

CIRCULAR THERMALSM

COMO REAPROVEITAR O CALOR RESIDUAL
EM PROCESSOS INDUSTRIAIS E MAIS



Armstrong[®]
EXPERIÊNCIA IMPORTA[™]

PARA ONDE VAI A ENERGIA?

Em termos simples, a primeira lei da termodinâmica nos diz que a energia não pode ser destruída nem criada — sua quantidade dentro de um sistema permanece estável. Quando a energia é trabalhada, às vezes, ao ser convertida de uma forma para outra, é degradada em uma qualidade de energia inferior. Portanto, se a energia em uma unidade industrial é degradada, mas não destruída, como ela escapa de lá?

Atualmente, a energia primária é trazida para as usinas na forma de eletricidade e de combustíveis fósseis, que estão sendo cada vez mais substituídos por energias renováveis. Essas fontes são mensuráveis, por isso sabemos a quantidade de energia primária que entra. Em uma fábrica comum, menos de 20% da energia recebida é usada para mover coisas (motores que convertem eletricidade em energia mecânica) ou iluminar as instalações. Devido à eficiência energética, parte dessa energia acaba se transformando em calor residual, o que aumenta a temperatura do ar interno do local. Isso significa que os 80% restantes da energia primária usada para geração térmica estão sendo destinados aos produtos que estão sendo fabricados? Na maioria dos setores, apenas uma pequena parcela da energia primária é convertida em energia química contida no produto final. Além disso, os materiais iniciais usados na fabricação geralmente estão na mesma temperatura (ambiente, em geral) que os produtos finais quando saem da fábrica. Na verdade, a maior parte da energia primária acaba como calor residual, que ainda é frequentemente perdido em chaminés, torres de resfriamento e esgoto.

Sistema térmico unidirecional padrão — Usuário de processo único



AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO NA INDÚSTRIA

A sequência de aquecimento e resfriamento é a base dos processos industriais. As fábricas são projetadas para facilitar o fluxo dos produtos — e o aquecimento e o resfriamento em diferentes estágios do processo muitas vezes apenas compensam um ao outro do ponto de vista energético.

RESFRIAMENTO

O resfriamento é obtido pela remoção de calor de um fluido. Uma vez extraída, essa energia é tipicamente desperdiçada por meio de torres de resfriamento que liberam calor e vapor de água na atmosfera. A quantidade de energia extraída como parte do processo de resfriamento pode representar até 1/3 das necessidades de aquecimento de uma fábrica — ou até mais.

Um compressor de ar é um bom exemplo: até 90% da energia elétrica que entra em um compressor de ar se torna calor residual como parte do resfriamento do compressor. Dependendo da umidade do ar, a condensação adicionará calor residual equivalente a 5% a 20% da energia elétrica que entra no compressor. A soma desses dois fatores pode às vezes representar mais de 100% da eletricidade usada pelo compressor.

O maior potencial de calor residual do resfriamento é encontrado em fábricas que usam processos de congelamento profundo para sorvetes, alimentos congelados e outros produtos que são mais frios ao sair da fábrica do que as matérias-primas ao entrar. Ao retirar calor do produto, eles geram um excesso significativo de calor residual do resfriamento. Essa energia pode suprir não apenas suas próprias necessidades de aquecimento, mas também algumas das demandas térmicas de seus vizinhos.

