTION LINE AND COMPONENT CHANGES FOR PRODUCING DOMESTIC AIR-CONDITIONERS USING FLAMMABLE REFRIGERANTS AND COST AND PERFORMANCE ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENT REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING EQUIPMENT

1. Production line changes and additional requirements (modifications) to produce domestic AC units with flammable refrigerants will require production line equipment modifications and or replacements on each line including:

- (a) Refrigerant recovery and charging machines for both A2L and A3 refrigerants (US \$25,000 – US \$50,000)
- (b) Pressure testing equipment for high pressure refrigerant A2L (HFC-32) (US \$15,000 – US \$30,000)
- (c) Refrigerant storage tank and accessories (3000 to 10000 litre) US \$15,000 – US \$40,000)
- (d) Structural and safety modifications in the refrigerant charging area (including electrical panels, piping, anti-static floors and accessories) (US \$15,000 – US \$25,000)
- (e) Modifications to the finished product testing areas (US \$10,000 – US \$20,000)
- (f) Modifications for heat exchanger production line for tooling for smaller tube diameter, or establishment of new production lines for micro-channel heat exchanger (US \$1,000,000 – US \$1,500,000). It should be noted that smaller diameter or microchannel heat exchanger, the material cost is significantly reduced.
- (g) Labour costs differ between countries, but extra costs will come in two main categories:
 - (i) Staff training to build capacity in dealing with flammable refrigerants and their safety requirements.
 - (ii) Additional staff cost to use more skilled workers.

2. The estimated cost for these items varies between countries and depends on the source of the equipment and availability of parts. For example, the cost of a refrigerant charging machine from China is 30 per cent lower than buying the same specification machine from Europe (in the range US \$25,000 – US \$50,000). There is additional cost in the finished product testing area for flammable refrigerant compared to non-flammable refrigerants, due to the additional piping, isolation valves and gas leakage sensors (5 to 10 sensors at ~ US \$500 each) that are required in many locations.

Safety measures

3. Additional ventilation and fire-fighting equipment is required in the charging area, for safe manufacture any units for either A2L or A3 refrigerants with estimated costs as follows:

- Charging area ventilation system (US \$10,000 – US \$20,000)
- Charging area firefighting system including sprinklers and water storage tanks (US \$20,000 – US \$30,000)

Testing

4. Testing facilities are required at two locations, the production line and the laboratory for testing A2L and/or A3 refrigerants with the following estimated costs:

- The production line testing area (US \$50,000 – US \$75,000)
- The laboratory for product development (US \$50,000 – US \$75,000)

IP/technology know-how

5. The costs of technology transfer including IP and know-how are estimated as follows:

- Software (either developed in-house or outsourced from another specialized company: (US \$0 – US \$50,000)
- Building prototype(s) to verify performance and validate the software: (US \$10,000 – US \$20,000)
- IP cost is unknown but may be a royalty (in licensing) or a one-off license payment. For many A2L refrigerants there is substantial IP in terms of design of the refrigerant supply but moreover for system design, etc. With A3 refrigerants there is only very limited IP, and this is generally associated with “gadgets” and are thus not critical to their application.

Logistics

Shipping

6. This will include the additional shipping cost due to flammability for all material and/or components required for the manufacturing of the AC and CR equipment, and the additional cost of shipping finished goods either internally or abroad. This differs between countries. As an example, the shipping cost of a 40 ft container of flammable refrigerant from China to Jordan is US \$1,900 compared to US \$1,500 for non-flammable refrigerant. Some countries customs and clearance processes cost an additional 3-5 per cent.

Handling

7. This includes the cost of handling and storage of the flammable refrigerant and or finished product inside the manufacturing facilities and preparing it for inland, sea and air freight shipments. The handling process inside the factory requires the following precautions which increase the cost including:

- Storage of flammable refrigerant can be either inside a storage tank or smaller refrigerant cylinders, but both need adequate ventilation, and leakage monitoring systems: (US \$20,000 – US \$30,000)
- Handling the refrigerant and finished products inside the factory requires additional safety measures for transportation between the production departments and storage areas: (US \$10,000 – US \$15,000)
- Additional factory insurance and product liability insurance for flammable refrigerants: (US \$8,000 – US \$20,000)

Installation

8. This will include the additional costs of the training and awareness programs under the local jurisdiction; the extra cost of the certification and approvals from the jurisdiction party(s) to comply with the local building codes; international certification requirements to meet safety standards required in many countries for in the domestic A/C and commercial refrigeration equipment using flammable refrigerants.

