

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA GRANDE SOLUÇÃO APLICANDO ANTIGOS CONHECIMENTOS

1- INTRODUÇÃO E CENÁRIO ATUAL

Em frentes variadas da Ciência e da Tecnologia, cientistas e engenheiros, buscam soluções para o Planeta. Muito interessante é que a linha mestra para desenvolvimento desses trabalhos deverá continuar sendo a tradicional iniciativa da humanidade, aumentar a eficiência dos processos.

As projeções da Agência Internacional de Energia mostram que o uso mais racional e eficiente da energia, tem mais condição de reduzir emissões de CO₂ nos próximos 20 anos do que todas as outras opções reunidas.

Maior eficiência cria maior competitividade para todas as fontes de energia, inclusive as renováveis, o que eleva o potencial mundial de oferta de energia. O resultado será como se a infra-estrutura industrial, dos transportes e da população em geral, se tornasse aumentada sem grandes investimentos e portanto as emissões de gases para a atmosfera seriam reduzidas proporcionalmente ou ficariam pelo menos em valores estáveis, acarretando assim uma substancial economia de recursos financeiros. Ou seja: **A EFICIÊNCIA É A GRANDE SOLUÇÃO PARA O PLANETA.**

Outro aspecto importante é que a eficiência energética está praticamente circunscrita ao âmbito da Engenharia o que de um modo geral prescinde de “descobertas”. São dezenas de ações e projetos bem conhecidos dos engenheiros industriais.

Um fator importante para a elevação da eficiência energética é o melhor aproveitamento do conteúdo energético dos gases resultantes de combustão industrial, principalmente por acarretar também a redução dos custos de uma outra operação a jusante, que vem sendo muito considerada: a captura para confinamento do CO₂ contido nessa corrente, ou para várias outras aplicações.

No caso de caldeiras e fornos, a temperatura dos gases de combustão varia tipicamente, entre 175°C e 220°C. Já os gases exaustos das turbinas a gás sem aproveitamento de calor residual saem acima de 400°C.

Aqui apresentamos aplicações de tecnologias antigas e baseadas em princípios da Física costumeiramente conhecidos e estudados pelos Engenheiros, que são capazes de aumentar a eficiência energética.

Estamos nos referimos ao Ciclo de Rankine Orgânico, ao Ciclo Brayton com CO₂ supercrítico e porque não, a aplicação simultânea das duas tecnologias no mesmo local ou no mesmo equipamento de troca térmica com combustão.

Outras variáveis têm de ser ajustadas pela Engenharia Química, como:

= o ponto de orvalho dos gases de combustão

= as baixas concentrações do CO₂, que exigem tratamento de grandes volumes de gás

= a baixa pressão dos gases de combustão agrava ainda mais o problema das grandes dimensões dos equipamentos.

= a presença de Oxigênio provoca corrosão dos equipamentos e degradação do absorvente empregado na captura do CO₂

= o SO₂ e NO₂ presentes reagem com as aminas usadas na absorção química formando sais instáveis que aumentam as perdas desses absorventes e também provocam corrosão nos equipamentos.

2 - CICLO RANKINE ORGÂNICO (ORC)

Este ciclo, conhecido como ORC (Organic Rankine Cycle), pode extrair energia de forma eficiente, de gases de combustão com temperaturas de saída para a atmosfera, relativamente baixas. O ORC adicionado recupera energia sob a forma de eletricidade, com capacidade suficiente para atender ao seu consumo próprio e disponibilizar quantidades muitas vezes maiores, de energia.

O ORC tem a mesma configuração do típico Ciclo de Rankine, como na figura nº1, ou seja, bomba de alimentação, vaporizador (caldeira) que recebe calor da fonte quente (no caso o fluxo de gases de chaminé), turbina

acionadora de gerador de energia elétrica e condensador. Porém, em lugar de utilizar água como fluido circulante, utiliza um composto orgânico como Etano, Propano, Propileno, misturas de gases ou outros refrigerantes com nomes comerciais registrados. Conseqüentemente opera com temperaturas menores que o Ciclo de Rankine baseado em água e vapor de água, possibilitando maior resgate da energia contida nas correntes de gases de combustão.

