

Viabilidad energética, económica y ambiental de los sistemas de climatización por absorción en España

P. Rodríguez, A. Lecuona y M. de Vega

*Unidad Asociada de Investigación de Energía y Medioambiente CSIC.
Universidad Carlos III de Madrid.*

M. Izquierdo, y E. Martín

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)

Se comparan los sistemas de absorción que utilizan los refrigerantes naturales R717 y R718 con los de compresión mecánica que trabajan con los refrigerantes CFC11, HCFC123, CFC12, HFC134a y HCFC22. Con objeto de determinar la viabilidad de las máquinas de absorción de amoníaco y de bromuro de litio se comparan las eficiencias energéticas de cada sistema, el coste de la energía, y su impacto ambiental: potencial destructor del ozono y potencial de efecto invernadero directo e indirecto. Las máquinas de absorción de simple efecto, H_2O-NH_3 y $BrLi-H_2O$, son competitivas desde el punto de vista energético, económico y ambiental cuando utilizan calor residual. Si la fuente de energía es el gas natural, entonces las máquinas de doble efecto consumen menos combustible y producen menos CO_2 que las de compresión mecánica accionadas por compresor centrífugo o alternativo, siendo competitivas desde el punto de vista energético, económico y ambiental. Si el combustible utilizado son los GLPs, entonces las máquinas de doble efecto de $BrLi$ son competitivas desde el punto de vista energético y económico, pero se encuentran en el umbral de la competitividad ambiental. Cuando se utilizan combustibles líquidos las máquinas de absorción no son competitivas desde el punto de vista económico. El origen diverso de las fuentes de energía utilizadas en España para producir electricidad, con un porcentaje de origen hidráulico y nuclear que se puede estimar en el 45%, permite que la masa de CO_2 vertida a la atmósfera, al producir el kWh eléctrico medio, sea baja. Por esta razón, las máquinas de absorción de simple y doble efecto de $BrLi$, que utilizan combustibles líquidos para generar el calor necesario para su funcionamiento, no son competitivas desde el punto de vista ambiental.

1. Introducción

Como consecuencia del aumento del nivel de vida en los países industrializados asistimos a una constante expansión del mercado del aire acondicionado. Esta tendencia es más acusada en aquellos países como España que dispone de un nivel medio de renta y reúne las condiciones climatológicas apropiadas para el consumo del aire acondicionado. Los sistemas más utilizados son los de compresión mecánica (accionados por electricidad) y los de absorción (accionados por calor).

Los refrigerantes utilizados por el ciclo de compresión mecánica trabajan a presiones superiores a la atmosférica. Por esta razón, en gran parte acaban fugándose y son transportados hasta la estratosfera donde la radiación ultravioleta rompe los enlaces de cloro, dando lugar a la conocida reacción de destrucción de la molécula de ozono. Además, son opacos a la radiación infrarroja emitida por la Tierra, incrementando el efecto invernadero. En virtud del Protocolo de Montreal y la Reglamentación Europea los refrigerantes CFC11 y CFC12 se están sustituyendo por el HCFC123 y el HFC134a respectivamente, estando previstos los plazos para sustituir al HCFC22.

Los ciclos de absorción utilizan las disoluciones agua-amoniaco (el agua como absorbente y el amoniaco como refrigerante) y bromuro de litio-agua (bromuro de litio absorbente y el agua como refrigerante), ASHRAE [1] como fluidos de trabajo. La fuente de energía es el calor, que puede proceder de quemar combustibles fósiles Guillen Marco [2] o de fuentes residuales, Izquierdo [3]. El amoniaco y el agua son refrigerantes naturales que no destruyen el ozono estratosférico ni contribuyen al efecto invernadero directo.

En este trabajo nos centraremos en la climatización de locales de tamaño medio y grande, bien con el sistema de compresión mecánica que utiliza compresores centrífugos operando con CFC11 o HCFC123 y compresores alternativos operando con los refrigerantes CFC12, HFC134a y HCFC22, o bien por el sistema de absorción que opera con los refrigerantes R717 y R718.

