

Loop de serpentinhas em rede

Introdução aos loops de serpentinhas

A recuperação de energia do ar de exaustão é uma estratégia que tem sido usada para reduzir o uso de energia do HVAC de um prédio. Uma tecnologia usada há décadas é o loop de serpentinhas. A Figura 1 é um diagrama de um boletim de engenharia de 1983 da Trane®. Embora o controlador pneumático tenha sido substituído por controles digitais, o conceito geral não mudou.

Durante o tempo frio, quando o prédio está ocupado, uma parte do calor do ar de exaustão é capturada pelo fluido hidráulico que passa pelos tubos de serpentinhas. O fluido hidráulico é, então, bombeado para outras serpentinhas localizadas na tomada de ar externo. Conforme o ar externo entra no prédio pela ventilação, ele é pré-aquecido usando a energia recuperada do ar de exaustão. Durante o tempo quente, acontece o contrário: o calor é removido do fluxo de ar externo (pré-resfriando esse ar) e transferido para o ar de exaustão mais frio antes dele sair do prédio.

Vantagens dos loops de serpentinhas

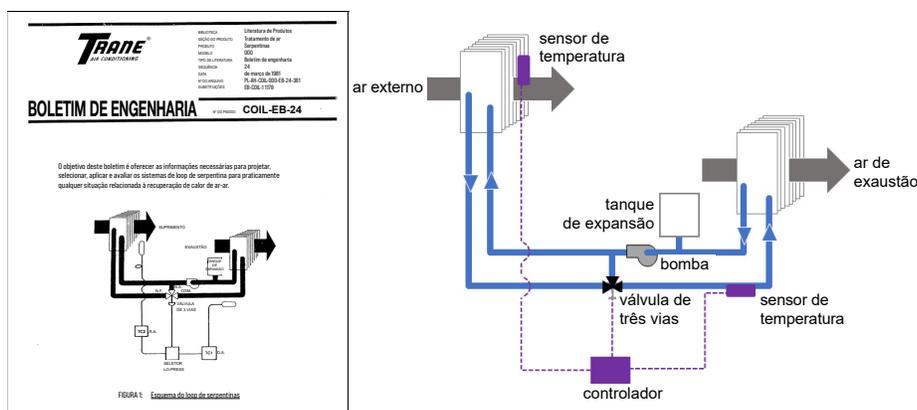
Mais recentemente, os trocadores de calor de placas ar-ar e as rodas entálpicas foram comercializados para que os engenheiros e os proprietários de prédios tivessem opções para recuperar energia do ar de exaustão com mais eficiência. No entanto, os loops de serpentinhas ainda são usados com frequência, geralmente por causa das seguintes vantagens:

- **A admissão de ar externo e a saída de exaustão não precisam estar localizadas muito próximas uma da outra.** A energia recuperada por um loop de serpentinhas pode ser transportada com facilidade pelo prédio para ser usada onde for necessário. Esse pode ser um benefício muito grande em um prédio em que o deslocamento dos dutos pode não ser viável. O ar de exaustão pode sair de vários lugares e ser distribuído por todo o prédio, enquanto a admissão de ar externo pode ser centralizada, podendo estar até mesmo do lado oposto do prédio. Um loop de serpentinhas permite a recuperação da energia do ar de exaustão sem necessidade de deslocar as saídas de ar de exaustão ou as admissões de ar externo. Embora outras tecnologias de recuperação de energia possam ser mais eficazes (especialmente durante o modo de resfriamento), elas precisam que as correntes de ar externo e de exaustão estejam localizadas muito próximas uma da outra, frequentemente lado a lado.
- **Evitar o vazamento cruzado do ar de exaustão.** Os laboratórios exigem grandes quantidades de ar de exaustão. Muitos são condicionados com 100% do ar externo necessário para substituir o ar que está saindo do prédio. Os loops de

serpentinhas são usados nessas aplicações, pois permitem que a energia seja recuperada do ar de exaustão sem o risco desse ar voltar para o fluxo de ar externo (vazamento cruzado). O trocador de calor do ar externo nunca entra em contato com a corrente de ar de exaustão, como acontece ao usar uma roda de recuperação de energia ou um trocador de calor de placas. Além disso, a admissão de ar externo pode estar localizada longe da saída de ar de exaustão porque o fluido é bombeado entre as duas serpentinhas. ASHRAE® Standard 90.1 e muitos códigos de energia exigem a recuperação de energia do ar de exaustão do laboratório e os loops de serpentinhas são, geralmente, a única solução viável.

- **Fácil de modernizar.** Outra aplicação para os loops de serpentinhas é na modernização de um prédio para eletrificação de calor. Mudar para uma solução de aquecimento totalmente elétrico introduz uma nova demanda de energia elétrica durante os meses de inverno. Portanto, é importante reduzir o pico da carga de aquecimento. A recuperação de energia do ar de exaustão com loops de serpentinhas é uma maneira de fazer isso sem reorganizar a canalização.

Figura 1. Diagrama do loop de serpentinhas do boletim de engenharia de 1983 da Trane® (COIL-EB-24)



Loops de serpentinas em rede

O antigo diagrama de 40 anos atrás (Figura 1) ainda é verdadeiro: os loops de serpentinas podem ser aplicados com uma serpentina de ar externo e uma serpentina de ar de exaustão (1:1). No entanto, em muitos prédios comerciais ou institucionais, existe uma rede dessas serpentinas localizada em todo o prédio (Figura 2).

Entre os exemplos de um loop de serpentinas em rede nos prédios estão:

- Em um prédio de laboratório, é comum ter um ou alguns air handlers centrais no teto ejetando o ar de exaustão, mas vários air handlers 100% ar externo localizados em todo o prédio (serpentinas de ar externo >> serpentinas de ar de exaustão).
- Em um prédio comercial geralmente acontece o contrário: mais serpentinas de ar de exaustão do que serpentinas de ar externo (serpentinas de ar externo << serpentinas de ar de exaustão).