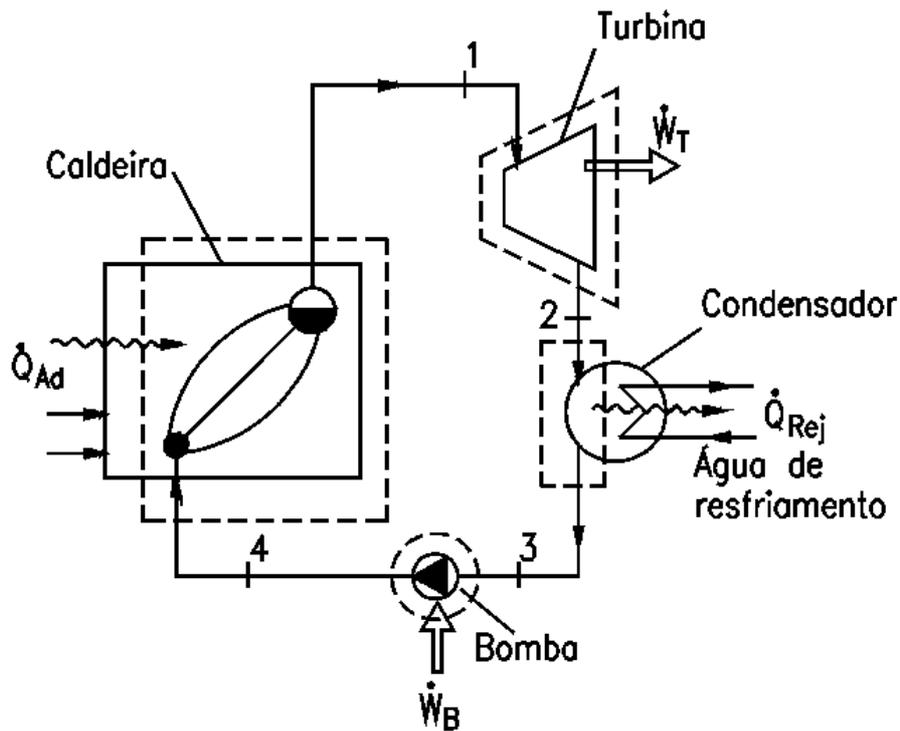


Fig.1 – Ciclo Rankine. Fonte: referência 3

No artigo “Recover Waste Heat From Fluegas” de Ali Bourji, John Barnhart, Jimmy Wunningham e AlanWinstead, publicado na revista Chemical Engineering September 2010 páginas 37-40, e “Convert Waste Heat Into Eco-friendly Energy” dos mesmos autores, publicado na revista Hydrocarbon Processing December 2010 páginas 57-61, estão apresentadas análises tomando por base um ORC utilizando como fluido circulante o refrigerante de nome comercial R-245fa (1,1,1,3,3 – pentafluorpropano) produzido pela Honeywell.

A adição de um sistema ORC nos gases de combustão vai ao encontro da eficiência energética, possibilitando gerar energia elétrica a partir de uma perda normalmente aceita, incrementando portanto, as razões: energia útil/combustível e energia útil/emissões.

A extração do CO₂ da corrente de gases de chaminé permitirá a inclusão de um ciclo Brayton a jusante, com CO₂ supercrítico, capaz de introduzir mais uma outra geração adicional de energia elétrica obtida pela continuação do processamento da mesma corrente emanada da chaminé.

A título de lembrança somente, para cada mol de gás natural queimado com 10% de excesso de ar, temperatura de chaminé de 250°C, num forno, caldeira etc, resulta em 12,15 mols de gases de combustão com um percentual volumétrico de CO₂ de 8,9% e com um volume 21 vezes o volume de gás natural suprido.

Há uma relação linear entre a razão (Rec) definida como (PELR/milhão de m³/h de gás de combustão) e a Temperatura dos gases de combustão efluentes, onde chamamos:

PELR = potência elétrica líquida recuperada pelo ORC em (MW)

Quanto maior a temperatura dos gases de combustão saindo da chaminé, maior a razão (Rec), para a mesma temperatura ambiente considerada.

Esta constatação indica que equipamentos que apresentam menor eficiência energética, como os equipamentos de gerações mais antigas, podem ter uma mudança significativa de desempenho, pela aplicação de um ORC antes do envio dos gases de combustão para a atmosfera.