2. Eficiencia energética y coste de la energía

2.1. Compresión mecánica

En la Tabla I tenemos los CEE de varios sistemas frigoríficos que utilizan la electricidad como

fuente de energía. Se deduce que por cada kWh de electricidad consumida por una planta frigorífica eléctrica que acciona un compresor centrífugo se producen alrededor de 4 kWh de frío. Si se trata de un compresor alternativo que utiliza los refrigerantes CFC12, HCFC22 y HFC134a se producen alrededor de 3 kWh de frío. Se incluye la relación entre la energía primaria quemada y el frío producido.

Suponemos que todos los sistemas son alimentados en baja tensión y tomamos como referencia los precios vigentes (01/01/98). En este caso, podemos obtener el precio mínimo del kWh eléctrico, igual para todos los sistemas, siguiendo el método expuesto por Izquierdo, Turet y Poveda [4], sin incluir los recargos por discriminación horaria y reactiva, el alquiler del equipo, ni los impuestos.

$$TE=13,51 \text{ Pta/kWh}; TP=231 \text{ Pta/(kWh.mes)}; N=110 \text{ días}; n=10; TF=12 \cdot 231=2.772$$

$$P_{\text{mel}} = 13,51+2,52=16 \text{ Pta/kWh.}$$

Los resultados se exponen en la Tabla II.

2.2. Sistemas de absorción

En la Tabla III tenemos el CEE de los sistemas frigoríficos de absorción y la relación entre la energía primaria quemada y el frío producido. Por cada kWh de calor consumido por las máquinas de simple efecto se producen alrededor de 0,35 kWh de frío si el refrigerante es el amoníaco y 0,5 kWh si el refrigerante es el agua. La máquina de doble efecto produce 1 kWh de frío por cada kWh de calor consumido. La menor eficiencia de las máquinas de simple efecto es el principal inconveniente, pero no el único, para su explotación. También el tamaño y el peso, superiores al tamaño y al peso de las máquinas de compresión mecánica, es un serio problema para su competitividad. La suma de todos estos in-

Tabla I. CEE de sistemas de compresión mecánica
($t_e = 5^\circ\text{C}$; $t_c = 40^\circ\text{C}$; $\eta_{\text{central}} = 33\%$; $\eta_m = 85\%$)

Eficiencia	CFC 11	HCFC123	HCFC 22	CFC 12	HFC 134a
CEE	4,3	4,0	3,0	3,0	2,8
REPF	1,2	1,1	0,84	0,84	0,81

Tabla II. Coste de la energía del sistema de compresión mecánica

Refrigerante	CEE	Pta/kWhe	Pta/kWhf
CFC 11	4,3	16	3,72
HCFC 123	4,0	16	4,0
HCFC 22	3,0	16	5,33
CFC 12	3,0	16	5,33
HFC 134a	2,8	16	5,71

Tabla III. CEE de sistemas de absorción

Eficiencia	R717 H ₂ O-NH ₃ Simple efecto	R718 LiBr-H ₂ O Simple efecto	R718 LiBr-H ₂ O Doble efecto
CEE	0,50	0,70	1,30
REPF	0,37	0,52	0,98

Tabla IV. Coste de la energía de los sistemas de absorción

Disolución	REPF	Pta/kWhgn	Pta/kWhf
H ₂ O-NH ₃ (SE)	0,37	3,65	9,86
LiBr-H ₂ O (SE)	0,52	3,57	6,86
LiBr-H ₂ O (DE)	0,98	3,88	3,96

convenientes hacen que la explotación comercial del sistema de absorción sea menos atractivo que el de compresión mecánica. Cuando la máquina es alimentada por calor residual, el menor CEE no es un inconveniente ya que la rentabilidad del sistema está asegurada por el pequeño coste de la fuente de energía.

La fuente de calor más utilizada hasta ahora ha sido el calor residual procedente de procesos térmicos, considerado casi gratuito. La competencia de las máquinas de absorción con las de compresión mecánica sólo será efectiva cuando utilicen los combustibles comerciales y su eficiencia sea comparable con las de compresión mecánica.