Esses dois cenários despertaram um novo interesse nos loops de serpentinas em rede.

Além disso, o avanço dos controles de unidade de tratamento de ar e a automação predial têm tornado a integração de controle dos loops de serpentinas em rede menos complexa e mais eficaz. (A operação não é mais limitada por um controlador de loops central independente por causa da pneumática!) Esse EN discute o que se pode esperar do desempenho de um loop de serpentinas de recuperação de energia do ar de exaustão e como isso pode ser otimizado.

Otimize o desempenho dos loops de serpentinas selecionando as melhores serpentinas para a aplicação

Ao otimizar o design de um loop de serpentinas, os primeiros itens a analisar são as serpentinas hidráulicas. Cada serpentina precisa ser selecionada e otimizada para a aplicação. As serpentinas estão disponíveis com vários designs de aletas aprimorados, opções de espaçamento das aletas, opções para melhorar a turbulência do fluxo de fluido e melhorar a transferência de calor, opções de circuito e vários diâmetros de tubos. Todas essas opções ajudam a otimizar a transferência de calor para um loop de serpentinas com economia de energia.

O custo principal de energia de um loop de serpentinas é a queda adicional de pressão do ar das serpentinas no fluxo de ar. Isso aumenta o uso de energia do ventilador. Existem vários fatores que afetam o uso de energia da bomba, mas lembre-se de que a queda de pressão do fluido através da serpentina afeta o uso de energia da bomba.

Selecionar serpentinas com base unicamente na maior quantidade de calor recuperado provavelmente não resultará no sistema mais eficiente, pois isso aumentará de forma significativa a potência do ventilador e/ou da bomba. Por outro lado, selecionar serpentinas para a menor queda de pressão do ar ou do fluido não resultará em um sistema mais eficiente. E observe que especificar estritamente o diâmetro

de um tubo específico, a organização do circuito ou o projeto de aletas também fará com que a escolha ideal seja perdida. **É melhor começar com uma meta realista sobre a quantidade de calor recuperado e, em seguida, otimizar as seleções de serpentinas para quedas aceitáveis de pressão do ar e do fluido.**

Para cada serpentina no loop, considere as opções a seguir:

- Diâmetro do tubo
- Circuito de serpentinas
- Projeto/tipo de aleta
- Densidade da aleta
- Área da face
- Número de fileiras dos tubos
- Opções para aumentar a turbulência

A área de face das serpentinas (juntamente com as taxas de vazão de fluidos e de ar) determina qual diâmetro de tubo e organização de circuito resultarão no melhor equilíbrio de calor recuperado, queda da pressão do ar e queda da pressão do fluido (Figura 3).

Um loop de serpentinas em rede otimizado provavelmente usará tipos diferentes de serpentinas, sendo cada seleção baseada nas restrições de tamanho físico e no fluxo de ar. As serpentinas do sistema hidrônico são as mais flexíveis para dimensionamento para se adequarem a determinada instalação, em comparação com outros dispositivos de recuperação de energia do ar de exaustão. Se os fluxos de ar em um loop de serpentinas em rede variar, mas todas as serpentinas tiverem o mesmo diâmetro de tubo, organização de circuito, número de fileiras e número e tipo de aletas, o loop de serpentinas provavelmente não será otimizado.

Quando serpentinas otimizadas são selecionadas, pode-se esperar uma taxa de recuperação de energia sensível entre 0.45 e 0.60. As recomendações na Figura 4 supõem fluxos de ar de exaustão e externo quase iguais e que sejam selecionados um diâmetro ótimo de tubo de serpentinas, uma organização de circuito e um tipo de aleta, sendo as únicas variáveis o número de fileiras e a área da face de serpentinas (velocidade da face). Existem outras variáveis em relação à aplicação e à geometria das serpentinas, portanto, o objetivo desse gráfico é definir a máxima expectativa de recuperação para a área da face de serpentinas e o número de fileiras.

A queda da pressão do ar para a taxa de recuperação de energia sensível desejada provavelmente estará entre 0,4 e 1,4 pol. de H₂O. Ela pode variar muito dependendo das restrições de instalação e das metas do projeto.