Ali Bourji, e outros, citados anteriormente, desenvolveram uma equação empírica, com base em pesquisa com dados de simulações, com temperaturas de gases de combustão entre 176°C e 260°C e temperaturas ambiente entre 10°C e 38°C, capaz de calcular a PELR, com desvios percentuais de menos de 0,30%.

A equação é a seguinte:

$$P = Q_{fg} [AT_{fg} T_a + BT_a + CT_{fg} + D]$$

P = potência líquida recuperada (kW)

A = -0,00411 (constante adimensional)

B = 0,775 (constante adimensional)

C = 1,122 (constante adimensional)

D = -211,63 (constante)

Q_{fg} = vazão de gases de combustão em milhões de (std. ft³/h)

T_{fg} = temperatura dos gases de combustão antes do ORC (°F)

T_a = temperatura ambiente (°F)

Conforme ressalvado pelos autores essa expressão pode ser usada para avaliações preliminares de potenciais de aumento de eficiência.

Assim eles fizeram uma estimativa de um valor de (Rec) utilizando o R-245fa, de 6,2 MW para cada 1.000.000 m³/h de gás de combustão nas condições padrão. Os gases efluentes finais ficando a 85°C.

Realmente sabemos que cada instalação tem várias particularidades e condições de operação, como: tipos de combustíveis, condições geográficas e climáticas, regimes de operação, preços de combustíveis e de energia elétrica, etc. Então, para que se tenha estudos de viabilidade técnica e econômica, faz-se necessário balanços materiais e de energia apropriados, dimensionamento de equipamentos e condições de implementação escolhidas, elaboradas especialmente para cada caso.

Temos que considerar nos cálculos: vazão dos gases de combustão, sua temperatura e composição, temperatura ambiente e dados climáticos da região.

A escolha do fluido circulante terá reflexo importante na economicidade da adição de um ORC, tanto em instalações existentes como em projetos de novas plantas. O critério se baseia nas propriedades termodinâmicas do fluido, que devem ser por uma questão de lógica de transferência de calor: temperatura crítica e ponto de condensação relativamente altos, em relação à faixa de temperatura entre os gases efluentes do equipamento onde ocorre a combustão e a temperatura do ar ambiente.

O fluido escolhido deverá ter elevada temperatura de decomposição e não deverá ser considerado pela legislação local um composto orgânico volátil (VOC).

Cabe ser observado também, que a temperatura de saída final dos gases de combustão não pode ser tão baixa que possa causar condensação de ácido, o que acarretaria corrosão. Por isso o sistema deve ser projetado para operar acima do ponto de orvalho dos gases que por sua vez contém vapor de água e SO_x. Isto geralmente é mais barato que reduzir ao máximo a temperatura e usar materiais mais nobres com custo muito maior.

Tendo o conjunto industrial, sistema de água de resfriamento com capacidade para suprir o condensador do ORC, é mais econômico e ocupa menos espaço do que o emprego de condensador resfriado a ar. A

magnitude da carga térmica também é um dado ponderável na escolha do tipo de condensador.

Em adição ao exposto, podem ainda os engenheiros introduzir variantes do ORC básico, como por exemplo, pode ser vantajoso, utilizar o calor do exausto da turbina para pré-aquecer o fluido bombeado para o evaporador, o que permitiria menor consumo de energia elétrica no condensador, se resfriado a ar atmosférico. Aumentando-se assim, o valor da razão (Rec).

3 - CICLO BRAYTON COM CO₂ SUPERCRÍTICO

O ciclo Brayton é o ciclo de uma turbina a gás. Onde o ar atmosférico é comprimido por um compressor centrífugo ou axial instalado no mesmo eixo da turbina e acionado por ela após a entrada em operação. A turbina tem do lado oposto ao compressor, também no mesmo eixo, um gerador de energia elétrica ou outro equipamento que será o principal acionado.

O ar comprimido vai se juntar ao combustível numa câmara de combustão onde acontece a reação de combustão entre o Oxigênio do ar e o combustível utilizado (gás ou líquido). Os gases quentes resultantes da combustão vão ser expandidos na turbina fornecendo potência para o compressor e energia útil no eixo para o equipamento principal a ser acionado. Os gases expandidos saem do sistema ainda com grande quantidade de energia térmica – é o circuito Brayton aberto.

