

PERFORMANCE OF REFRIGERATION SYSTEMS IN PAMPLONA CITY

*¹Clito Afonso and ²José Luís Alexandre

^{1,2} Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal

*clito@fe.up.pt

SUMMARY

This paper analyses the behaviour of refrigeration systems to be potentially implemented in the city of Pamplona. Two alternative systems were compared: the first is a vapour compression cycle in which the working fluid is R404A and the second is a transcritical cycle in which the working fluid is R744. For a realistic comparison, the same design conditions were maintained in both cases. Likewise, it was used the climatic data of the city of Pamplona. The dynamic simulation of the two systems (annual basis) was performed using the Pack Calculation Pro code. It was concluded that the average annual COP of the vapour compression system was 2.78 while of the transcritical was 3.23. Accordingly, the annual saved in electrical energy in the transcritical system was 9945 kWh, equivalent to 13.9% relative to the vapour compression system, thus showing that the transcritical system has a more significant energy performance, at least for this case study. The equivalent CO₂ emissions analysis was carried out.

Keywords: Transcritical systems, vapour compression systems, COP, dynamic simulation, energy saving.

1. INTRODUÇÃO

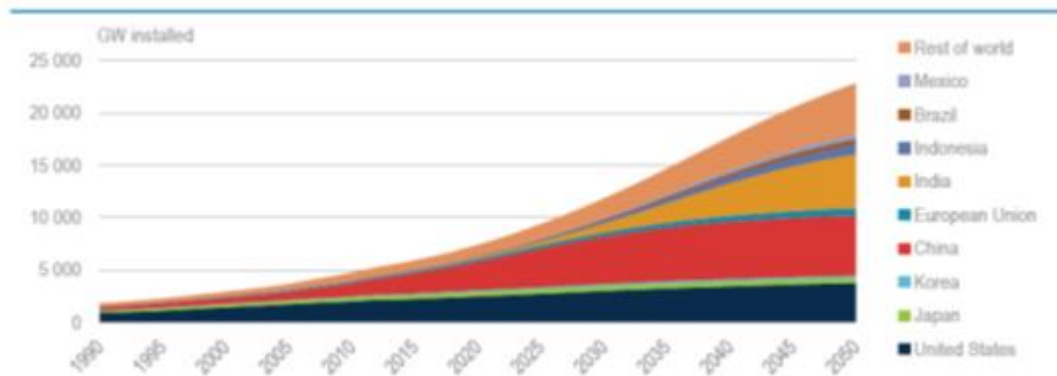
A história da refrigeração pode ser dividida em duas etapas:

- Períodos pré-históricos de refrigeração natural até ao início do século 19;
- Período da refrigeração artificial desde o século 19 até aos dias de hoje.

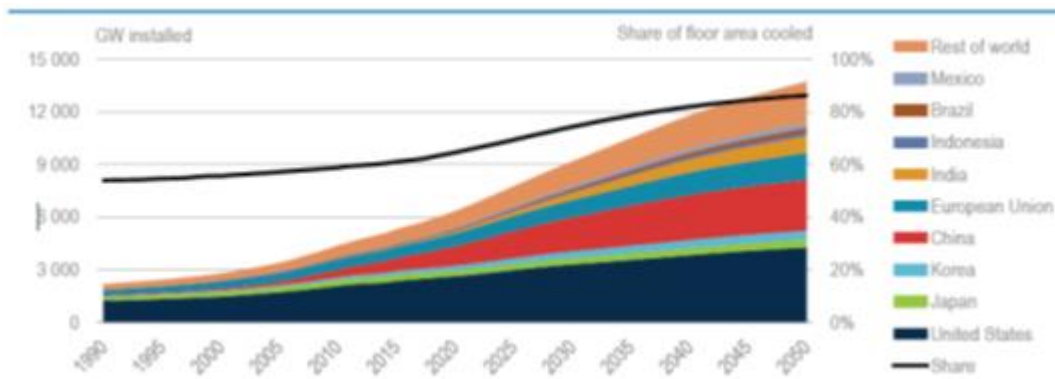
Enquanto que no primeiro período não existia utilização de energia para a produção de frio (era obtido fundamentalmente com gelo natural), no segundo período, com a refrigeração artificial, e com o advento da eletricidade, começou-se a assistir a um consumo crescente desta forma de energia para a produção de frio através de sistemas frigoríficos de compressão de vapor.