Tabla V. Potencial destructor del ozono

Refrigerante	Vida media estimada (años)	PDO
R11 (CFC 11)	60	1
R12 (CFC 12)	130	0,95
R22 (HCFC 22)	15	0,050
R123 (HCFC 123)	1,6	0,020
R134a (HFC)	16	0,00
NH ₃ Refrig. natural	1,7	0,00
H ₂ O Refrig. natural	NATURAL	0,00

Los combustibles comerciales utilizados en España son el gas natural, el gasóleo y los GLPs. Supondremos que el precio por kWh de estos combustibles es el mismo, e igual al del gas natural. Esta hipótesis es sólo aproximada pero nos permite reducir el número de tablas.

A continuación, operando como hemos hecho con los sistemas eléctricos, y siguiendo el método expuesto por Izquierdo, Turret y Poveda (1991), en función de los precios vigentes (01/07/97) y aplicando la tarifa C3, calculamos el coste mínimo del kWh de gas natural.

$$\begin{aligned}
 TE &= 3,4 \text{ Pta/kWh}_{gn}; \\
 TF &= 247.081 \text{ Pta/(kWh}\cdot\text{año)}; \\
 N &= 110 \text{ días}; \\
 n &= 10; \\
 Q_{gn} &= Q_{taa}/REPF \\
 Q_{gnSEBRLi} &= 5,5 \cdot 10^5 / 0,52 = 1 \cdot 10^6 \\
 &\text{ kWh/verano}; \\
 Q_{gnSENH3} &= 5,5 \cdot 10^5 / 0,37 = \\
 &1,49 \cdot 10^6 \text{ kWh/ verano} \\
 Q_{gnDE} &= 5,5 \cdot 10^5 / 0,98 = 5,6 \cdot 10^5 \\
 &\text{ kWh/verano} \\
 P_{mgnSEBRLi} &= 3,4 + 247.081 / 1 \cdot 10^6 = \\
 &3,65 \text{ Pta/kWh.} \\
 P_{mgnSENH3} &= 3,4 + 247.081 \\
 &/ 1,49 \cdot 10^6 = 3,57 \text{ Pta/kWh.} \\
 P_{mgnDE} &= 3,4 + 247.081 / 5,6 \cdot 10^5 = \\
 &3,88 \text{ Pta/kWh.}
 \end{aligned}$$

Este es el precio mínimo del gas natural sin impuestos y sin tener en cuenta la carga de calefacción. El componente de la energía en el coste total del frío lo vemos en la Tabla IV.

Comparando los resultados de las Tablas II y IV vemos que la REPF de la máquina de doble efecto es del mismo orden que la REPF del compresor centrífugo accionado por electricidad cuando utiliza el refrigerante HCFC123 y algo inferior al del refrigerante CFC11, cuya comercialización está prohibida desde enero de 1996. El frío producido por los sistemas de absorción de simple efecto que utilizan gas natural, gasóleo o GLPs es más caro que el producido por los sistemas eléctricos. No se han incluido los sistemas de absorción alimentados con calor residual. En estos casos, como el calor es casi gratuito, la rentabilidad de las máquinas de absorción está garantizada.

3. Impacto ambiental

Los impactos ambientales más importantes, producidos por los sistemas frigoríficos utilizados en climatización, son la destrucción del ozono atmosférico y el incremento del efecto invernadero.

3.1. Potencial destructor del ozono

La capacidad destructora de ozono de un refrigerante se evalúa a través de un parámetro adimensional relativo característico de cada refrigerante, denominado Potencial Destructor del Ozono, obtenido de Clodic y Sauer [5]. En la Tabla V tenemos el PDO de los refrigerantes utilizados en climatización, tomando como referencia el refrigerante CFC11. Los refrigerantes R717 y R718, denominados naturales, son más respetuosos con el ozono y por este motivo de nuevo son objeto de atención en aplicaciones de compresión mecánica.