Figura 2. Exemplos de um loop de serpentinas em rede em prédios

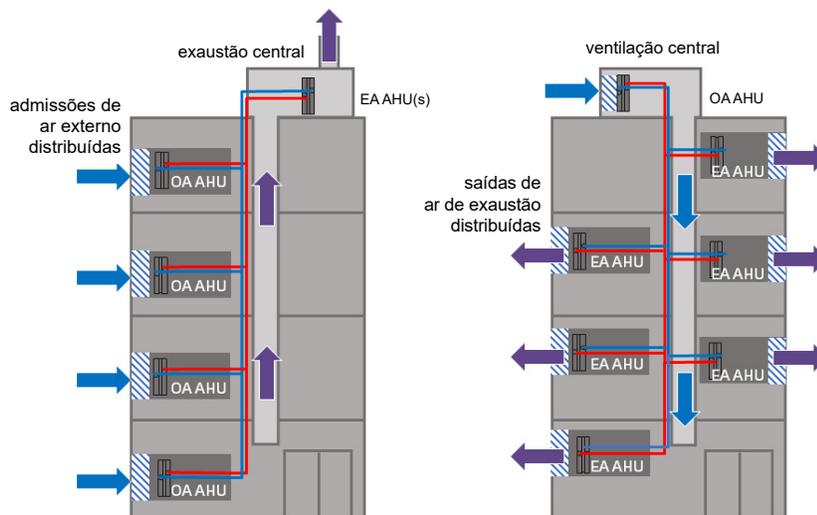
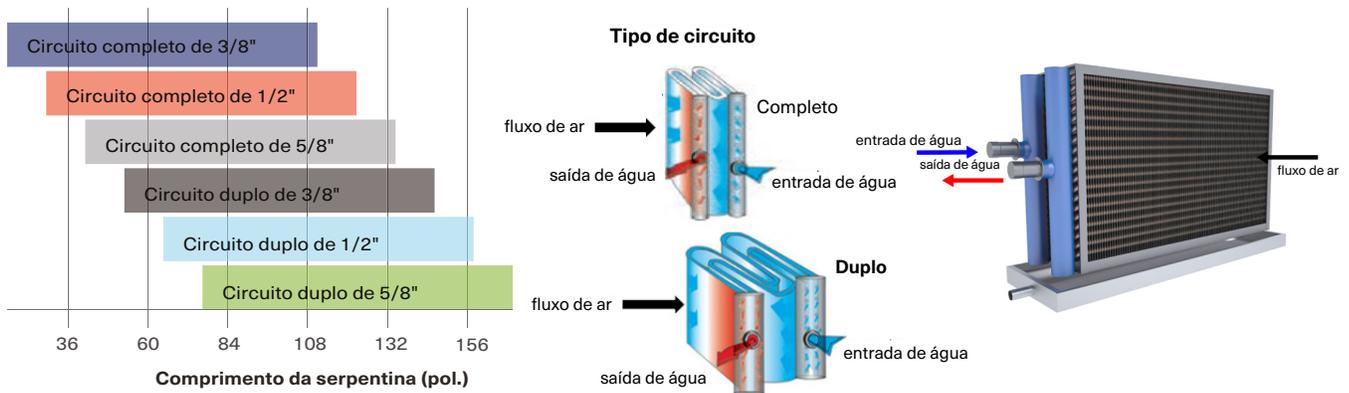


Figura 3. Diâmetro do tubo e organização de circuito recomendados para um loop de serpentina otimizado



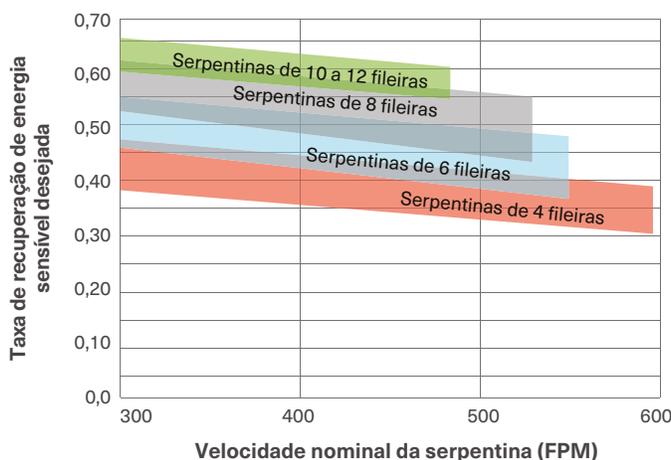
A queda da pressão do fluido para serpentina otimizada deve estar entre 15 e 30 pés H₂O. Mas se a meta for alcançar a maior taxa de recuperação de energia sensível possível, essa queda de pressão será maior. E em climas muito frios, a queda de pressão do fluido aumentará bastante se for necessária uma concentração de 40% (ou mais) de glicol.

CONDENSAÇÃO NA SERPENTINA DO LADO DA EXAUSTÃO INCREMENTA A PERFORMANCE

Durante a operação de aquecimento, resfriar o ar de exaustão abaixo do seu ponto de orvalho e, assim, condensar o vapor de água fora do ar, aumenta a quantidade de calor recuperado. Entretanto, essa condensação provavelmente não ocorrerá, a menos que sejam usados umidificadores para aumentar o nível de umidade interna durante o tempo frio ou se um processo estiver liberando grandes quantidades de vapor de água no prédio. Laboratórios, que são uma aplicação comum para loops de serpentina, costumam usar umidificadores durante o inverno.

Como exemplo, um espaço condicionado a 21,1 °C (70 °F) de bulbo seco e 35% de umidade relativa (UR) tem uma temperatura de ponto de orvalho correspondente de 5,0 °C (41 °F). Resfriar o ar de exaustão a uma temperatura de bulbo seco de 1,95 °C (35,5 °F) (abaixo do ponto de orvalho) fará com que o vapor de água condense fora do ar e na superfície de serpentina do lado de exaustão. Esse trabalho latente (condensação) resulta em 22% mais energia extraída do ar de exaustão do que se este ar estivesse a um ponto de orvalho de 0,0 °C (32 °F) (21,1 °C (70 °F) de bulbo seco e 25% de UR) e fosse resfriado à mesma temperatura (Figura 5). Essa energia adicional extraída do ar de exaustão resulta em um calor mais sensível adicionado à corrente de ar externo.

Figura 4. Fileiras e tamanho de serpentina (velocidade de face) recomendados para um loop de serpentina otimizado



Observação: faixa de desempenho desejada com base na queda de pressão do ar de 0,4 a 1,4 pol. de H₂O e queda de pressão do fluido de 15 a 30 pés de H₂O

