



CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

VIGILANCIA TECNOLÓGICA DA REFRIGERAÇÃO POR ADSORÇÃO COM ENERGIA SOLAR

José C. Alvarez, pcijjalv@upc.edu.pe
Kazuo Hatakeyama, khatakeyama@uol.com.br

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú

²SOCIESC University Center, Tupy- Joinville, Santa Catarina, SC, Brazil

Resumo: A refrigeração por adsorção com energia solar apresenta muitas aplicações sobre tudo num momento em que as preocupações pelo cuidado ambiental são muito tomadas em conta. Percebe-se, com tudo, uma diversificada pesquisa neste tema, ainda a que envolve a construção de protótipos, que não é muito bem aproveitada. Neste trabalho vai-se a fazer um estudo de vigilância tecnológica identificando autores que publicam no tema, pesquisadores, inventores, assim como protótipos e testes realizados. Os resultados vão a permitir a toma de decisões desde a posição de grupos de pesquisa pouco desenvolvidos neste tema na Latino-America e suas possibilidades de estabelecer alianças e pesquisas conjuntas para pôr aceder e acelerar o posicionamento no tema.

Palavras-chave: vigilancia tecnologica, refrigeração por adsorção, energia solar.

1. INTRODUÇÃO

A refrigeração por adsorção, que consome energia térmica solar, aumenta as possibilidades de cuidado do meio ambiente. Além disso, ela troca o uso de refrigerantes tradicionais para outras que não danificam a camada de ozono. Além disso, facilita o desenvolvimento e aplicação de materiais adsorbentes, como zeólitos e sílica gel, entre outros.

Desideri *et al* (2009) realizaram uma análise técnica e económica das aplicações de ar condicionado solares por adsorção. Enquanto isso Sarbu & Sebarchievici (2013) realizou uma análise comparativa desses sistemas com os sistemas de refrigeração por ejetores.

As investigações neste tema ao nível Latino-americano, refletida em patentes e/ou publicações, são relativamente baixas, apesar das possibilidades significativas de aplicação. O objetivo da pesquisa é identificar redes ou grupos de pesquisa, bem como a trajetória tecnológica, que foi seguida no tema, a fim de contribuir na projeção da estratégia de investigação.

A questão subjacente ao presente inquérito é: Como celerar a investigação e as aplicações no tema da refrigeração solar por adsorção?.

A hipótese é, H_1 : Se é realizada a vigilância tecnológica no tópico: refrigeração solar por adsorção, então será possível contar com elementos para tomar decisões para um melhor posicionamento tecnológico.

Também é possível, como defendido por Porter & Newman (2011), i) utilizar a vigilância tecnológica para gerar novo conhecimento encontrando investigações realizadas com o intuito de utilizar os seus dados para novos estudos, sem a necessidade de recorrer às evidências de laboratório, e ii) para fazer inferências através da intersecção entre áreas adjacentes às adjacentes.

2. VIGILANCIA TECNOLÓGICA

A vigilância tecnológica permite mapear o estado real de uma tecnologia determinada, por meio da identificação de pesquisadores / inventores ligados ao tema, através da identificação de suas publicações e / ou patentes. Os pesquisadores / inventores ligados a laboratórios, organizações, grupos de pesquisadores, universidades, empresas, entre outros são os atores para produzir nova tecnologia.

A vigilância tecnológica foi incluída no início do processo de pesquisa, desenvolvimento e inovação, na normativa tecnológico existente (Indecopi, 2011). Isto implica que, a vigilância tecnológica é o ponto de partida para o desenvolvimento dos processos de inovação.

Estabelecendo analogia entre vigilância tecnológica e a técnica de observação-orientação-decisão-ação (OODA) proposto por Boyd (1987), implica que a vigilância tecnológica corresponde aos momentos de observação e orientação do OODA, enquanto a inteligência competitiva seria análoga à decisão e ação.

A observação implicará a determinação do tema da vigilância, da trajetória tecnológica, bem como o comportamento do sistema tecnológico.