La preocupación social originada por el comportamiento de los CFCs ha tenido como consecuencia que durante la década de 1980 se hiciese un importante esfuerzo en investigación para fabricar refrigerantes respetuosos con el ozono. La respuesta de la industria frigorífica ha sido fabricar refrigerantes sin cloro: bien se sustituye un átomo de cloro por otro de hidrógeno, obteniendo los refrigerantes orgánicos denominados HCFC, o bien se fabrican refrigerantes sin cloro denominados HFC. Los primeros esfuerzos fueron dirigidos a la búsqueda de sustitutos del CFC11 y del CFC12 y a principios de 1990 comenzó la investigación para sustituir el HCFC22. Los resultados obtenidos se pueden concretar en la aparición de los nuevos refrigerantes HCFC123 y el HFC134a. En climatización el CFC11 se está sustituyendo por el HCFC123; el CFC12 por el HFC134a. Por sus buenas cualidades energéticas y ambientales, se continúa utilizando el HCFC22.

De la Tabla V se deduce que la sustitución de los refrigerantes CFCs utilizados en compresión mecánica supone un importante paso para proteger el ozono estratosférico. La sustitución del CFC11 por el HCFC123 trae con-

siglo la reducción de la destrucción del ozono en el 98%, mientras que la sustitución del CFC12 por el HFC134 permite anular la destrucción de ozono asociado con el uso del CFC12. En el caso de los sistemas de absorción, la protección del ozono es aún mayor, ya que tanto con el amoníaco como con el agua se consigue una reducción del impacto ambiental del 100%.

3.2. Potencial total de efecto invernadero

Los sistemas frigoríficos utilizados en climatización contribuyen al incremento de efecto invernadero de nuestro planeta de dos formas: por un lado, con el potencial del propio refrigerante y por otro con el dióxido de carbono producido durante la vida útil de la instalación. Al primer efecto se le denomina Potencial de Efecto Invernadero Directo, mientras que el segundo es denominado Potencial de Efecto Invernadero Indirecto. El Potencial Total de Efecto Invernadero es la suma de ambos efectos.

3.2.1. POTENCIAL DE EFECTO INVERNADERO DIRECTO

El Potencial de Efecto Invernadero Directo generado por un sistema frigorífico durante la vida del sistema (PEID) es una característica propia del refrigerante y se puede determinar por la siguiente expresión:

$$PEID = f \cdot C \cdot peid \cdot N$$

Siendo:

f: Porcentaje de refrigerante que anualmente se fuga de la instalación.

C: Carga de refrigerante, kg.

peid: Potencial de Efecto Invernadero del refrigerante por unidad de masa

N: Número de años de funcionamiento de la instalación.

En la Tabla VI tenemos el potencial de efecto invernadero directo (peid), obtenido de Clodic

Tabla VI. Potencial de efecto invernadero directo (peid)

Gas	ITH 20 años	ITH 100 años	ITH 500 años
CO ₂	1	1	1
CFC 11	4.500	3.400	1.400
CFC 12	7.100	7.100	4.100
HCFC 22	4.200	1.600	540
HCFC 123	330	90	30
HFC 134a	3.100	1.200	400
R717	0.0	0.0	0.0
R718	NATURAL	NATURAL	NATURAL

y Sauer [5], de los refrigerantes utilizados en climatización para varios horizontes temporales. Vemos que para un horizonte de 20 años el PEID es 4.500 veces mayor que el del CO₂, reduciéndose hasta 3.400 a 100 años. En el caso del CFC12 comprobamos que su efecto es aún mayor, 7.100 veces superior al del CO₂ a 100 años. El HCFC123 sustituto del CFC11 reduce este efecto hasta 330 veces, mientras que el HFC134a, sustituto del CFC12, tiene un PEID 3.100 veces mayor a 20 años y 1.200 a 100 años. Por esta razón, la alternativa actual al CFC12, el HFC134a, está siendo revisada en aquellas aplicaciones donde es posible.

Los sistemas de absorción que utilizan amoníaco no producen efecto invernadero directo y los que utilizan el agua producen el propio de este refrigerante. Por esta razón, los sistemas de absorción son buenos candidatos para sustituir al CFC11 y CFC12 en climatización, pero también a sus sustitutos.