OTIMIZE O DESEMPENHO DO LOOP DE SERPENTINAS CONSIDERANDO AS LIMITAÇÕES DE CONGELAMENTO

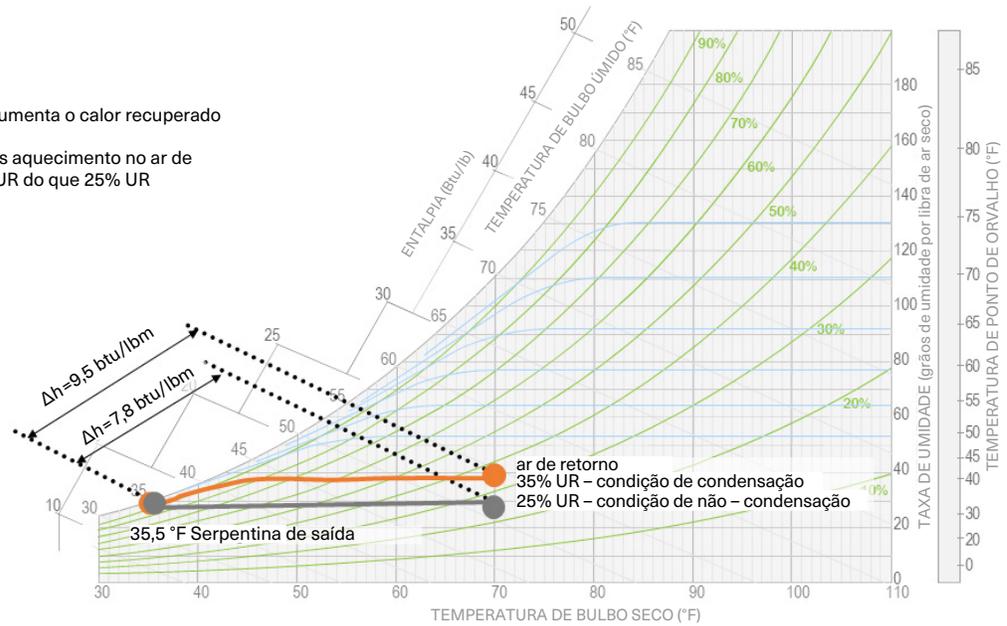
Embora a condensação aumente a quantidade de calor recuperado, controles são necessários para evitar que essa condensação congele (forme gelo) na superfície das serpentina do lado de exaustão, o que impediria o fluxo de ar e potencialmente danificaria a serpentina. O objetivo do controle de congelamento é evitar congelamento e gelo, e não impedir a condensação.

Se a temperatura de ponto de orvalho do ar de exaustão for maior que 0,0 °C (32 °F), o objetivo será evitar a formação de gelo na serpentina. Nesse caso, é aconselhável projetar o loop de serpentina para condensar a água do ar de exaustão. Mas para evitar a formação de gelo, o fluido que entra do lado de exaustão não pode ficar abaixo de 0,0 °C (32 °F).

Figura 5. A condensação resulta em mais energia extraída do fluxo de ar de exaustão

O ar umidificado aumenta o calor recuperado

Exemplo: 22% mais aquecimento no ar de retorno com 35% UR do que 25% UR



Se a temperatura de ponto de congelamento do ar de exaustão for menor que 0,0 °C (32 °F), o objetivo será evitar o congelamento na serpentina. Neste caso, a temperatura do fluido que está entrando na serpentina do lado de exaustão deve ser limitada à temperatura do ponto de congelamento na entrada de ar: a 21,1 °C (70 °F) de bulbo seco e 20% de UR, esse ponto é -2,7 °C (27 °F), e a 21,1 °C (70 °F) de bulbo seco e 15% de UR, é de -6,1 °C (21 °F).

A temperatura do fluido que entra na serpentina do lado de exaustão pode ser regulada usando uma válvula de três vias para misturar o fluido mais quente que volta da serpentina do lado de exaustão com o fluido frio que volta da serpentina de ar externo (conforme mostrado na Figura 1). A temperatura de

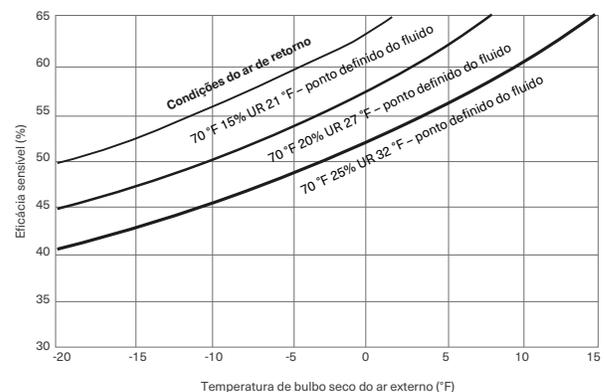
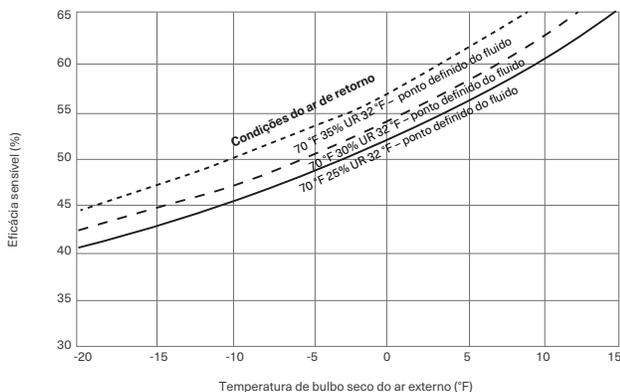
bulbo seco e a umidade relativa do ar de exaustão que está entrando são medidas e usadas para calcular a temperatura do ponto de orvalho (ou ponto de congelamento) correspondente. O setpoint da válvula de três vias é, então, redefinido dinamicamente com base nas condições atuais do ar de exaustão, em vez de usar um ponto de ajuste fixo de 0,0 °C (32 °F).

A prevenção de congelamento ou de gelo pode ser necessária na carga máxima do projeto de aquecimento do prédio, quando o ar externo que entra é o mais frio. Os dois gráficos na Figura 6 mostram a maior eficácia sensível possível antes do início do congelamento ou da formação de gelo. Otimizar o loop de serpentinas para alcançar uma eficácia maior do que esse limite não resultará em

mais energia recuperada na carga máxima de aquecimento, pois os controles de prevenção de congelamento limitarão a quantidade de calor recuperado para evitar que a temperatura do fluido que está entrando na serpentina do lado de exaustão fique fria demais.