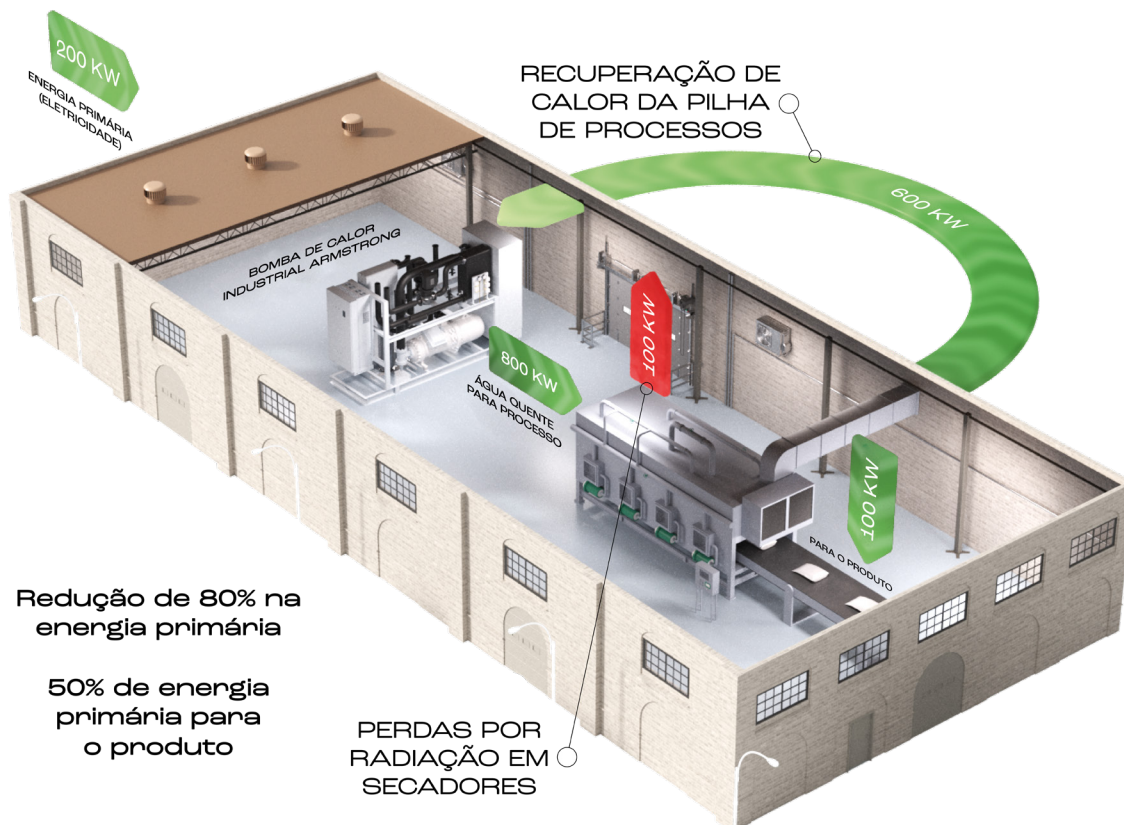
AQUECIMENTO

O aquecimento perde energia para a atmosfera devido a ineficiências na geração e distribuição dos serviços. A eficiência de um sistema de vapor típico geralmente varia de no máximo 60% a um máximo de 80%. A energia restante é usada para tarefas importantes, como secar produtos por meio da evaporação da água, aquecer produtos para desencadear uma reação química, aquecer/umidificar/desumidificar o ar, aquecer água para limpeza e mais. Mas o que acontece com a energia depois disso? Em um secador, que é uma das maiores aplicações de aquecimento na indústria, até 80% da energia é liberada na atmosfera através de chaminés na forma de ar muito úmido e de baixa temperatura ($< 175\text{ }^{\circ}\text{F}/< 80\text{ }^{\circ}\text{C}$). Isso também se aplica à maioria das outras aplicações industriais e, em certos casos, como em colunas de destilação e evaporadores, o produto final geralmente precisa de resfriamento.

UMA ABORDAGEM CIRCULAR

Embora a qualidade da energia contida no calor residual tenha se degradado, a quantidade de energia nele ainda é muito significativa. Com base em nossos estudos, 50% a 80% da energia primária usada em indústrias leves sai da fábrica em forma de calor residual em temperaturas médias ($< 400\text{ }^{\circ}\text{F}/200\text{ }^{\circ}\text{C}$) ou mesmo baixas temperaturas ($< 200\text{ }^{\circ}\text{F}/< 90\text{ }^{\circ}\text{C}$). Isso significa que 50% a 80% dessa energia pode ser reutilizada e, portanto, as emissões relacionadas ao Escopo 1 podem ser evitadas. Ao aplicar uma abordagem circular à energia térmica industrial, podemos recuperar essa energia e reinseri-la no processo.