3.2.2. POTENCIAL DE EFECTO INVERNADERO INDIRECTO

Es el efecto invernadero (PEII) generado por el dióxido de carbono producido al quemar el combustible fósil necesario para

generar la electricidad que consume la instalación de compresión mecánica, o bien para producir el calor necesario para accionar al sistema de absorción. En el caso de un sistema de compresión mecánica se puede obtener aplicando la siguiente ecuación,

$$PEII = CEEe \cdot (W + w_{cm}) \cdot peii \cdot n \cdot N$$

donde:

W: Potencia del compresor, kW.

w_{cm}: Potencia del equipo auxiliar, kW.

peii: Masa de CO₂ vertida a la atmósfera por kWh de frío producido.

n: Horas de funcionamiento.

Para el sistema de absorción será,

$$PEII = CEEe \cdot (Q_g + w_a/\eta_{central}) \cdot peii \cdot n \cdot N$$

donde:

Q_g: Combustible quemado en el generador, kW.

w_a: Potencia del equipo auxiliar, kW

peii: Masa de CO₂ vertida a la atmósfera por kWh de frío producido.

n: Horas de funcionamiento.

Tabla VII. CO₂ Producido por compresión mecánica

Refrigerante	kg CO ₂ /kWhf
CFC 11	0,14
HCFC 123	0,15
HCFC 22	0,20
CFC 12	0,20
HFC 134a	0,22

Tabla VIII. CO₂ producido con gasóleo

Disolución	kg CO ₂ /kWhf
H ₂ O-NH ₃ (SE)	0,84
LiBr-H ₂ O (SE)	0,60
LiBr-H ₂ O (DE)	0,32

3.2.3. SISTEMAS DE COMPRESIÓN MECÁNICA

A efectos de realizar una comparación sencilla, en este trabajo sólo determinaremos el CO₂ generado al producir la unidad de frío (kWhf) con los refrigerantes utilizados por cada sistema.

En España la electricidad tiene un origen diverso, relacionado con la energía primaria utilizada para producirla. Dependiendo de la energía primaria utilizada el kWh eléctrico tiene la siguiente procedencia: el 55% es de origen térmico, el 13% hidráulica, el 30% es de origen nuclear y el resto (2%) de energías renovables (minihidráulica, eólica y solar). La electricidad de origen hidráulico, nuclear y de fuentes renovables, que supone un peso del 45% en la composición del kWh medio, no produce CO₂, y por lo tanto no contribuye al efecto invernadero. El 55% restante, la de origen fósil, es generada quemando carbón y fuelóleo. Actualmente se está introduciendo el gas natural. En el año 1995 la proporción de estos combustibles en la producción del 55% de origen térmico, fue la

siguiente: 87% carbón; 12% fuelóleo y 1% gas natural.

De acuerdo con Cavallini [6], la masa de CO₂ vertida a la atmósfera por una central termoeléctrica al producir 1 kWh de electricidad quemando carbón es 1,12 kg, 0,94 kg si el combustible es fuel-oil y 0,57 kg si es gas natural. Aceptando la proporción de las fuentes de energía primaria en la composición energética del kWh como una media muy aproximada de la composición del kWh consumido en España, podemos calcular la masa de CO₂ vertida a la atmósfera al producir un kWh de frío con cada uno de los refrigerantes utilizados en compresión mecánica. Los cálculos se presentan en la Tabla VII.

3.2.4. SISTEMAS DE ABSORCIÓN

Los sistemas de absorción que utilizan el calor residual de procesos térmicos no producen CO₂. Conscientes de esta ventaja, pero teniendo en cuenta que no siempre se puede disponer de calor residual para alimentar los sistemas de climatización, no incluimos este caso en la com-

paración. La competencia medioambiental de las máquinas de absorción con las de compresión mecánica, y en concreto la producción de CO₂ sólo podrá ser efectiva, cuando, utilizando los combustibles comerciales, su producción de CO₂ sea comparable. En consecuencia, determinaremos el CO₂ producido al quemar gasóleo, gas natural o GLPs, cuando son utilizados como fuente de calor de las máquinas de absorción.