Dosi (1982) apontou, que *"a trajetória tecnológica é o sentido de avanço dentro de um paradigma tecnológico"*, pela relação de causalidade com o passado, que tem implicado evolução dos sistemas tecnológicos. De acordo Altshuller e seus seguidores (Petrov, 2002), essa evolução é governada por dez leis: a integração de peças, transmissão de energia, harmonização das fases, aumentando idealidade, desenvolvimento relativo dos sistemas, a transição para um super-sistema tecnológico, a transição do sistema de macro ao microsistema, incremento dinâmico, mais interação entre substância e campo, e da inércia psicológica.

Assim, de acordo com os autores, os sistemas tecnológicos evoluir de acordo aquelas 10 leis. No entanto, o desenvolvimento dos sistemas tecnológicos ocorre com velocidade diferente, por isso alguns sistemas têm um desenvolvimento mais rápido do que outros, isso implica que algumas entradas ou partes ainda não poderia estar disponível, nem desenvolveu ainda, porque pertencem a um sistema mais defasada. Além disso, a evolução dos sistemas tecnológicos poderia ser o somatório das curvas "S".

Escorsa & de la Puente (2002), que cunharam o conceito de árvore de tecnologia dual, afirmam que:

"A mudança tecnológica é um salto de um ramo para outro. Se os galhos estão muito distantes deve voltar tanto no ramo de conectar, porque produziu um avanço tecnológico. A distância entre os ramos pode ser usada para medir a relação entre duas tecnologias. Esta distância mede o grau de vulnerabilidade da tecnologia de uma empresa voltada para a inovação no outro ramo".

A etapa de orientação corresponde com a busca de publicações e / ou patentes sobre o tema delimitado na fase de observação.

No final desta fase é possível, com as mesmas variáveis, desenvolver estudos de previsão tecnológica e / ou estudos de prospectiva tecnológica. Em particular é possível prever a inovação disruptiva de acordo com a evolução do sistema tecnológico Sun & Tan (2012). Inclusive, segundo Liao *et al* ((2016) é possível reconstruir a curva 'S' da sub-tecnologia em questão.

Porter & Newman (2011), por seu lado professam que poderiam realizadas investigações com dados, testes e resultados, obtidos em laboratórios distantes, e que já tinha utilizado a outras publicações. Estes autores sustentam *"... que se pode descobrir uma nova descoberta através de reconhecimento de padrões - uma descoberta que não é em si está presente nos dados", com que sustentar a sua "descoberta de conhecimento estruturado"*.

Também estes autores defendem que é possível realizar descobertas com base na literatura, visando por novos conhecimentos, pela intersecção de temas, que a sua vez intersectam com os temas em estudo.

3. SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO POR ADSORÇÃO COM ENERGIA SOLAR

De acordo com Sarbu & Sebarchievici (2013) as tecnologias de refrigeração termicamente impulsionadas estariam classificados em duas categorias: tecnologia ab / adsorção (sistemas abertos ou fechados), e tecnologia de termomecânica (sistema ejetor).

Tanto a absorção como o da adsorção são técnicas físico-químicos de separação. No primeiro caso, o vapor é absorvido pelo líquido, enquanto que no segundo caso, o vapor é absorvido pela forma de um sólido, após o que, em ambos os casos, o refrigerante é libertado. As forças intermoleculares são superiores na absorção do que na adsorção, neste ponto, os autores argumentam que *"a refrigeração de adsorção tipicamente necessita temperaturas da fonte de calor mais baixos do que a refrigeração de absorção"* (Sarbu & Sebarchievici, 2013).

Ambas, a refrigeração por absorção e de refrigeração por adsorção, são baseados em princípios semelhantes, de modo que no primeiro caso, o líquido incorpora o vapor do refrigerante, enquanto no segundo caso, um sólido incorpora o vapor do refrigerante.