Sistema Circular ThermalSM — Usuário de processo único



Por mais de 40 anos, a indústria pesada tem usado a Integração de Processos (PI), ou Pinch, para maximizar a eficiência térmica da fábrica, principalmente por meio da recuperação direta de calor. Esse método consiste em mapear e sobrepor fluxos frios e quentes na fábrica para calcular a recuperação máxima teórica de calor e os requisitos mínimos de energia para a fábrica. O resultado é um design ideal que pode ser adaptado às realidades práticas do local com base em compensações bem fundamentadas. Em indústrias leves, uma “rede de trocadores de calor” adicional é necessária para recuperar calor de baixa qualidade das fontes, armazená-lo, aprimorá-lo se necessário e movê-lo para dissipadores de calor. Por meio dessa metodologia, as unidades industriais podem recuperar o calor residual e reduzir significativamente o uso de energia primária e as emissões de CO₂. Chamamos esse processo de Circular ThermalSM.

O CIRCULAR THERMALSM É O CERNE DA METODOLOGIA DE DESCARBONIZAÇÃO DA ARMSTRONG

A metodologia da Armstrong para descarbonização térmica inclui três etapas: otimizar a eficiência do sistema térmico, minimizar a demanda de energia do processo e descarbonizar as fontes primárias de energia da instalação. Como parte da otimização do sistema, o Circular ThermalSM geralmente proporciona a maior eficiência com retorno positivo sobre o investimento.

Etapas: Otimizar a eficiência do sistema térmico por meio da recuperação de calor residual

Embora a teoria por trás do Circular ThermalSM tenha sido reconhecida há muito tempo, ela foi frequentemente ignorada em novas construções de unidades industriais devido a questões econômicas. No passado, os combustíveis fósseis eram considerados baratos e abundantes, e havia pouca preocupação com as emissões de CO₂, por isso era fácil e conveniente projetar e operar sistemas térmicos unidirecionais. Contudo, isso mudou. No mundo de hoje, a energia é uma questão geopolítica e comercial, os combustíveis fósseis estão cada vez mais caros e, às vezes, indisponíveis, a eletricidade renovável está se tornando mais barata, as emissões de CO₂ têm um preço — e o retorno sobre o investimento do Circular ThermalSM está melhorando significativamente. Quando os combustíveis fósseis forem eliminados, a recuperação do calor residual será a maneira mais econômica de descarbonizar os sistemas térmicos.

Desvaporização

Os sistemas de vapor normalmente geram e distribuem calor a 365 °F/185 °C (que representa 150 psig/10 barg de vapor saturado), mesmo quando o processo requer uma temperatura de aquecimento muito mais baixa. Recuperar calor residual para gerar vapor de baixa pressão — que pode então ser comprimido em uma pressão mais alta — é tecnicamente viável. Entretanto, se o objetivo final for aquecer um produto a uma temperatura muito mais baixa, isso resulta em uso excessivo de energia, em parte devido às perdas mínimas de 20% inerentes aos sistemas de vapor.

É por isso que consideramos a água quente o melhor fluido de aquecimento até 250 °F/120 °C. A desvaporização consiste em substituir sistemas de vapor por sistemas de água quente ou glicol para recuperação otimizada do calor residual. Ao permitir uma correspondência mais próxima entre a geração de calor e o uso de calor dentro do processo, a desvaporização otimiza a eficiência do sistema. A Armstrong International tem mais de um século de experiência em sistemas de vapor e recomendamos a desvaporização para aquecimento de baixo nível.

Em teoria, o uso de água quente requer superfícies maiores de troca de calor, já que o calor sensível contém de 4 a 5 vezes menos energia que o calor latente. Entretanto, na prática, os trocadores de calor a vapor existentes são frequentemente superdimensionados — é por isso que dobrar a superfície de troca de calor geralmente é suficiente. A desvaporização também elimina os problemas de drenagem de condensado inerentes às aplicações que usam vapor para aquecimento < 212 °F/100 °C, o que pode criar vácuo nos trocadores de calor.

Por fim, para evitar um tamanho excessivo dos canos de água maiores, as fontes de calor devem ser conectadas a dissipadores de calor próximos. Este projeto de sistema descentralizado é inerente aos sistemas Circular ThermalSM — em oposição à abordagem clássica de “sala de caldeira de vapor central e rede de distribuição”.