9. This can be in different categories with the following estimates for costs:

- (a) Training and awareness programmes with certification of workers, workshops etc. (US \$10,000 – US \$20,000)
- (b) The certification cost for the new products (depending on the number of models needing to be certified, and the test standards requirements IEC, ISO, etc. (US \$10,000 – US \$15,000)

Overall costs summary

10. In summary, the overall costs, excluding shipping costs, are shown in Table 1 below. From this one can conclude the following at an overall level.

- (a) The investment required to convert an RAC manufacturing facility to flammable refrigerants is in the range of 300,000 – 500,000 USD.
- (b) The additional investment required to maximise energy efficiency by the establishment of new production lines for micro-channel heat exchangers is in the range 1,000,000 – 1,500,000 USD

Table 1: Estimates of the manufacturing costs for energy efficient RAC equipment containing low- and medium-GWP flammable refrigerants.

Conversion measure (USD)	Minimum	Maximum
Manufacturing		
Production line		
Refrigerant recovery and charging machines for both A2L and A3 refrigerants	25,000	50,000
Pressure testing equipment for high pressure refrigerant A2L (HFC-32)	15,000	30,000
Refrigerant storage tank and accessories (3000 to 10000 Litre)	15,000	40,000
Structural and safety modifications in the refrigerant charging area (including electrical panels, piping, anti-static floors and accessories)	15,000	25,000
Modifications to the finished product testing areas	10,000	20,000
Modifications for heat exchanger production line for tooling for smaller tube diameter, or establishment of new production lines for micro-channel heat exchanger	1,000,000	1,500,000
Safety measures		
Charging area ventilation system	10,000	20,000
Charging area firefighting system including sprinklers and water storage tanks	20,000	30,000
Testing		
Production line testing area	50,000	75,000
Laboratory for product development	50,000	75,000
IP/technology know-how		
Software	0	50,000
Building prototype(s) to verify performance and validate the software	10,000	20,000
IP costs ¹	variable	variable
Logistics		
Shipping		
Additional costs	3%	5%

¹ Please refer to section 3.1.1 discussion on IP related costs

Conversion measure (USD)	Minimum	Maximum
Handling		
Storage of flammable refrigerant can be either inside a storage tank or smaller refrigerant cylinders, but both need adequate ventilation, and leakage monitoring systems	20,000	30,000
Handling the refrigerant and finished products inside the factory requires additional safety measures for transportation between the production departments and storage areas	10,000	15,000
Additional factory insurance and product liability insurance for flammable refrigerants	8,000	20,000
Installation		
Training and awareness programmes with certification of workers, workshops	10,000	20,000
Certification cost for the new products (depending on the number of models needing to be certified, and the test standards requirements IEC, ISO)	10,000	15,000
Total without micro-channel heat exchanger production line or shipping)	303,000	535,000
Total with micro-channel heat exchanger production line (excluding shipping) (USD)	1,300,000	2,035,000

AC: Cost of components

11. The relative costs of energy efficient components are compared for a 3.5 kW mini-split in China. The baseline uses R-410A (APF 4.0) and HCFC-22 (EER 3.5) appliances. Certain components discussed in the following sub-chapter also apply to commercial refrigeration. These components will not be discussed in the chapter 3.3.

Refrigerant

12. Conventional refrigerants account for about 1 per cent of the total AC cost. The price of refrigerant always decreases with increasing consumption. Indicative prices of refrigerants commonly used in AC in China are shown in Fig 1. It is worth noting that in UK, the bulk HC (HC-290, HC-600a, HC-1270) price varies between USD 1 to USD 1.5 per kg. Furthermore, the average HCFC-22 price is USD 6/kg.