Por exemplo, se a temperatura externa de projeto no inverno for de -23,3 °C (-10 °F) e as condições do ar de exaustão forem de 21,1 °C (70 °F) de bulbo seco e 20% de UR, a eficácia sensível máxima será de 50%. **Observe que isso depende do nível de umidade da corrente de ar de exaustão, não da seleção da serpentina.** Portanto, adicionar fileiras e aletas para alcançar uma eficácia maior que 50% não reduzirá a carga de aquecimento do projeto, mas aumentará o custo da serpentina e do ventilador e o uso de energia da bomba.

Figura 6. Maior eficácia sensível possível antes do início da formação de gelo (esquerda) e congelamento (direita)



EXEMPLO DE SELEÇÃO DE UM LOOP DE SERPENTINAS EM REDE

Considere um prédio de laboratório que usa exaustão centralizada e condutores de ar externo distribuídos (como mostrado no diagrama à esquerda na Figura 2):

- Duas AHUs de exaustão retirando 30.000 scfm cada (60.000 scfm no total)
- Seis AHU de suprimento injetando 66.000 scfm de ar externo no total
 - Duas AHUs injetando 6.000 scfm cada
 - Duas AHUs injetando 10.000 scfm cada
 - Duas AHUs injetando 17.000 scfm cada
- Condições do projeto para inverno: o ar externo com -17,7 °C (0 °F) e o ar de exaustão com 21,1 °C (70 °F) de bulbo seco e 35% de UR

Critérios do projeto 1: taxa mínima de recuperação de energia sensível de 0,50. Com uma temperatura do ar externo que entra (DBT₁) de -17,7 °C (0 °F) e uma temperatura do ar de exaustão que entra (DBT₃) de 21,1 °C (70 °F), atingir no mínimo uma taxa de recuperação de energia sensível de 0,50 requer que o ar que sai da serpentina de ar externo (DBT₂) não esteja a uma temperatura menor que 1,66 °C (35 °F) de bulbo seco:

- taxa de recuperação de energia sensível = $(DBT_1 - DBT_2) / (DBT_1 - DBT_3)$
- 0,50 = $(0 °F - DBT_2) / (0 °F - 70 °F)$, portanto, DBT₂ = 35 °F

Aquecer 66.000 scfm de ar externo de 0 °F para 35 °F requer um mínimo de 2.506 MBh de calor recuperado das correntes de ar de exaustão:

- $1,085 \times 66.000 \text{ scfm} \times (35 °F - 0 °F) = 2.506.000 \text{ Btu/h} = 2.506 \text{ MBh}$

Observe que, como os fluxos de ar externo e de exaustão não são iguais neste exemplo, uma taxa de recuperação de energia sensível de 0,50 corresponde a uma eficácia sensível (esensible) de 55%:

- $\epsilon_{\text{sensível}} = (\text{CFM}_{\text{suprimento}} / \text{CFM}_{\text{mínimo}}) \times (DBT_1 - DBT_2) / (DBT_1 - DBT_3)$
- $\epsilon_{\text{sensível}} = (66.000 \text{ scfm} / 60.000 \text{ scfm}) \times (0 °F - 35 °F) / (0 °F - 70 °F) = 0,55$ ou 55%

Critérios do projeto 2: Espaço limitado para as serpentinas de ar externo. As AHU's de ar externo que atendem a um laboratório contêm componentes adicionais, como serpentinas de resfriamento, umidificadores ou filtros de alta eficácia. Portanto, a serpentina de ar externo de um loop de serpentinas pode ser restrita à velocidade de face da serpentina existente (450 a 500 fpm, por exemplo) para minimizar o custo adicionado e a emissão do condutor de ar.

Critérios do projeto 3: Reduzir a potência do ventilador das AHU's de ar externo. As AHU's de ar externo que atendem a um laboratório têm perdas de pressão estática interna associadas aos componentes adicionais mencionados anteriormente. Com frequência, uma meta é limitar a queda de pressão do ar da serpentina de ar externo para evitar o aumento do tamanho do motor do ventilador ou manter abaixo do crédito de 0,6 pol. de H₂O permitido pelo ASHRAE® Standard 90.1 (Seção 6.5.3.1.1 na versão de 2019).

Approach sugerido para a seleção de serpentinas. Com base nos gráficos da Figura 6, com o ar de exaustão entrando na serpentina a 21,1 °C (70 °F) de bulbo seco e 35% de UR, a eficácia máxima sensível que pode ser alcançada antes do início da formação de congelamento é de 56%. Isso corresponde a uma taxa máxima de recuperação de energia sensível de 0,51, para que os critérios do projeto de 0,50 possam ser alcançados.

As serpentinas de ar de exaustão neste exemplo deverão ser selecionadas com um approach estreito [$\sim 2,22 °C$ ($\sim 4 °F$)], que é a diferença entre a temperatura do fluido que entra [0,0 °C (32 °F)] e a temperatura do ar que sai da serpentina [$\sim 2,2 °C$ ($\sim 36 °F$)]. Este é um approach mais estreito do que será exigido das serpentinas de ar externo. Portanto, o custo requerido para a área adicional de face da serpentina e para as fileiras é melhor gasto nas serpentinas de ar de exaustão.

Os ventiladores da AHU de exaustão do laboratório podem gerar muito ruído, exigindo frequentemente silenciadores instalados com baixa velocidade de face para minimizar a transmissão do som para o espaço. Por esse motivo, usar uma área de face maior para as serpentinas de ar de exaustão pode não determinar um aumento no tamanho da caixa do condutor de ar.

Supondo uma certa flexibilidade para aumentar a área da face da serpentina na AHU de ar de exaustão, o calor mínimo recuperado do fluxo de ar de exaustão (2.506 MBh no total, ou 1.253 MBh para cada AHU de exaustão, e uma temperatura de fluido de 0,0 °C (32 °F) que entra nas serpentinas de ar de exaustão são usados pelo software de seleção de serpentina para encontrar uma serpentina otimizada, variando a área de face da serpentina e o número de fileiras (Tabela 1).