Bombas de calor

O calor residual de alto nível geralmente pode ser recuperado usando apenas um trocador de calor, embora, às vezes, isso possa ser tecnicamente desafiador devido à contaminação do ar de processo descarregado pelas chaminés. No entanto, o calor residual geralmente está disponível em temperaturas mais baixas do que as exigidas pelo processo, portanto, o calor de baixo nível deve ser transformado em calor de médio nível. Isso requer energia adicional de alto nível (eletricidade) para operar os compressores da bomba de calor que aumentam as temperaturas do calor residual para os níveis necessários.

A tecnologia usada em bombas de calor existe há 170 anos. É a mesma tecnologia que faz funcionar as geladeiras em nossas casas e o ar-condicionado em nossos escritórios. A eficiência é a vantagem mais significativa que as bombas de calor oferecem. A eletricidade necessária para operar uma bomba de calor normalmente representa apenas de 1/4 a 1/3 da produção total de calor — e quase toda essa eletricidade é eventualmente convertida em calor útil. No entanto, a maior parte da energia produzida vem do calor residual de baixo nível que foi recuperado. As bombas de calor são frequentemente consideradas tecnologia de eletrificação térmica, mas em aplicações industriais elas são principalmente uma tecnologia de aprimoramento de calor residual.

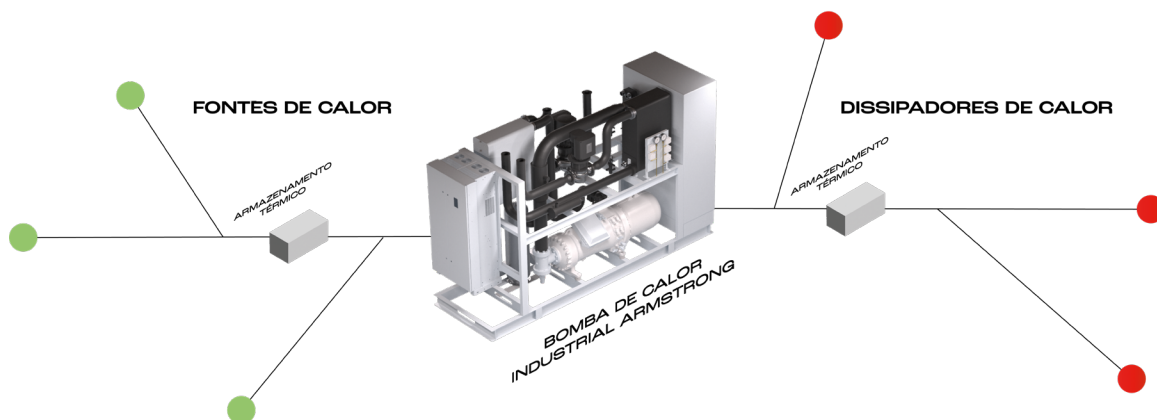
Bombas de calor de circuito fechado já estão disponíveis para recursos de médio porte (entre 1,7 a 7 milhões de BTU por hora por unidade / 0,5 MW a 2 MW por unidade). Essas bombas de calor usam uma nova geração de fluidos de trabalho que são mais seguros para os usuários, confiáveis (devido à pressão relativamente baixa no circuito) e têm um impacto ambiental limitado (PAG < 10 e degradação de TFA < 2%). Elas podem fornecer temperaturas na faixa média, recuperando calor residual de baixa qualidade < 176 °F/80 °C (como efeito colateral, às vezes produzindo resfriamento útil); e aumentando esse calor para 250 °F/120 °C, o que permite a geração de vapor de baixa pressão, se necessário.

Esse vapor pode ser usado para injeção direta, ou sua pressão e temperatura podem ser aumentadas usando um compressor de vapor como parte do sistema de recompressão mecânica de vapor (MVR). Esses compressores requerem cerca de 10% de injeção de água. O vapor adicional compensa perdas de radiação e vazamentos no sistema de vapor a jusante. Ao recuperar o condensado e o vapor flash além dos trocadores de calor e reinseri-los na bomba de calor de alta temperatura, o circuito pode ser fechado e equilibrado.