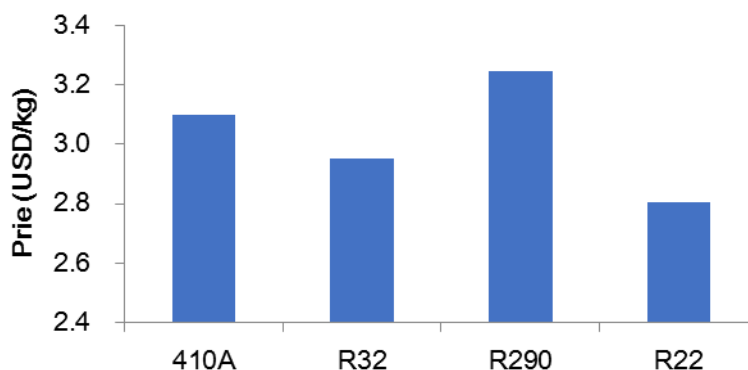
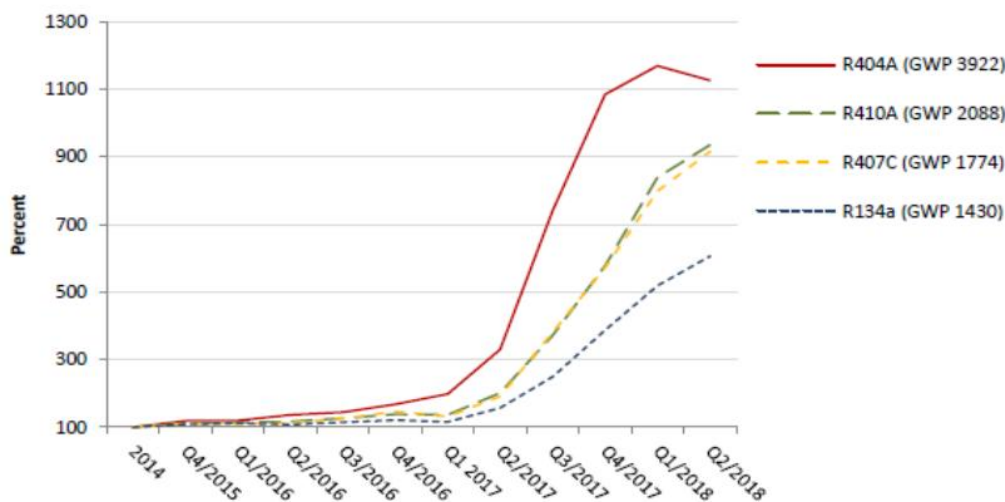


Figure 1. Estimates of refrigerant prices in China

13. The general price range of refrigerants is low, around 3 USD/kg +/-10 per cent. At an early stage, new refrigerants are more expensive, and difficult to get a foothold in the market. For example, R-290 is a by-product of the liquified natural gas (LNG) industry. Its production process is simpler than HFC-32, but its current price is slightly higher than HFC-32. However, when buying in bulk quantities, refrigerant-grade propane can be as low as US \$1 per kg.

14. The cost of high-GWP HFCs will rise with the implementation of the F-gas regulation and Kigali amendment, both of which impact the competitiveness of products containing HFCs. For example, the quoted price of R-410A in Europe went up tenfold over 2017, and in 2018 is ~ 20 Euro/kg, which far exceeds the material cost of the refrigerant itself. This increases the competitiveness of medium- and low-GWP alternative refrigerants and greatly promote the commercialisation of environmentally friendly refrigerant technologies.



Source: Ökorecherche 10/2018, Monitoring of HFC prices in the EU

Figure 2. HFCs quota price trend in Europe (Ökorecherche, 2018)

Compressor

15. The compressor accounts for about 20 per cent of the total cost of AC systems. Improving compressor efficiency represents one of the most direct and effective measure to improve an air-conditioner's efficiency. Rotary compressors are the most commonly used. Piston compressors are used in some window air-conditioner especially in the Middle East, whilst scroll compressors are often used in lighter commercial products. Today, modern compressors have an efficiency of about 70 per cent. The majority of the losses are electrical and mechanical, with the remainder due to internal refrigerant leakage.

16. The most effective way to improve the efficiency of a compressor is to use a higher efficiency motor, but lower scale improvements can also be obtained using refrigerants with properties that provide higher thermodynamic efficiency, reducing inner leakage and mechanical friction. These will increase the cost of materials and manufacturing costs. Efficiency can be improved by up to 20 per cent by technical advances, but cost increases proportionately.

Heat exchangers

17. Finned tubes are the most commonly used heat exchangers for AC. The heat exchanger efficiency is mainly determined by the heat transfer coefficient, area and the flow friction and has a major impact on the system's cooling/heating capacity. The smaller the heat transferring temperature difference (i.e. the larger heat transferring coefficient multiplied by the area) and the smaller the flow friction, the higher the heat exchanger efficiency, which can be achieved. Measures to improve efficiency include heat transferring enhanced copper tubes and fins, increasing air volume, reducing contact thermal resistance between fins and copper tubes, improving manufacturing processing to reduce the damage to the heat transfer enhancing structure, and increase of the surface area and to improve the contact between tubes and fins. Most of these increase the cost of manufacturing. Recent considerations such as reducing the heat exchanger volume to

reduce the volume of refrigerant and the use of thinner tubes (<5mm diameter) have not yet been assessed in terms of manufacturing costs

18. The relationship between the heat transfer efficiency of finned tubes to the system energy efficiency, and accordingly increased cost are shown in the figure below. Both found a proportionate increase in heat transfer efficiency in relation to cost.