Em termos energéticos, a importância do setor do frio hoje em dia, no que concerne à potência instalada para o seu acionamento pode ser visualizada na Fig. 1.a e b), onde se pode ver a potência instalada em dois setores típicos, ar condicionado no setor residencial e comercial. No primeiro caso constata-se que a China e a Índia serão responsáveis por mais de metade da potência instalada em 2050 enquanto que no segundo caso a potência instalada terá um acréscimo desde os 60% até mais de 85% entre 2016 e 2050. A Fig. 2 mostra o que acontece por regiões do mundo, relativamente ao número de unidades de refrigeração existentes bem como as previsões para 2050. Na Fig. 3 mostram-se as perspectivas do crescimento da energia utilizada no setor do frio segundo dois cenários:

“business as usual” e com medidas para tornar os sistemas mais eficientes. Como se pode verificar, políticas efetivas e assertivas podem duplicar, em média, a eficiência dos equipamentos e reduzir a energia necessária em cerca de 45% relativamente ao primeiro cenário.



a)



b)

Fig. 1. Potência instalada, no setor da refrigeração a) arrefecimento residencial e b) arrefecimento comercial [1].

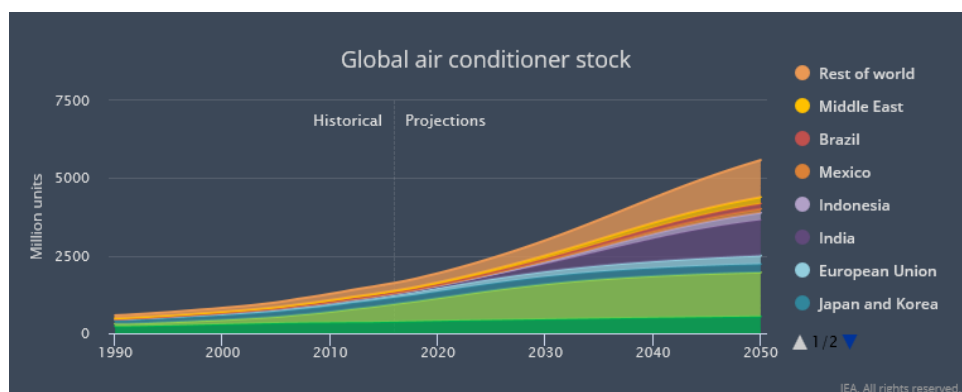


Fig. 2. Número de unidades de refrigeração existentes regiões do mundo bem como as previsões para 2050 [1].

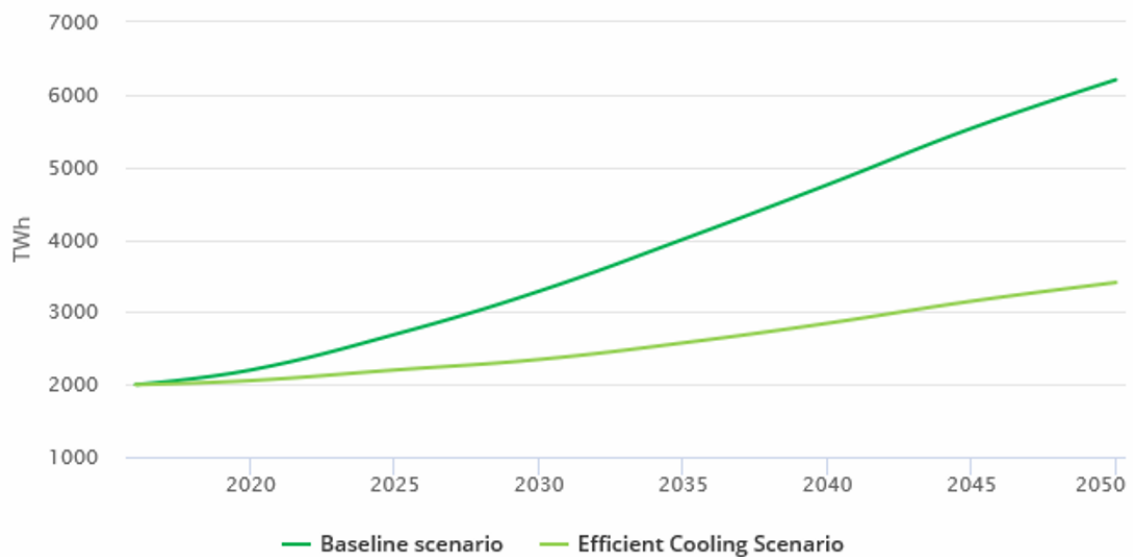


Fig. 3. Crescimento da utilização de energia na refrigeração e potencial de poupança, [1].