De la Tabla III deducimos que la máquina de absorción de amoníaco de simple efecto necesita quemar 2,70 kWh de combustible por cada kWh de frío producido. Si el sistema es el de bromuro de litio-agua, con la máquina de simple efecto se necesitan 1,92 kWh de combustible para producir 1 kWh de frío y 1,02 kWh de combustible con la máquina de doble efecto.

- *Sistemas de absorción alimentados por gasóleo*

Si aceptamos que aproximadamente son necesarios tres kWh de fuelóleo para producir un kWh eléctrico y que el CO₂ producido al quemar la unidad de masa de fuelóleo es igual al producido al quemar un kg de gasóleo, deducimos que al quemar 1 kWh de gasóleo se producen aproximadamente 0,31 kg de CO₂. Operando obtenemos los resultados de la Tabla VIII.

Al comparar estos resultados con los dados en la Tabla VII vemos que las máquinas de absorción que utilizan el gasóleo producen más CO₂ que los sistemas eléctricos. Esto es debido al alto porcentaje de origen nuclear, hidráulico y renovable que componen el kWh eléctrico español medio.

- *Sistemas de absorción alimentados por GLPs*

Los GLPs son mezclas comerciales de hidrocarburos. Si el hidrocarburo presente en mayor proporción en la mezcla es el propano se les suele denominar con

ese mismo nombre. En el caso de ser el butano el predominante, la mezcla combustible es conocida con el nombre popular de butano. Ambas mezclas generan aproximadamente la misma masa de CO₂ cuando arden. Para el caso del propano comercial el CO₂ vertido a la atmósfera por kWh quemado es de 0,25 kg/kWh. Se trata de combustibles con una producción de CO₂ intermedia entre la correspondiente al gas natural y a los combustibles líquidos. En la Tabla IX tenemos la masa de CO₂ generado por estos sistemas.

Las máquinas de simple efecto quemando GLPs producen más CO₂ que las máquinas eléctricas.

Las máquinas de doble efecto de bromuro de litio pueden competir con las máquinas de compresión mecánica con compresor alternativo accionado por electricidad. Cuando se comparan con las máquinas centrífugas vemos que producen más CO₂ pero su competitividad debe valorarse teniendo en cuenta el resto de los aspectos medioambientales: destrucción del ozono y efecto invernadero directo del HCFC123.

- Sistemas de absorción alimentados por gas natural

Hemos visto que la masa de CO₂ vertida a la atmósfera disminuye cuando se utilizan combustibles de bajo contenido en carbono. El uso del gas natural supone una disminución del CO₂ lanzado a la atmósfera del 49,1% cuando se compara con el carbón y del 39,4% en el caso del gasóleo. Si también admitimos que son necesarios tres kWh de gas natural para generar un kWh eléctrico, en este caso se producirán 0,19 kg de CO₂ al quemar un kWh de GN. Operando obtenemos los resultados dados en la Tabla X.

Comparando con los resultados de la Tabla VII vemos que las máquinas de absorción de simple efecto que utilizan gas natural producen más CO₂ que los sistemas eléctricos. La razón es

Tabla IX. CO₂ producido con GLPs

Disolución	kg CO ₂ /kWhf
H ₂ O-NH ₃ (SE)	0,67
LiBr-H ₂ O (SE)	0,48
LiBr-H ₂ O (DE)	0,25

Tabla X. CO₂ producido con Gas Natural

Disolución	kg CO ₂ /kWhf
H ₂ O-NH ₃ (SE)	0,51
LiBr-H ₂ O (SE)	0,36
LiBr-H ₂ O (DE)	0,19

la misma que para el caso del gasóleo.

En el caso de la máquina de doble efecto, si la comparamos con los sistemas eléctricos que utilizan compresor alternativo vemos que es competitiva ya que produce menos CO₂. Comparada con la máquina centrífuga, que opera con el HCFC123, la máquina de doble efecto produce un 26,7% más CO₂. Ahora bien, si tenemos en cuenta que la máquina de absorción no genera efecto invernadero directo y que el sistema centrífugo operando con el HCFC123 sí lo genera (330 veces más que el CO₂ a 20 años, 90 veces a 100 años y 30 a 500 años), y que además destruye el ozono estratosférico (2% del destruido por el R11), podemos decir que la máquina de absorción de bromuro de litio de doble efecto también es competitiva con las máquinas centrífugas eléctricas que operan con HCFC123.