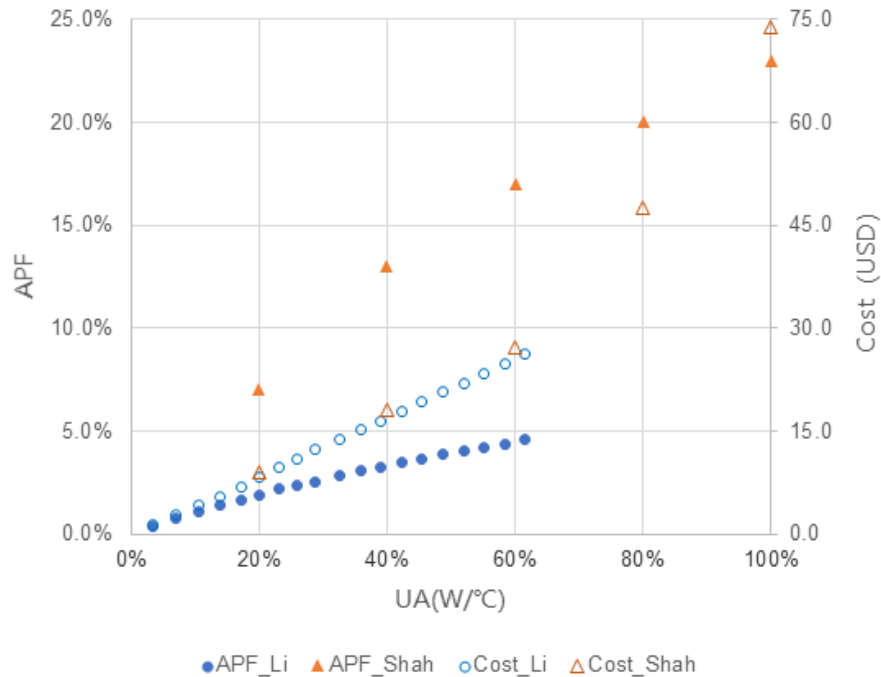


Figure 3. Heat exchanger cost and air-conditioner efficiency changing with heat exchanger efficiency

19. Micro-channel heat exchangers have a different mechanical structure, and approximately 40 per cent higher heat transfer efficiency than finned tube exchangers, due to:

- Higher air side heat transferring efficiency (larger tube area facing the airflow, with tubes connected with the fins by welding or by metal forming², rather than by expansion);
- Less refrigerant flow resistance due to shorter and more direct tubes;
- Higher refrigerant heat transfer coefficient
- Reduced system refrigerant charge by as much as 40 per cent.

20. Micro-channel heat exchangers require more complex to develop and are difficult to use them as evaporators. In addition, they can have higher maintenance costs because they are made from aluminium and the weld points can corrode in some conditions. Nevertheless, compared to finned tube heat exchangers, micro-channel heat exchangers have similar or marginally lower (~5 per cent) cost for the same capacity, and have higher (0-5 per cent) efficiency.

² Metal forming, is the metalworking process of fashioning metal parts and objects through mechanical deformation; the workpiece is reshaped without adding or removing material, and its mass remains unchanged

Fans/motors

21. There are two main types of fan motor used in air-conditioners - direct current (DC, efficiency 70 per cent) and alternating current (AC, efficiency 30 per cent). DC motors have a much higher efficiency but are almost double the cost compared to AC motors.

22. AC efficiency can be improved by increasing airflow rate. The air volume flow is proportional to the power of the fan. There is an optimum airflow rate at which the air-conditioner has highest efficiency. If the airflow is less than the optimum, increasing airflow benefits the system efficiency. However, if airflow rate is greater than the optimum then system efficiency declines due to additional power needed to overcome high-pressure loss that has a diminishing benefit to heat transfer. The cost of the fan and motor increases with increasing airflow rates in a stepwise fashion, because a single fan/motor can cover a range of airflow rates. Selecting the correct fan for cost versus efficiency varies from case to case. As can be seen, there is an optimal fan speed, above which efficiency declines and cost increases.