Armazenamento

O calor residual nem sempre está disponível quando e onde é necessário. Uma vez recuperado, ele deve ser realocado e armazenado — normalmente como água quente ou usando materiais sólidos — até que possa ser usado no processo. Embora o espaço possa ser um problema em certas configurações da fábrica, existem tecnologias confiáveis para superar esse problema.

Sistema Circular ThermalSM — Usuários de vários processos



Por meio do Circular ThermalSM, à medida que o calor flui em várias direções pela fábrica, um sistema térmico mais dinâmico é criado. O calor recuperado é armazenado e então aprimorado, indo de temperaturas mais baixas para mais altas sempre que for mais conveniente ou quando a eletricidade na rede for mais barata, contribuindo assim para o gerenciamento da demanda. Esses sistemas são mais automatizados e usam dados

em tempo real para decidir quando o calor deve ser movido ou armazenado. E estão disponíveis como serviço, o que diminui a necessidade de capital, permite a terceirização de riscos e fornece flexibilidade de ativos necessária para a adaptação em um mundo em constante mudança.

Etapa dois: Minimizar a demanda de energia do processo

A relação entre eletricidade e calor útil de uma bomba de calor é chamada de Coeficiente de Desempenho (COP) e depende do aumento da temperatura. Otimizar o COP é o principal motivo para adequar as temperaturas da fonte de calor e do dissipador de calor o mais próximo possível. Sempre que uma bomba de calor realiza um trabalho útil resfriando a fonte e aquecendo o dissipador (por exemplo, em um processo de destilação), sem usar mais eletricidade para isso, ela tem um COP combinado (CCOP) muito maior.

O projeto de muitos processos foi baseado em temperaturas mais altas, que são relativamente fáceis de obter com vapor. Entretanto, analisar a temperatura real do vapor no trocador de calor (após a redução de pressão produzida por uma válvula de controle) ou identificar os requisitos exatos de temperatura do processo muitas vezes revela que a temperatura necessária do dissipador de calor é muito menor do que o esperado. Consequentemente, o COP é melhorado sem impactar as condições do processo da fábrica ou a qualidade do produto.

Bombas de calor que produzem temperaturas finais mais baixas requerem menos eletricidade, então o COP é maior. A redução permanente resultante dos custos das despesas operacionais vale o esforço, mesmo nos casos em que é necessário uma despesa de capital adicional (principalmente para a desvaporização). No longo prazo, o custo operacional pode ser reduzido ainda mais pela substituição de equipamentos de processo antigos ou no fim de sua vida útil por equipamentos modernos que ofereçam maior eficiência energética ou exijam temperaturas de aquecimento mais baixas.

Em certos casos, o mesmo trabalho útil pode ser realizado sem o uso de calor. Por exemplo, o vapor tem sido usado para umidificar o ar na área da saúde ou em setores como o farmacêutico, enquanto o mesmo aumento na umidade do ar pode ser obtido usando umidificadores adiabáticos ou elétricos. Esses umidificadores não usam menos energia para evaporar água à pressão atmosférica, mas permitem a desvaporização de unidades de tratamento de ar (AHUs). Isso elimina a necessidade de gerar vapor de temperatura média usando bombas de calor, resultando em um COP mais baixo, bem como a necessidade de distribuí-lo posteriormente, com as perdas inerentes ao sistema de vapor.

Etapa três: Descarboxionar as fontes primárias de energia da sua instalação

A energia primária necessária para operar os sistemas Circular ThermalSM é a eletricidade, que pode ser obtida sem queima de carbono usando energia renovável. O restante da descarboxiação térmica pode ser alcançado pela mudança para energias renováveis, como biogás, biomassa, energia solar térmica, hidrogênio ou eletrificação direta. Essa é a fase final da metodologia de descarboxiação térmica de três etapas da Armstrong.

No entanto, é fundamental que a descarboxiação seja implementada somente depois que o potencial de otimização e minimização seja esgotado. Mudar sistemas térmicos unidirecionais — que resultam em 50% a 80% da energia primária sendo liberada na atmosfera como calor residual — para energias renováveis é um erro. Isso leva a um desperdício significativo de energia renovável escassa, essencial para descarboxionar aplicações difíceis de reduzir nos setores de indústria pesada, transporte ou construção.