Para este exemplo, nas condições de aquecimento, a taxa de vazão do fluido para o loop completo é de 460 gpm. Essa taxa de vazão é, então, distribuída para as serpentinas de ar externo nos seis condutores.

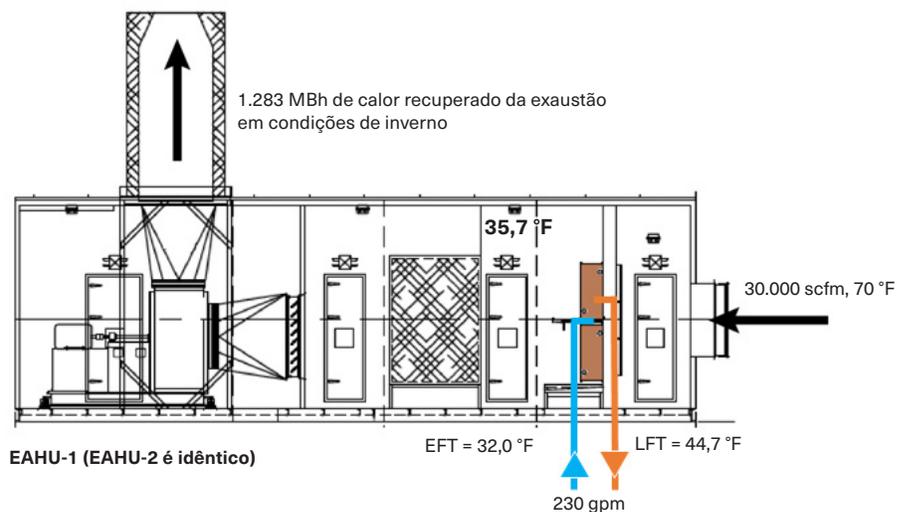
Com base na Figura 4, para alcançar uma taxa de recuperação de energia sensível de 0,50 com uma velocidade de face da serpentina entre 450 e 500 fpm (devido ao espaço limitado nos condutores de ar externo), as serpentinas de ar externo precisarão de seis ou oito fileiras.

Usando as áreas de face fixas e começando com seis fileiras (para manter a queda de pressão do ar mais baixa), as serpentinas de ar externo são, então, otimizadas variando o tipo de serpentina, o tipo de aleta e o espaçamento da aleta (Tabela 2).

Como mencionado anteriormente, um loop de serpentinas em rede otimizado incluirá serpentinas de vários tipos e tamanhos. Como nesse exemplo, isso não resulta na mesma temperatura do ar de insuflamento ou temperatura de saída do fluido para cada serpentina. A meta é distribuir a energia extraída do ar de exaustão para as serpentinas de ar externo usando o menor gasto de energia nas bombas e no ventilador.

Este loop de serpentinas de exemplo atende aos critérios do projeto declarados apresentando uma taxa de recuperação de energia sensível de 0,51, nas condições do projeto de aquecimento, com queda de pressão do ar para cada serpentina de ar externo sendo menor que 0,6 pol. de H₂O. Além disso, a queda de pressão do fluido para cada serpentina não passa de 20 pés de H₂O.

Tabela 1. Exemplo de seleções otimizadas de serpentinas de ar de exaustão, em condições do projeto de aquecimento



Detalhes das serpentinas de recuperação do ar de exaustão

Unidade	Modelo	Diâmetro do tubo	Tipo de circuito	Fileiras	Tipo de aleta	Aletas por pé	Área total da face	Qtde.	Altura da serpentina	Comprimento da serpentina
EAHU-1 e 2	Trane WD	5/8 pol.	Duplo	8	Prima Flo H	144	69,27 pés ²	2	37 pol.	133 pol.

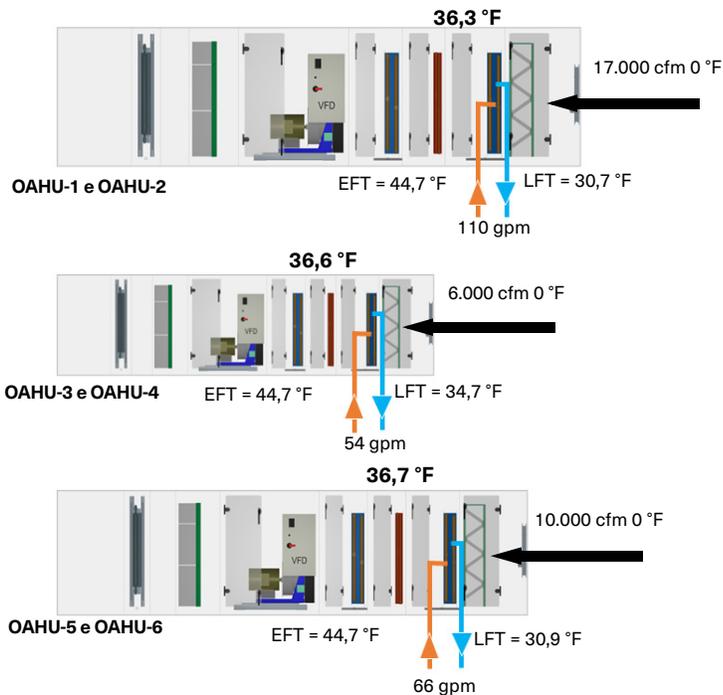
Dados de desempenho do ar no inverno

Unidade	Fluxo de ar scfm	Velocidade de face fpm	Queda de pressão do ar pol. H ₂ O	Entrada		Saída		Capacidade		
				DB °F	WB °F	DB °F	WB °F	MBH total	MBH sensível	MBH latente
EAHU-1 e 2	30.000	433	0,93	70,0	54,4	35,7	35,6	1.283	1.120	163

Dados de desempenho do fluido no inverno

Unidade	Vazão do fluido gpm	Velocidade do fluido pés/s	Queda de pressão do fluido pés H ₂ O	Entrada °F	Saída °F	Capacidade MBH	Fluido
EAHU-1 e 2	230	2,54	12,9	32,0	44,7	1.283	30% etilenoglicol