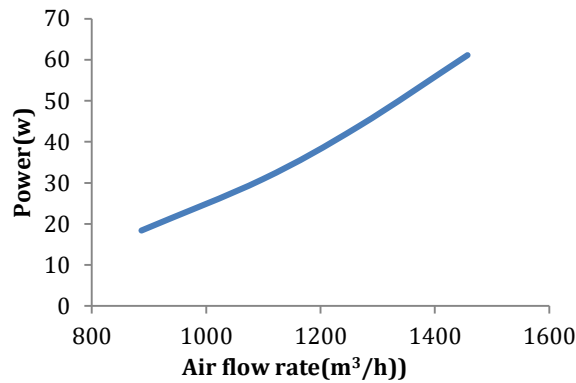


Figure 4. Schematic of fan power changing with airflow rate

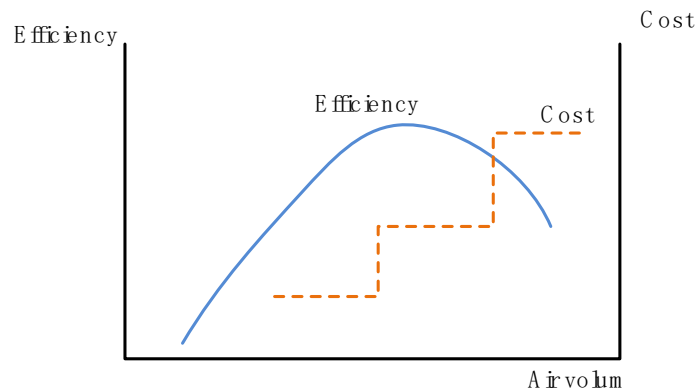


Figure 5. Schematic of air-conditioner efficiency and motor cost changing with air flow

Maintenance; self-cleaning

23. Most air-conditioners will have 5-10 per cent decline in efficiency during their lifetime, mainly due to dust deposition on heat exchange surface, the more complicated the fin geometry and the more rows of tubes, then the greater the dust deposition. As a result, the resistance to airflow increases and the air flow volume decreases, which reduces the efficiency of the heat exchanger and of the air-conditioner. Therefore, regular maintenance and cleaning of the AC system is essential in maintaining energy efficiency.

Increasingly, new products have a self-cleaning design at an additional cost of about \$20 (Task Force estimate).

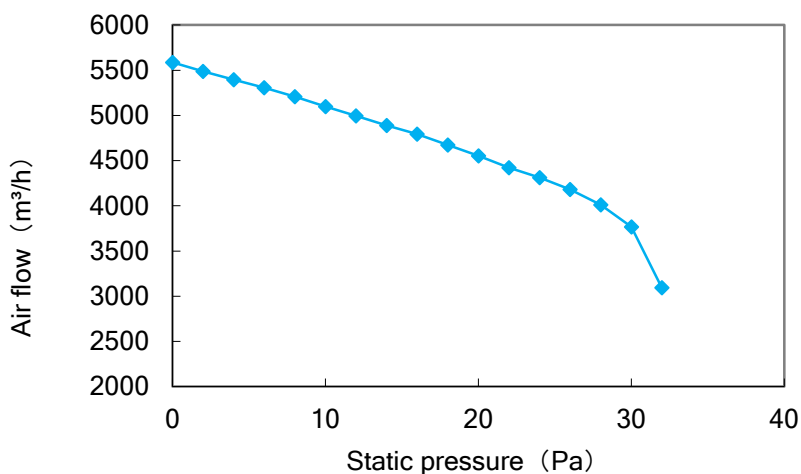


Figure 6. Schematic of airflow decrease changing with static pressure increase, to mimic dust build-up

Retrofit technologies

24. Several retrofit technologies offer EE improvements compared to baseline technologies. Some of these retrofit technologies include for room AC:

- Electronic, programmable, and self-learning Wi-Fi-enabled thermostat (estimated at 5 per cent energy saving);
- Central control system (estimated at 10 per cent energy saving); and
- Replacement of indoor and outdoor fan motors with variable speed ECM motors.

25. For commercial self-contained AC units, retrofit technologies include:

- Digital controllers to improve the compressor and fan controls;
- Adding doors/shields to vertical self-contained units;
- Replacing lighting with LED (reduce load and power draw); and
- Changing the thermostat set-point and reduce the glass-door heater power requirement
- Install anti-fog films on glass doors and deactivate glass door heaters (reduce load and power draw).