No sistema de refrigeração por adsorção, com base no princípio físico-química da adsorção, através da qual um material adsorvente espontaneamente absorve o fluido, o qual, logo receber o calor que é libertado. O fluido refrigerante depois de liberada flui para o condensador, onde dissipa o calor, depois de passar a válvula de estrangulamento atinge o evaporador, onde pega o calor do meio para ser refrigerado.

Caciula *et al* (2015) manifestam que *"há pouca experiência e pouco conhecimento no planejamento e projeto de sistemas de resfriamento solar e não há guia padrão completa disponível para a concepção de tudo o sistema"*.

Como tem sido apontado, ambos os sistemas de refrigeração por absorção e por adsorção, necessitam de calor como fonte de energia. Este calor pode vir de gases de escape, da combustão do gás natural, da energia solar, entre outras fontes.

Estas duas tecnologias (absorção e adsorção) constituem dois ramos da árvore tecnológico dual. Por outro lado, ambas, em conjunto com a refrigeração por injeção de vapor, são apropriadas para obter a refrigeração solar.

4. METODOLOGIA

A metodologia seguida foi:

- Aplicar técnicas de vigilância tecnologia. As patentes foram identificadas pelo uso de Patente Matheo software. Considerou-se instituições candidatas com dois ou mais patentes.
- As publicações foram mapeados uma vez que aqueles registrados em base de dados Scopus da Elsevier, que rende pontos para o ranking Scimago SIR.

- Segundo o recomendado por Porter & Newman [3] foram identificados e analisados 10 protótipos de refrigeração por absorção solar, e 10 protótipos de refrigeração de adsorção solar. Com o intuito de gerar novo conhecimento.
- Neste mesmo sentido foram identificados temas de pesquisa, adjacentes aos adjacentes, a fim de também gerar novo conhecimento.

5. RESULTADOS

O sistema tecnológico de refrigeração por adsorção que utiliza energia solar tem tido um desenvolvimento refletido no número de patentes e publicações. Um sistema convergente, com este, seria o dos coletores solares para capturar a energia solar térmica e alimentar aos aparelhos de refrigeração por adsorção. Outro sistema, também convergente, seria o dos materiais hidro geles poliméricos, entre outros, utilizados como adsorventes.

5.1 Refrigeração solar com ambas as técnicas de separação (adsorção e absorção)

Segundo as palavras chave y reportados desde o ano 2000, na base de dados SCOPUS, se encontrou os seguintes documentos:

Tabela 1. Refrigeração por ab/ad sorção

Palavras-chave	No artigos
“refrigeration” and “absorption” and “adsorption” and “solar energy”	27
“air conditioning” and “absorption” and “adsorption” and “solar energy”	18
“refrigeration” and “air conditioning” and “absorption” and “adsorption” and “solar energy”	08

Palavras-chave:	Autores com mais publicações	
	Autores	No.
“refrigeration” and “absorption” and “adsorption” and “solar energy”	Wang, R.Z.	04
	Li, M.	02
	Fong, K.F.	02
	Lee, C.K.	02
	Zhang, X.J.	02
“air conditioning” and “absorption” and “adsorption” and “solar energy”	Fong, K.F.	02
	Lee, C.K.	02
“refrigeration” and “air conditioning” and “absorption” and “adsorption” and “solar energy”	Fong, K.F.	02
	Lee, C.K.	02

Fonte: Elaboração própria desde SCOPUS acessado no 25/01/2016

5.2 Refrigeração solar por adsorção

A continuação focando somente na refrigeração solar por adsorção é realizada uma nova busca no SCOPUS.