4. Conclusiones

1. Los sistemas de climatización por absorción de doble efecto alimentados por gas natural o GLPs son competitivos, desde el punto de vista energético y económico

con los sistemas de compresión mecánica que utilizan compresores alternativos y centrífugos.

2. Las máquinas de simple efecto que funcionan con el calor obtenido al quemar dichos combustibles no son competitivas desde el punto de vista energético ni económico.

3. Los sistemas de compresión mecánica actuales están sustituyendo los CFCs por otros sistemas que operan con HFCs o HCFCs. Los HFCs no destruyen el ozono y los HCFCs reducen su destrucción en un 98%. Respecto al efecto invernadero, su PEID es importante y como los sustitutos trabajan con menor eficiencia energética, aumenta el PEII.

4. Los sistemas de climatización por absorción de doble efecto alimentados por gas natural producen menos PEII que los sistemas con compresor alternativo y un 27% más que los centrífugos. Su mayor PEII respecto a los sistemas centrífugos se compensa si tenemos en cuenta que no destruyen el ozono y su PEID es cero. Los que utilizan GLPs están en el límite de competitividad.

5. El uso de calor residual es una opción rentable desde el punto

NOMENCLATURA

C: Carga de refrigerante
 CEE: Coeficiente de Eficiencia Energética
 f: Porcentaje de refrigerante anual que se fuga del sistema
 N: Número de años, número de días
 n: Número de horas por día
 PDO: Potencial Destructor del Ozono
 PEID: Potencial de Efecto Invernadero Directo
 peid: Potencial de Efecto Invernadero Directo por unidad de masa
 PEII: Potencial de Efecto Invernadero Indirecto
 peii: Potencial de Efecto Invernadero Indirecto por unidad de frío

P_{meI}: Precio mínimo de la electricidad
 P_{mgn}: Precio mínimo del gas natural
 PTC: Potencial Total de Calentamiento
 Q: Carga térmica. Calor suministrado al generador
 REPF: Relación Energía Primaria - Frío
 TP: Término de potencia
 TE: Término de energía
 TF: Término fijo
 t: Temperatura
 W: Energía eléctrica absorbida por el compresor
 w: Energía eléctrica absorbida por el sistema auxiliar

SUBINDICES

a: Absorción
 aa: Aire acondicionado
 BrLi: Bromuro de litio - agua caldera: Caldera
 central: Central eléctrica
 cm: Compresión mecánica
 DE: Doble Efecto
 g: Generador
 gn: Gas natural
 SE: Simple efecto
 m: Mecánico
 NH₃: Amoníaco - agua
 taa: Térmica de aire acondicionado

GRIEGAS

η : Eficiencia

de vista energético, económico y medioambiental, pero sólo es posible en locales que dispongan de sistemas de cogeneración.

5. Bibliografía

[1] ASHRAE, Refrigeration Handbook. Absorption Cooling, Heating and Refrigeration Equipment (1994).

[2] Guillen Marco, J.A. "Cogeneración y gas natural: Sistemas de cogeneración".

Empresa Nacional del Gas, S.A. Avenida de América 38, 28028 Madrid, España (1988).

[3] Izquierdo, M. y Martín, E. The engine exhaust gases as energy source of an air condensed mobile absorption machine, 19th International Congress of Refrigeration, The Hague. Proceedings IIIa, 329-336, ISBN 2-903 633-79-7, France (1995).

[4] Izquierdo Millán, M., Turet Claparols, J. y Poveda Ciorraga, M. "Climatización de edificios con gas natural". Montajes e Instalaciones, 79-85, Madrid, febrero, (1991).

[5] Clodic, D. y Sauer, F. "Vademécum de la recuperación de los CFC", A. Madrid Vicente, Ediciones, Madrid (1995).

[6] Cavallini, A. CFC and HCFC substitution. Bulletin of the International Institute of Refrigeration, 94-6, 2-11 (1994).