Na sequência do que foi dito, é que este trabalho se insere. Pretende-se manter uma câmara de negativos ($T = -10^{\circ}\text{C}$), havendo então necessidade de se escolher um sistema frigorífico adequado. Como ponto de partida, a escolha poderia recair sobre um clássico sistema de compressão de vapor, o que não levantaria problemas, já que se trata de um sistema bem dominado. Porém, há necessidade de se comparar este sistema com outros eventualmente mais eficientes que poderão levar a economias de energia mais ou menos significativas. Neste trabalho optou-se por um ciclo transcrito. Numa análise mais completa, no primeiro caso, poder-se-ia ainda fazer uma escolha de um entre vários fluidos frigoríficos bem como vários tipos de compressores e configurações mais complexas, [2]. O segundo caso é semelhante. Conclui-se assim que este trabalho é muito laborioso até se encontrar a solução ideal, ou próxima.

Depois de simulados os dois sistemas na versão mais simples, para a cidade de Pamplona, o primeiro cujo fluido de trabalho foi o R404A e o segundo foi R744, e fazendo recurso ao código Pack Calculation Pro, [3] pôde concluir-se que, para a mesma carga térmica a extrair do espaço:

- A energia elétrica anual consumida pelo sistema de compressão de vapor era de 71437 kWh enquanto que a do sistema transcrito era de 61492 kWh, que representa uma poupança anual de energia elétrica de 13,9%.
- Nesta sequência, o COP médio anual do sistema de compressão de vapor era de 2,78 e o do sistema transcrito era de 3,23.

Verifica-se deste modo que o ciclo transcrito é energeticamente mais eficiente que o de compressão de vapor, pelo menos para as condições analisadas.

Na secção seguinte mostram-se a metodologia usada para as simulações bem como os resultados mais relevantes das mesmas.

2. METODOLOGIA e RESULTADOS

Os dois sistemas escolhidos estão mostrados na Fig.4.

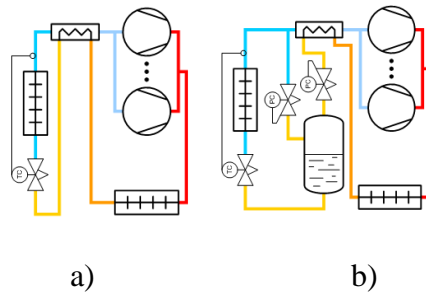


Fig.4. a) Sistema de compressão de vapor, b) Sistema transcrito, [3].

O primeiro passo dado foi fixar a temperatura da câmara de negativos (-10°C) e calcular a sua carga térmica, [4], que foi de 25kW , bem como fixar a temperatura ambiente para o dimensionamento que foi de 30°C . Considerou-se também um sobreaquecimento total de 20°C dos quais 10°C são úteis. O segundo passo dado foi a escolha apropriada dos compressores. Para o ciclo de compressão de vapor foram escolhidos dois compressores semi-herméticos iguais de quatro cilindros (entre outras possibilidades) da marca Bock EX-HG34e/380-4, [5]. Têm uma capacidade frigorífica total de $33,3\text{kW}$ e uma potência de condensação de $47,7\text{kW}$ para as temperaturas de evaporação de -10°C e de condensação 40°C . Para o ciclo transcrito foram igualmente escolhidos dois compressores semi-herméticos de um cilindro da marca Dorin CD 1100 M, [6], com uma capacidade frigorífica total de $34,4\text{kW}$ e uma potência calorífica total libertada no arrefecedor de gás de $55,2\text{kW}$, para a mesma temperatura de evaporação e para uma pressão de arrefecimento de 95 bar .

Com estes dados de entrada no software usado, fez-se uma comparação entre a energia elétrica consumida mensalmente nos dois sistemas (compressores, ventiladores e bombas), Fig.5.