Tabela 2. Refrigeração por adsorção com energia solar

Palavras-chave:	No. de publicações
“refrigeration” and “adsorption” and “solar energy”	119
“air conditioning” and “adsorption” and “solar energy”	57

Palavras - chave:	Autores com mais publicações	
	Autores	No.
“refrigeration” and “adsorption” and “solar energy”	Wang, R.Z.	46
	Li, M.	14
	Dai, Y.J.	09

	Wu, J.Y.	09
	Xu, Y.X.	07
	Luo, H.L.	05
	Mimet, A.	05
	Zhang, M.	05
“air conditioning” and “adsorption” and “solar energy”	Fong, K.F.	02
	Lee, C.K.	02
“refrigeration” and “air conditioning” and “adsorption” and “solar energy”	Fong, K.F.	02
	Lee, C.K.	02

Instituições com mais publicações em refrigeração por adsorção:	
Universidade:	No
Shanghai Jiaotong University	57
Yunnan Normal University	11
Shanghai Ocean University	05
Alfaisal University	05
Universiti Kebangsaan Malaysia	04

Protótipos de refrigeração por adsorção identificados	
Palavras-chave	Número de artigos
“refrigeration” and “adsorption” and “prototype”	43
“refrigeration” and “adsorption” and “prototype” and “experimental”	28

Fonte: Elaboração pelos autores desde SCOPUS acessado no 18/12/2015

Dos 28 artigos vinculados a protótipos de refrigeração por adsorção, foram escolhidos 10 que segundo os resumos tinham implicado a construção e teste de um protótipo.

Tabela 3. Publicações que reportam protótipos de refrigeração por adsorção

Publicação	Adsorvente e refrigerante	Parâmetros considerados
Brines <i>et al</i> (2016)	Sílica-gel e água	Massa de sílica-gel, número de aletas metálicas no leito de sílica-gel, orientação do coletor solar (ângulo de azimute), melhoria do esfriamento do coletor durante a noite, resistência de contato térmico entre a sílica-gel e a placa do coletor, área superficial do condensador, área de superfície de evaporação, propriedades radiantes do coletor de placa, isolamento térmico do gabinete refrigerado.
Pan <i>et al</i> (2014)	Cloreto de cálcio /carvão ativado e amônia	Tempo de recuperação da massa, tempo do ciclo, temperatura de esquentado, temperatura de evaporação, temperatura da água de esfriamento.
Mahesh & Kaushik (2013)	Carvão ativado e metanol	Diferentes <i>ratios</i> de massa de carvão ativado desde 0.250 até 2.50
Lu <i>et al</i> (2012)	CaCl ₂ – carvão	Potência específica de refrigeração (SCP) e

	ativado e amônia	coeficiente de performance (COP) foram calculados com dados experimentais.
Abu Hamdeh & Al-Muhtaseb (2010)	Carvão ativado e metanol	COP, produção de frio
Wang <i>et al</i> (2005)	Sílica-gel e água	Capacidade de refrigeração, COP
Wang <i>et al</i> (2003)	Carvão ativado e metanol	COP, potência específica de refrigeração
Wang <i>et al</i> (2002)	Carvão e metanol	COP do sistema, COP do ciclo, Produção de gelo
Wang (2001)	Carvão ativado	Produção de gelo
Saha <i>et al</i> (2000)	Sílica - gel e água	Capacidade de refrigeração, COP

Fonte: Elaboração pelos autores desde SCOPUS

5.3 Patentes de refrigeração por adsorção com energia solar

A busca das patentes foi feita com os recursos da European Patent Office - EPO a través da introdução das palavras chave: “energia solar” e “refrigeração por adsorção” desde o ano 2004.

Foram identificadas onze patentes: dez pertencendo a China e uma a USA.

Tabela 4. Patentes por instituição

Patentes	Instituição	Classificação IP
Solar-driven jetting-dual-adsorption-bed combined refrigeration system	University of Chongqing	F25B25/00
Heat exchanger operation auxiliary system and heat exchanger system using system	University of Henan Science & Technology	F25B17/08
Indirect evaporation coupling solar cold and hot combined supplying system for rural family	University of Guangdong Ocean	F25B27/00
Cool-storage type solar energy adsorption refrigeration house	Wuhan Yuhe Dingyu Refrigeration Technology Co Ltd	F25D13/00
Finned tube type solar adsorption refrigeration system	Yunnan Normal University	F25B27/00
Adsorption type low temperature heat resource power generation and refrigeration device	University of Shanghai Jiaotong	C09K5/00
Solar complex energy device for refrigerated storage and desiccation of agricultural products	University of Kunming Science & Technology	A23B9/00
Water generation from air utilizing solar energy and adsorption refrigeration unit	Adnan Ayman Al-Maaitah,	F25B27/00
Mini size distributed type solar energy driven combining system for supplying cool, hot energy and electricity	University of Shanghai Jiaotong	F24D17/00
Solar energy adsorption type refrigerating fresh-keeping warehouse	University of Tianjin Commerce	F25B27/00
Apparatus for water production from air by employing solar-powered intermittent absorption refrigeration	University of Tianjin Commerce	E03B3/28