O ciclo Brayton chamado circuito fechado, é uma variante em que os gases exaustos da turbina, retornam ao compressor para serem comprimidos e em seguida aquecidos em trocas de calor que permitem que retornem ao estágio energético capaz de acionar a turbina.

Nestes casos, o compressor e a turbina formam um circuito fechado com um fluido de trabalho que pode ser Hélio, Argônio ou outros gases com propriedades termodinâmicas adequadas à finalidade desejada.

A diferença entre o Brayton aberto e fechado é que no sistema fechado, o fluido de trabalho permanece dentro do sistema e a fonte de calor fica fora do sistema para suprir de energia o fluido de trabalho,

O uso de CO₂ supercrítico como fluido de trabalho, num sistema de ciclo Brayton, para geração de energia elétrica foi demonstrado na potência de 240 kW, desenvolvido pelos pesquisadores do Sandia National Laboratory nos EUA.

A operação se dá com CO₂ comprimido e aquecido para condições supercríticas, (acima de 31°C a pressão acima de 73 atm absoluta) que aciona uma turbina, gerando energia elétrica. A vantagem desse sistema é a menor energia requerida para compressão do fluido e a capacidade de liberar calor a temperatura quase constante, durante o ciclo.

Nas proximidades do ponto crítico o CO₂ tem massa específica com valor de 60% da massa específica da água e é quase incompressível, o que faz com que o compressor opere mais parecido com uma bomba e exija, por consequência, menos energia. Ainda acrescentando uma tecnologia comum nos ciclos Brayton, que é a do reaquecimento ou o processo de re-injeção de calor, que ocorrerá a temperatura constante, leva a aumento de eficiência.

As características do CO₂ supercrítico, entre elas sua alta massa específica aliadas ao fato de se manter em uma só fase em todo o ciclo, significa que quando forem construídos os “scale up” desse ciclo Brayton as turbo máquinas serão menores, talvez 20% do que seriam em sistemas com vapor d’água. É bom ainda ressaltar que o fato de operar sem mudança de fase do fluido circulante, resulta em projeto relativamente mais simples com menor número de dispositivos auxiliares, como válvulas etc.

4 – CONCLUSÕES:

Como regra geral, qualquer equipamento que opere com fonte de calor por meio de combustão poderá ter sua eficiência aumentada pela instalação de um ORC nos gases da chaminé.

Gases de combustão mais frios possibilitam a inclusão de processos modernos de separação do CO₂ (captura).

CO₂ concentrado levado ao estado supercrítico, pode ser usado como fluido de trabalho de um ciclo Brayton que pode se dizer “sem combustão” gerando mais uma parcela de energia elétrica, e tudo a partir da mesma quantidade de combustível que for usado originalmente pela caldeira, forno, incinerador, etc. Ver figura 2.