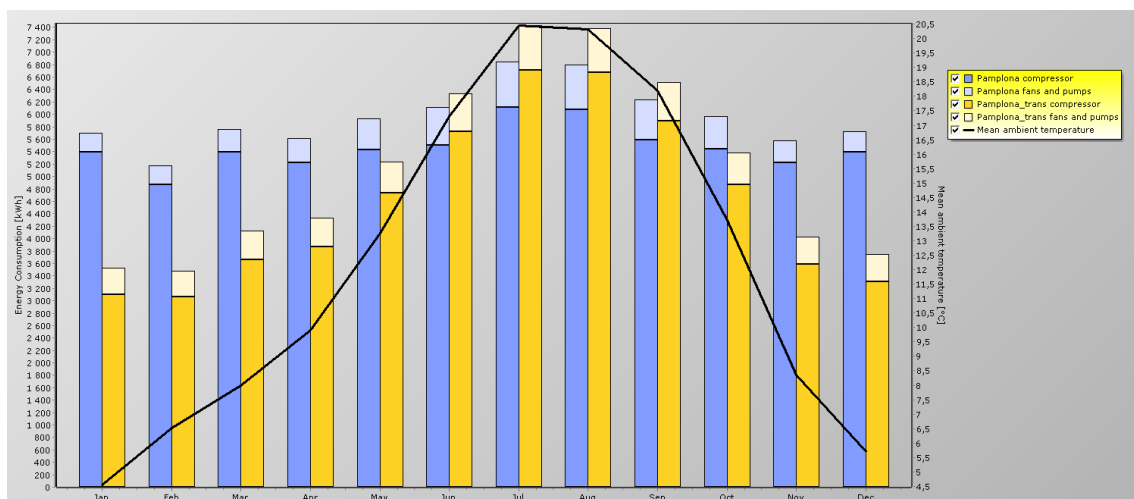


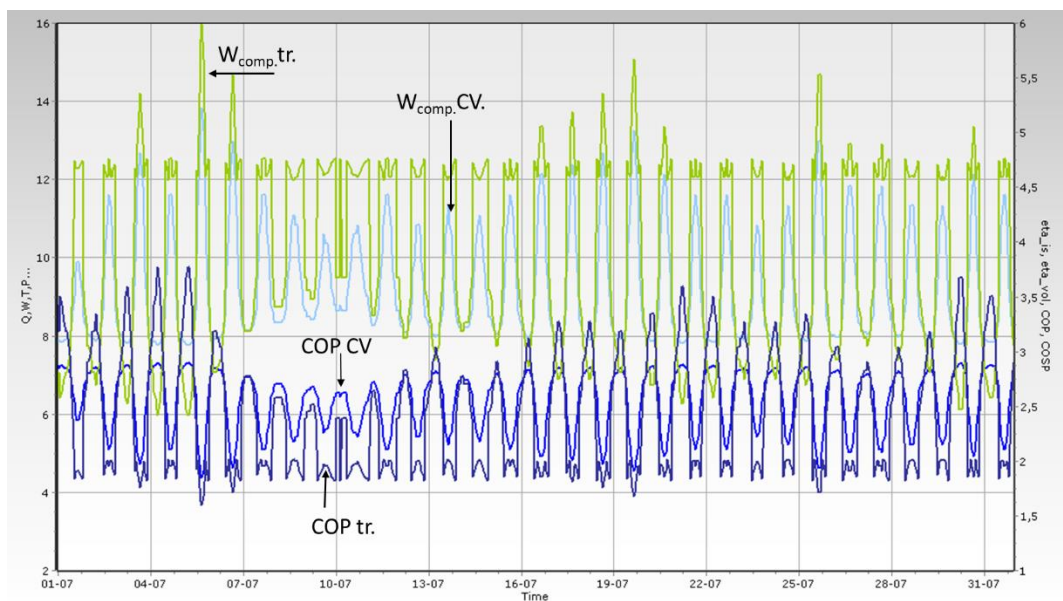
Fig.5. Consumos elétricos anuais dos dois sistemas, [3].