Fonte: Elaboração por autores desde EPO

5.4 Identificação de temas adjacentes aos adjacentes

A análise da tabela 3 permite identificar um tema adjacente ao tema: protótipos de refrigeração por adsorção, o tema: recuperação de calor do escape com fins de refrigeração por adsorção.

6. Análise dos resultados

No que diz respeito às publicações, entre os oito primeiros autores o primeiro lugar é ocupado por um autor que tem 46 artigos em refrigeração solar por adsorção. Nos protótipos selecionados referidos a refrigeração por adsorção, encontrou-se que:

Tabela 5. Par refrigerante/adsorvente no protótipo identificado

Par Refrigerante/adsorvente	Refrigeração por adsorção	
	H ₂ O/Sílica gel	03
	Metanol/ carvão ativado	05
	Cloreto de cálcio /carvão ativado e amônia	02

Nos protótipos de refrigeração por adsorção, a preferência é o par de metanol / carvão ativado, seguido de perto pelos aplicativos com o par: água e gel de sílica.

Há alguma correlação entre as universidades com mais publicações e mais patentes, na refrigeração solar por absorção, assim Shanghai Jiao Tong University e Yunnan Normal University, ambos têm publicações e patentes.

7. Conclusões

Nas pesquisas de refrigeração por adsorção deve ser privilegiado o par água e sílica gel, assim como o par metanol e carvão ativado pela sua tendência na pesquisa mundial e porque algumas investigações foram realizadas localmente (no Peru), mesmo que esporadicamente nestes temas.

A partir dos protótipos e estudos identificados, sobre a refrigeração solar por adsorção, é aberturada a possibilidade de realizar o estudo comparativo entre protótipos e resultados de testes, para produzir novos conhecimentos.

Analisando temas adjacentes surge a utilização do calor dos gases de escape de veículos com fins de refrigeração por adsorção.

A identificação das universidades com mais publicações e patentes no tópico da refrigeração solar por adsorção, como Jiao Tong University e Shanghai Normal University Yunnan, dá a oportunidade para o estabelecimento de redes formais e informais com eles. Isto implica que em refrigeração de adsorção há mais possibilidades para novas pesquisas, destacando a correspondente relação entre conhecimento e criatividade.

8. REFERÊNCIAS

- Abu Hamdeh, N. H. and Al-Muhtaseb, M. A. (2010) "Optimization of solar adsorption refrigeration system using experimental and statistical techniques" *Energy Conversion and Management*, 51 (8), pp. 1610-1615
- Boyd, J. (1987) "Organic Design for Command and Control" available at <http://www.dnipogo.org/boyd/pdf/c&c.pdf>, 1987.
- Brines, G. J. V. N., Costa, J. J. and Costa, V. A. F. (2016) "Influence of the design parameters on the overall performance of a solar adsorption refrigerator". *Renewable Energy*, vol. 86, 2016.
- Caciula, T., Panit, V. and Popa, V. (2015) "Theoretical and Experimental Research Regarding Operating Conditions of the Refrigeration Absorption/Adsorption Machines Using Solar Energy", *Applied Mechanics and Materials*, vol. 659, pp 325-330.
- Desideri, U., Proietti, S. and Sdringola, P. (1989) "Solar powered cooling systems: Technical and economic analysis on industrial refrigeration and air-conditioning applications". *Applied Energy*.
- Dosi, G. (2002) "Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change" *Research Policy*, Volume 11, Issue 3.
- Escorsa, P. and de la Puerta, E. (2002) "La estrategia tecnológica de la empresa: una visión de conjunto" en *Inteligencia Competitiva. Documentos de Lectura - UOC*.