Tabela 2. Exemplo de seleções otimizadas de serpentinas de ar externo, em condições do projeto de aquecimento



Detalhes das serpentinas de recuperação do ar de exaustão

Unidade	Modelo	Diâmetro do tubo	Tipo de circuito	Fileiras	Tipo de aleta	Aletas por pé	Área total da face	Qtde.	Altura da serpentina	Comprimento da serpentina
OAHU-1 e 2	Trane WD	5/8 pol.	Individual	6	Prima Flo H	135	69,27 pés2	1	55 pol.	87 pol.
OAHU-3 e 4	Trane	3/8 pol.	Duplo	6	Prima Flo H	112	69,27 pés2	1	32 pol.	55 pol.
OAHU-5 e 6	Trane	1/2 pol.	Individual	6	Prima Flo H	130	69,27 pés2	1	43 pol.	69 pol.

Dados de desempenho do ar no inverno

Unidade	Fluxo de ar scfm	Velocidade de face fpm	Queda da pressão do ar (in. H ₂ O)	DB °F de entrada	DB °F de saída	MBH de capacidade total
OAHU-1 e 2	17.000	507	0,55	0,0	36,3	671
OAHU-3 e 4	6.000	495	0,55	0,0	36,6	238
OAHU-5 e 6	10.000	481	0,55	0,0	36,7	398

Dados de desempenho do fluido no inverno

Unidade	Vazão do fluido gpm	Velocidade do fluido pés/s	Queda de pressão do fluido pés H ₂ O	Entrada °F	Saída °F	Capacidade MBH	Fluido
OAHU-1 e 2	110	3,29	20,0	44,7	30,7	671	30% etilenoglicol
OAHU-3 e 4	54	3,52	19,9	44,7	34,7	238	30% etilenoglicol
OAHU-5 e 6	66	3,33	19,8	44,7	30,9	398	30% etilenoglicol

CONTROLE DE CAPACIDADE PARA UM LOOP DE SERPENTINAS OTIMIZADO

Métodos de controle complexos não são necessários para otimizar o desempenho de um loop de serpentinas em rede. Como a maioria dos sistemas de distribuição de água gelada ou de água quente, uma bomba de loop de serpentinas com velocidade variável pode ser modulada para manter a pressão no loop em um ponto desejado e o loop deve ser balanceado para garantir que cada serpentina de ar externo receba a taxa de vazão de fluido necessária (Figura 7). As bombas têm o tipo e o controle semelhantes a outras bombas, que podem estar localizadas na mesma casa de máquinas ou no topo do prédio.

As serpentinas nas AHU's de ar externo são equipadas com válvulas de controle de duas vias, proporcionais que são usadas para variar a quantidade de calor recuperado. Essas válvulas têm tipo e controle semelhantes a outras válvulas usadas em serpentinas de água gelada ou de água quente na mesma AHU. Elas são controladas pelo mesmo controlador da AHU. Isso simplifica a implementação, uma vez que os dispositivos controlados (válvulas) e os métodos de controle para o loop de serpentinas são familiares.

Figura 7. Diagrama de vazão do loop de serpentinas em rede com válvulas de controle

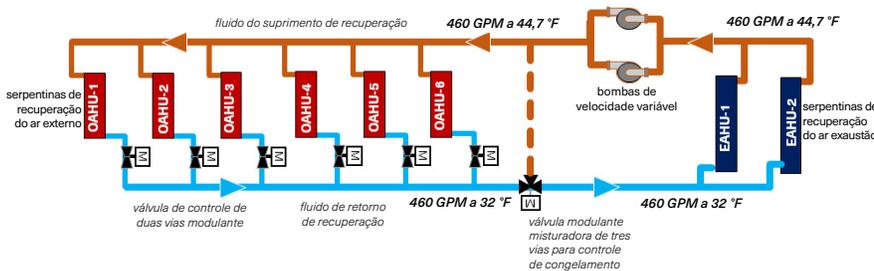
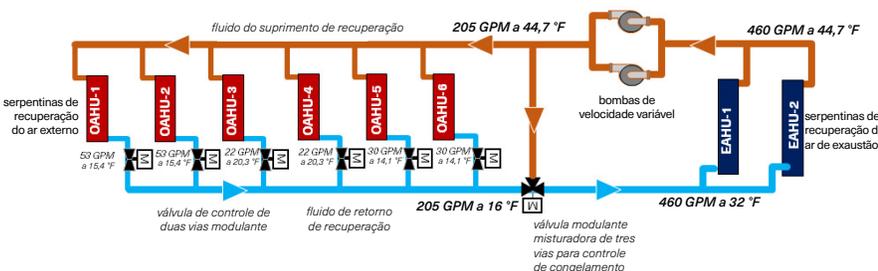


Figura 8. Prevenção contra congelamento em um circuito de serpentinas em rede



Controle de capacidade no modo de aquecimento.

O controle de capacidade da serpentina de ar externo é necessário durante o modo de aquecimento para evitar a recuperação excessiva de calor. Isso ocorre em dois cenários diferentes:

- É necessário que haja um controle de capacidade para evitar o superaquecimento do ar fornecido quando o ar externo que entra não está muito frio, e não há necessidade de capacidade total de recuperação de calor do loop das serpentinas. Quando a temperatura do ar externo está acima aproximadamente 4,4 °C (40 °F), a válvula de duas vias em cada serpentina de ar externo é modulada para evitar o superaquecimento do ar acima do ponto de temperatura do ar fornecido na AHU [12,7 °C (55 °F), por exemplo]. O controlador da bomba de velocidade variável responde a válvulas parcialmente fechadas reduzindo a velocidade da bomba, reduzindo a taxa de vazão do fluido no loop.
- O controle de capacidade é necessário para evitar a formação de congelamento ou de gelo nas serpentinas de ar de exaustão quando o ar externo que entra está muito frio. Quando existe a possibilidade de congelamento, a válvula de duas vias em cada serpentina de ar externo é modulada para evitar que a serpentina ultrapasse sua capacidade máxima de recuperação. A temperatura do fluido que retorna das serpentinas de ar externo ficará abaixo da temperatura mínima do fluido de exaustão [0,0 °C (32 °F) no exemplo].