Costs of components for higher EE, specific to CR

26. As discussed in the previous sub-chapter, the energy consumption associated with a CR appliance is dictated not only by the system design and its components but also the construction of the equipment that is often unrelated to the system. Thus, there are a variety of elements that can be applied to commercial refrigeration appliances that may or may not be affected by the refrigerant type. Their cost can vary widely, depending upon the type of appliance, its size and also its function.

27. Table 2.7 in Chapter 2 of TEAP task force report lists all the often-considered options for improving SCCRE energy consumption; there are of course other options, but which may be applicable to non-self-contained or centralised type systems. The options have been broadly categorised according to its function, for example, improving airflow, improving fan energy, reducing heat load and so on. Of course, the effectiveness and cost of most of these options are interrelated. As noted above, the indicative additional

costs are applicable to certain classes of SCCRE, but also the size of the appliance; most of these apply to a 1.2 m or 2.5 m length cabinet.

System design and optimization

(ii) Cost-neutral EE upgrades

28. EE is one of the main design features that product development engineers consider during the development of new platforms, however, there are several other important factors that impact the design including manufacturability, reliability, cost, performance, etc. An engineer will always consider cost-neutral EE upgrades, whilst potentially improving other features. Some of the relevant examples of cost-neutral or cost-reduction EE upgrades include:

- (a) Micro-channel heat exchangers;
- (b) Improved fan designs;
- (c) Optimized air flow distribution;
- (d) Higher efficiency compressors; and
- (e) Evaporator and Condenser design optimization (within certain limits)

(ii) Additional cost savings opportunities from EE measures

29. Some EE measures should be studied holistically, as they can increase or decrease costs elsewhere. For example, using brushless DC motors (electronically commutated motors, ECM) fans in commercial refrigeration units would require the use of more expensive electrical conductor (3- or 4-wires DC conductor instead of the usual 2-wires AC conductor). In contrast, a higher efficiency commercial refrigerator requires less electrical power and thus smaller electrical wire gauge and switches with a lower total installed cost.

30. All aluminium micro-channel heat exchangers reduce material cost, require lower refrigerant charge/cost, and because they are smaller and lighter result in reduced chassis cost, reduced cover cost, reduced packaging cost, and reduced transportation and storage costs.

(iii) System design and optimization case study: Sino - US CFC-Free Super-Efficient Refrigerator Project

31. During the phase-down of CFC refrigerants, parties were interested in providing energy efficient solutions. One of the major studies performed was the “The Sino - US CFC-Free Super-Efficient Refrigerator Project Progress Report: Prototype Design & Testing” to promote the transformation of the Chinese industry to the production of CFC-free, super-efficient domestic refrigerators. Technologies examined in that effort included:

- (a) Non-CFC refrigerants and foam-blowing agents;
- (b) Alternate refrigeration cycles;
- (c) More efficient compressors;
- (d) Optimization of condenser and evaporator designs;
- (e) Increased insulation thickness; and

- (f) Improvements to door gaskets and controls.

32. EPA (1997) reported that the China Household Electric Appliance Research Institute (CHEARI), the Haier Group, and the University of Maryland collaborated to build and test typical Chinese refrigerators, evaluate Chinese consumer opinion research on the marketing of ozone-friendly, energy-efficient refrigerators, and perform field testing for one year in three Chinese cities to test the performance of units under actual operating conditions. EPA (1997) concluded the following:

33. Laboratory tests have demonstrated that conversion from (CFCs) to alternative refrigerants and foam-blowing agents can be achieved along with substantial energy savings as shown Table 2.

Table 2: Summary of laboratory test results (EPA, 1997)

Energy savings	Technology improvement options employed
~20%	Lorenz cycle with non-CFC refrigerant blend
~20%	Increased foam insulation (about 2 cm) to sides, back, bottom, and (1 cm) to both doors of cabinet
~40%	Increased foam insulation and improved compressor
~50%	Increased insulation, improved compressor, and Lorenz cycle with non-CFC refrigerant blend

34. Chinese consumer opinion research showed that Chinese consumers care more about the quality of the product and they are willing to pay 20 per cent more for a higher quality product which consumes 40 per cent less energy than the models currently available.

35. The optimized models showed significant higher energy savings in the field than in laboratory tests; however, noise level was a concern with the field-tested units.