- Indecopi (2011) Norma Técnica Peruana - NTP 732.003 Gestión de la I+D+i. Requisitos del Sistema de gestión de la I+D+i
- Lu, Z. S., Wang L. W. and Wang, R. Z. (2012) "Experimental analysis of an adsorption refrigerator with mass and heat-pipe heat recovery process" *Energy Conversion and Management*, 53 (1), pp. 291-297.
- Mahesh, A. and Kaushik, S. C. (2013) "Solar adsorption refrigeration system using different mass of adsorbents" *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 111 (1), pp. 897-903.
- Pan, Q. W., Wang, R. Z., Lu, Z. S. and Wang, L. W. (2014) "Experimental investigation of an adsorption refrigeration prototype with the working pair of composite adsorbent-ammonia" *Applied Thermal Engineering*, 72 (2), pp. 275-282.
- Porter, A. and Newman, N. (2011) "Mining external R&D" *Technovation* 31.
- Petrov, V. (2002) "The Laws of System Evolution". The TRIZ Journal. Available in <http://www.triz-journal.com/laws-system-evolution/>.
- Saha, B. B., Alam, K. C. A., Akisawa, A., Kashiwagi, T., Ng K. C. and Chua, H. T. (2000) "Two-stage non-regenerative silica gel-water adsorption refrigeration cycle" *American Society of Mechanical Engineers, Advanced Energy Systems Division (Publication) AES*, 40, pp. 65-69
- Sarbu, I. and Sebarchievici, C. (2013) "Review of solar refrigeration and cooling systems" *Energy and Buildings* 67.
- Sun, J. and Tan, R. (2012) "Method for forecasting DI based on TRIZ technology system evolution theory" *International Journal of Innovation and Technology Management*, vol. 9, No 2.
- Wang, D. C., Xia, Z. Z., Wu, J. Y., Wang, R. Z., Zhai, H. and Dou, V. D. (2005) "Study of a novel silica gel-water adsorption chiller. Part I. Design and performance prediction" *International Journal of Refrigeration*, 28 (7), pp. 1073-1083.
- Wang, R. Z., Li, M., Xu, Y. X., Wu, J. Y. and Shou, H. B. (2002) "A combined cycle of heating and adsorption refrigeration: Theory and experiment" *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, 124 (1), pp. 70-76.
- Wang, R.Z. (2001) "Adsorption refrigeration research in Shanghai Jiao Tong University" *Renewable & sustainable energy reviews*, 5 (1), pp. 1-37.
- Wang, S. G., Wang, R. Z. Wu, J. Y. and Xu, Y. X. (2003) "Experimental Results and Analysis for Adsorption Ice-Making System with Consolidated Adsorbent" *Adsorption*, 9 (4), pp. 349-358.

9. RESPONSABILIDADE AUTORAL

"Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho".

TECHNOLOGICAL SURVEILLANCE OF THE SOLAR ADSORPTION REFRIGERATION

José C. Alvarez, pcijjalv@upc.edu.pe

Kazuo Hatakeyama, khatakeyama@uol.com.br

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú

²SOCIESC University Center, Tupy- Joinville, Santa Catarina, SC, Brazil

Abstract. The cooling by adsorption with solar energy has many applications, especially, when the preoccupation for the environmental is increasing. However, the research in this topic is much dispersed. For example, the research about construction and tests of these prototypes could be better used. In this work will do a technological surveillance the adsorption refrigeration by solar energy, through the identification of authors who publish on the topic, researchers, inventors, and the prototypes constructed and tested. The results will allow improving the position of research groups identified in this area in Latin America through of establishing alliances and joint research, to accelerate the positioning in the subject.

Keywords: technological surveillance, adsorption refrigeration, solar energy