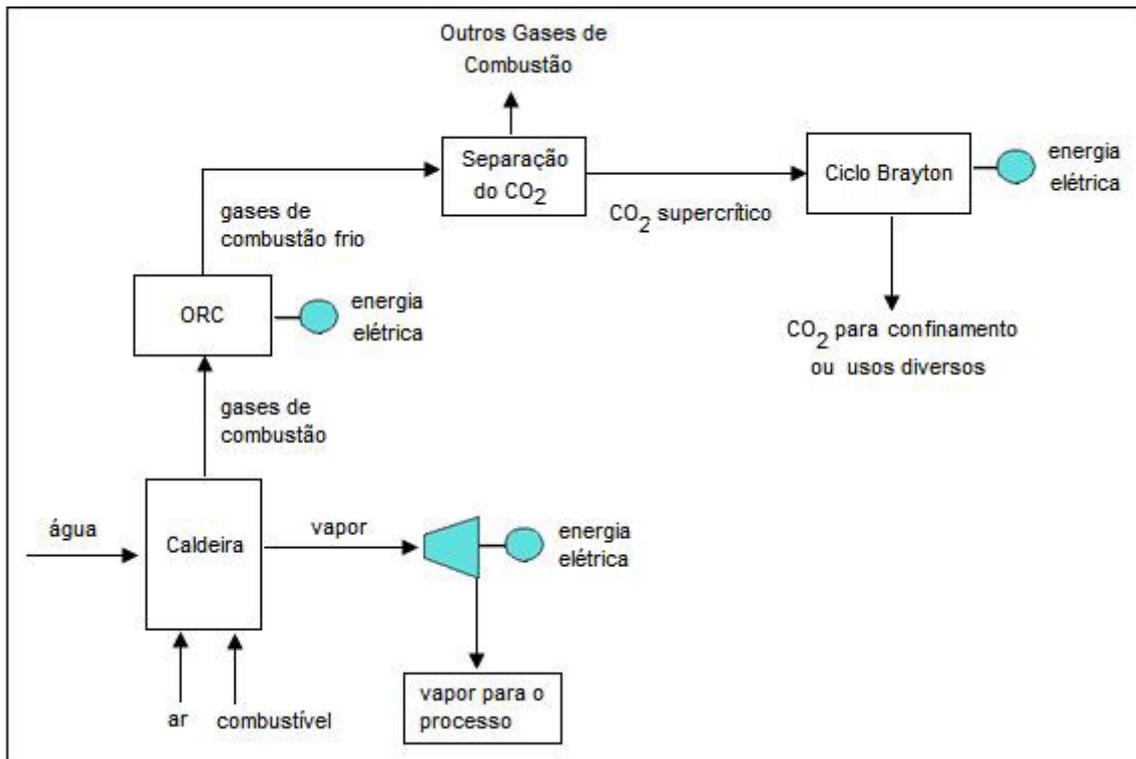


Fig.2 – Esquema proposto

Como o ciclo Brayton com CO₂ supercrítico, ainda está na fase de desenvolvimento, pode-se seguramente adicionar o ORC e pensar nessa última etapa posteriormente.

O efluente de CO₂ puro ou muito concentrado pode ser conduzido para o confinamento geológico em minas de sal ou reservatórios exauridos de óleo e gás. Pode também ser utilizado em qualquer das aplicações citadas a seguir:

- = Recuperação de poços de petróleo
- = Refrigeração por meio de sublimação no estado sólido
- = Inertização e purga de vasos e tanques nas indústrias de processo químico
- = Uso como agente extintor de incêndio
- = Para desobstrução de poços tubulares
- = Matéria prima para produção de Uréia
- = Produção de Sílica e Carbonatos estáveis
- = Produção de polímero biodegradável
- = Produção de polímero biodegradável de fonte renovável (limoneno)
- = Captura do CO₂ por algas para produzir biodiesel e bioetanol.

Como vimos, conhecimentos antigos como ciclo Rankine, segregação de gás carbônico, comportamento supercrítico e ciclo Brayton, são adequados ao desenvolvimento de inovações nos dias atuais, para aumentar de forma

significativa a eficiência energética em várias indústrias, contribuindo para a Economia.

Referências:

1 – BOURJI, Ali; BARNHART, John; WINNINGHAM, Jimmy; WINSTEAD, Alan. Recover waste heat from fluegas. Chemical Engineering, New York, v. 117, n. 9, p. 37-40, September 2010.

2 - BOURJI, Ali; BARNHART, John; WINNINGHAM, Jimmy; WINSTEAD, Alan. Convert waste heat into eco-friendly energy. Hydrocarbon Processing, Houston, Texas, v. 89, n. 12, p. 57-61. December 2010.

3 – LORA, Electro Eduardo Silva, NASCIMENTO, Marco Antônio Rosa do, et al. Geração termelétrica Volume I, Rio de Janeiro. Interciência , 2004

4 – ONDREY, Gerald. Supercritical CO₂ Brayton-cycle system packs efficiency into small footprint. Chemical Engineering, Chementator, New York, v. 118, n. 4, p-11, april 2011.

5 – SARAIVA, Antonio José Ferreira. Engenharia de processo nas plantas industriais, Salvador. Solisluna, 2010

6 - SARAIVA, Antonio José Ferreira. Alternativas para redução dos descartes de CO₂ para a atmosfera. Relatório de consultoria, julho de 2008.