Como se pode verificar pela figura 5, os dois sistemas analisados têm comportamentos energéticos distintos ao longo do ano. Assim, nos meses mais quentes do ano, tipicamente

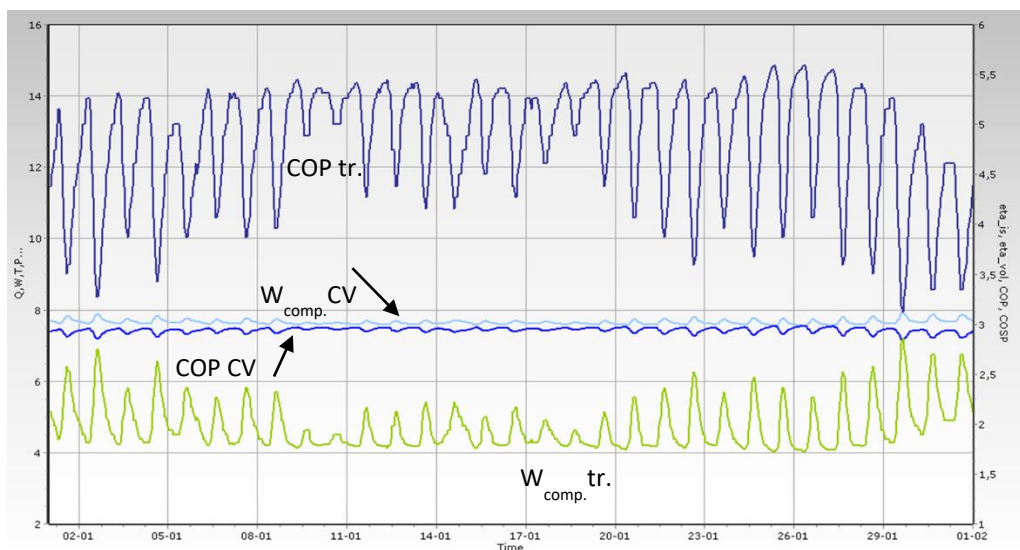
junho a setembro (quatro meses), o sistema transcrito apresenta consumos elétricos mais elevados relativamente ao sistema de compressão de vapor. Pelo contrário, nos meses com temperaturas inferiores (oito meses) o sistema transcrito apresenta um desempenho tanto mais significativo quanto menor for a temperatura ambiente. Como consequência, para uma capacidade frigorífica sensivelmente idêntica, quanto maior for o trabalho de compressão menor será o COP, eq.1 (caso do ciclo transcrito nos meses mais quentes quando comparado com o ciclo de compressão de vapor).

$$COP = \frac{Q_E}{W} \quad (1)$$

Tal pode ser visualizado na Fig.6 que mostra a evolução do trabalho de compressão e do COP de ambos os sistemas no mês mais quente do ano (julho), figura 6a), e no mês mais frio, janeiro, figura 6b).



a) Mês de julho



b) Mês de janeiro

Fig.6. Evolução do trabalho de compressão e do COP de ambos os sistemas no mês de a) julho, e b) de janeiro, [3].

Pelo contrário, nos meses mais frios, o trabalho de compressão é menor o que leva a um valor superior do COP (novamente quando comparado com o ciclo de compressão de vapor). O oposto do que foi dito ocorre com o ciclo de compressão de vapor, i.e., o valor do COP é inferior nos meses nos meses frios e maior nos meses mais quentes.

Como se constata, em julho, apesar de existir uma diferença entre os trabalhos de compressão de ambos os sistemas, esta diferença é pequena o que leva a que os respetivos valores do COP não divirjam muito (energia total usada neste mês no ciclo de compressão de vapor foi de 6849,6kWh, enquanto que no sistema transcrito foi de 7430,4kWh - acréscimo de 8,5%). No entanto, em janeiro, aquela diferença é significativa (o trabalho de compressão do sistema transcrito, 3525,9kWh, é muito inferior ao do sistema de compressão de vapor, 5696,3kWh – acréscimo de 61,5%) o que implica um valor bastante superior do COP do sistema transcrito. Na base anual tem-se para o ciclo de compressão de vapor e do transcrito respetivamente um valor de COP de 2,78 e de 3,23.

2.1 Emissões equivalentes de CO₂

As emissões equivalentes de CO₂ nos sistemas frigoríficos podem subdividir-se em três categorias a saber:

- Fugas
- Perdas na reciclagem
- Indiretas (devido à produção de energia elétrica)

Calculou-se a carga de refrigerante que foi de 3,7 kg para ambos sistemas e estimaram-se perdas de reciclagem de 20% e de fugas de 10% para o ciclo de vida dos sistemas. Os resultados estão mostrados na Fig.7.