AS VANTAGENS DO CIRCULAR THERMALSM SÃO SUBSTANCIAIS

Uma porcentagem muito grande da energia térmica atualmente usada na indústria pode ser recuperada pela aplicação do Circular ThermalSM. Além disso, essa metodologia não deve se limitar dentro de uma única fábrica. Embora um número crescente de setores industriais esteja aplicando uma abordagem circular à geração de materiais e energia, o compartilhamento e o aprimoramento do calor residual entre unidades industriais vizinhas, eletrolisadores de hidrogênio, data centers, áreas de escritórios e cidades ainda são muito raros.

O desenvolvimento de contêineres de armazenamento térmico de material sólido transportáveis está expandindo as oportunidades para a movimentação física de calor residual em distâncias médias (idealmente, usando transporte livre de queima de carbono). Unidades industriais pesadas com excesso de calor residual de alta qualidade podem compartilhá-lo com unidades industriais leves ou com um sistema de aquecimento urbano localizado a dezenas de quilômetros de distância.

O potencial de aquecimento e resfriamento em edifícios

A recuperação e a reutilização do calor residual também podem ser previstas para aquecimento e resfriamento de edifícios. No entanto, a aplicação do Circular ThermalSM apresenta um desafio maior em edifícios do que na indústria devido a uma diferença significativa: o tempo. Aplicações industriais exigem aquecimento e resfriamento regulares, pelo menos semanalmente, o que limita os requisitos de tamanho para armazenamento térmico. O Circular ThermalSM para aquecimento e resfriamento de edifícios exigiria armazenamento térmico sazonal que mantivesse o calor aproximadamente na mesma temperatura por até seis meses. Se, um dia, o armazenamento térmico sazonal acessível e de pequeno volume se tornar comercialmente disponível, aumentará significativamente o COP médio anual das bombas de calor usadas para aquecimento e resfriamento de edifícios, reduzindo assim significativamente seu consumo elétrico primário anual.

O resfriamento de edifícios já pode ser usado como fonte de calor para indústrias próximas, que precisam de calor o ano todo. Esses sistemas de “resfriamento distrital” podem fazer sentido principalmente em climas mais quentes, onde o resfriamento é necessário durante a maior parte do ano. Em climas mais frios, uma fonte de calor mais valiosa dos edifícios pode ser o sistema de esgoto, que coleta água aquecida de “passagem única” de chuveiros e torneiras.

Outra fonte para construção de bombas de calor é a geotérmica, seja superficial ou de lagos e rios. Em comparação com o ar ambiente, a energia geotérmica oferece uma temperatura mais alta que permanece relativamente estável durante todo o ano. Durante o verão, essa fonte geralmente é fria o suficiente para contornar o compressor da bomba de calor, possibilitando o funcionamento em modo de “resfriamento gratuito”.

O CIRCULAR THERMALSM FACILITA A DESCARBONIZAÇÃO DE SOLUÇÕES TÉRMICAS

Aquecimento e resfriamento na indústria e edifícios representam aproximadamente 70% do atual consumo global de energia final. Ao recuperar, aprimorar e reutilizar o calor desperdiçado em unidades industriais, podemos reduzir significativamente o nível de descarbonização térmica e reduzir a quantidade de energia renovável necessária para operar essas fábricas no futuro. Em todo o mundo, a transformação de locais existentes já está em andamento, e um número crescente de novos sistemas está sendo projetado usando a metodologia Circular ThermalSM.

Aplicar esse conceito além dos limites de uma única fábrica e em edifícios diminuirá a necessidade de energia primária e ajudará ainda mais na descarbonização dos sistemas globais de energia.



SOLUÇÕES INTELIGENTES PARA SISTEMAS DE UTILIDADES TÉRMICAS DE UMA EMPRESA
LÍDER GLOBAL EM GESTÃO DE ENERGIA E EXPERIÊNCIAS AGRADÁVEIS

Armstrong International

Américas | Ásia | Europa, Oriente Médio, África

www.armstronginternational.com.br