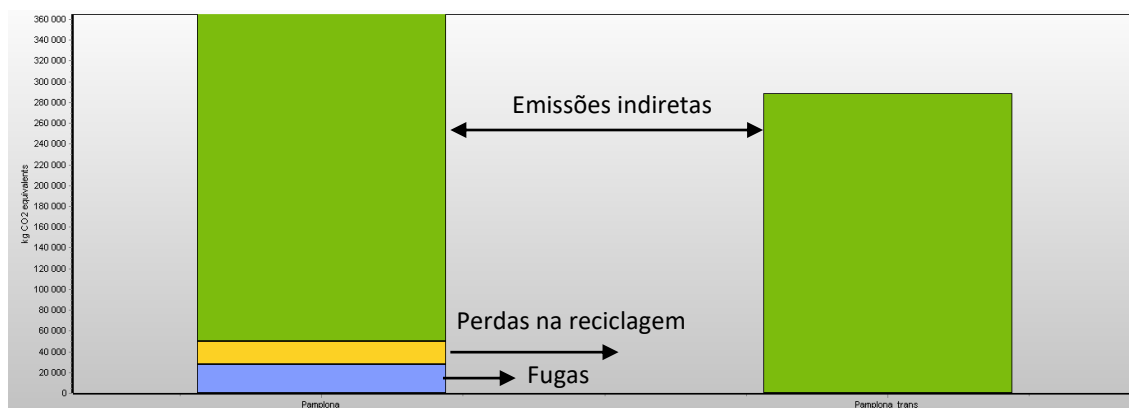


Fig.7 – Emissões equivalentes de CO₂, [3].

Como se pode verificar, as perdas indiretas são as dominantes, enquanto que as contribuições das fugas e perdas na reciclagem são somente revelantes para o R404A e não para os sistemas transcritos cujo fluido de trabalho seja o CO₂. Em termos numéricos o sistema de compressão de vapor tem emissões equivalentes de 385879 kg de CO₂ enquanto que no transcrito as emissões são de 289020 kg de CO₂, ou seja,

relativamente a este último houve um acréscimo de 33,5% nas emissões do ciclo de compressão de vapor.

CONCLUSÕES

Gerais:

- Sempre que seja necessário dimensionar um sistema frigorífico para uma dada instalação, deve-se previamente fazer um estudo comparativo entre diversos sistemas disponíveis de forma a escolher o mais eficiente ao longo do ano, bem como o que emita menor quantidade de CO₂ equivalente para a atmosfera.

Particulares:

- Para uma câmara de negativos ($T = -10^{\circ}\text{C}$) foram analisados dois sistemas frigoríficos alternativos: um de compressão de vapor cujo fluido de trabalho era o R404A e um transcrito com dióxido de carbono. Pode concluir-se que ambos sistemas usavam mais energia elétrica para o seu acionamento nos meses mais quentes e menos nos meses mais frios, acompanhando a temperatura média ambiente.
- Verificou-se também que existia um maior trabalho de compressão do sistema transcrito nos meses mais quentes comparativamente ao ciclo de compressão de vapor, apesar da diferença ser pequena.
- Na base anual tem-se para o ciclo de compressão de vapor e do transcrito respetivamente um valor de COP de 2,78 e de 3,23.
- Relativamente ao sistema transcrito, houve um acréscimo de 33,5% nas emissões de dióxido de carbono no ciclo de compressão de vapor.

REFERÊNCIAS

1. Fonte: The Future of Cooling-IEA
2. Afonso, C. “Sistemas Frigoríficos. ISBN: 978-989-54350 -1-2”. Edição Efeitos gráficos. 2019
3. <http://www.en.ipu.dk/Indhold/refrigeration-and-energy-technology/software-and-simulation.aspx>
4. Mcquiston, F., Parker, J. “Heating, Ventilation, and Air Conditioning. Analysis and Design, John Wiley & Sons, Inc.1994.
5. Software de seleção de compressores Bock. <https://www.gea.com/pt/articles/index/vap-selection-software.jsp>
6. <https://www.dorin.com/en/catalogo-15/SE/>