A válvula misturadora de três vias é usada para misturar o fluido mais quente que retorna das serpentinas de ar de exaustão com o fluido muito frio que retorna das serpentinas de ar externo (Figura 8). Essa válvula é modulada para manter a temperatura do fluido que entra nas serpentinas de ar de exaustão acima do ponto mínimo [0,0 °C (32 °F) neste exemplo]. Como a taxa de vazão do fluido através das serpentinas de ar de exaustão está na taxa de vazão do projeto (ou muito próxima), essa é a quantidade máxima de energia que pode ser recuperada das correntes de ar de exaustão.

Em um loop de serpentinas convencional 1:1 (Figura 1), uma única válvula de três vias pode ser usada para controle de capacidade e para prevenção de congelamento. Nenhuma válvula de duas vias adicional é necessária. No entanto, em um loop de serpentinas em rede com várias serpentinas de ar externo, uma válvula de duas vias é necessária para cada serpentina de ar externo (além da válvula central de três vias) para garantir que o fluido aquecido pelo ar de exaustão seja distribuído a cada uma das serpentinas de ar externo e que a quantidade ideal de energia seja recuperada.

Calor adicional. Neste exemplo de prédio de laboratórios, as AHU's de ar externo são necessários para entregar um ar de 12,7 °C (55 °F) durante o ano. Isso pode exigir um aquecimento adicional se o loop de serpentinas não puder fornecer toda a capacidade necessária.

Adicione calor com uma serpentina extra. Uma solução é adicionar uma serpentina de água quente localizada imediatamente a jusante da serpentina de ar externo (consulte o diagrama à esquerda na Figura 9). Essa serpentina adicional é usada, quando necessário, para aquecer o ar até o setpoint de temperatura de insuflamento da AHU [12,7 °C (55 °F) neste exemplo] usando a água quente fornecida por um boiler ou uma bomba de calor.

Adicione calor ao loop. Uma solução alternativa é adicionar calor ao fluido do loop de serpentinas antes que ele entre nas serpentinas de ar externo (consulte o diagrama à direita na Figura 9 e na Figura 10). Isso tem a vantagem de reduzir o número de serpentinas na AHU e também evitar a necessidade de instalar tubulação de água quente em cada condutor de ar. No entanto, esse approach reduz muito a quantidade de calor recuperado e não conseguirá alcançar uma taxa de recuperação de energia sensível de 0,50 conforme exigido nesse exemplo.

Figura 9. Métodos complementares de aquecimento

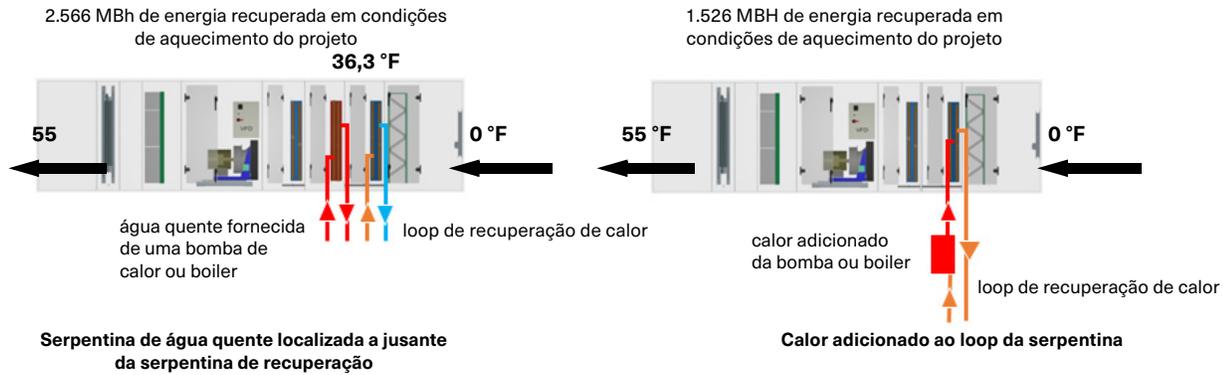
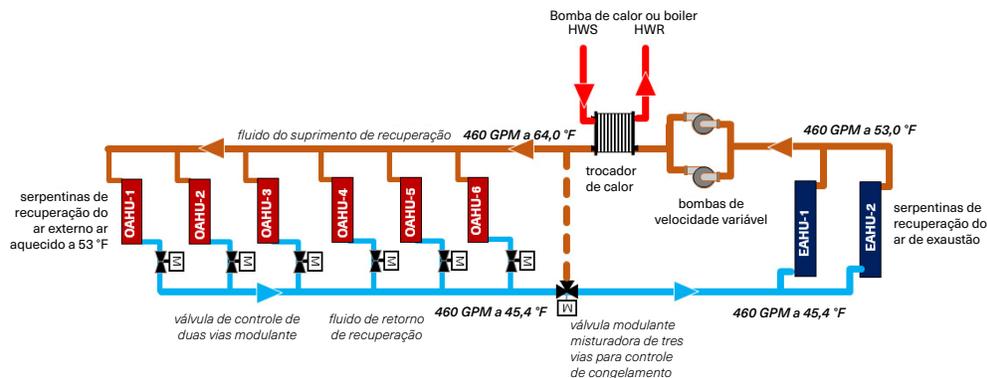


Tabela 3. Exemplo de desempenho do loop de serpentinas com calor extra adicionado ao loop

Unidade	Fluxo de ar scfm	Velocidade de face fpm	Queda de pressão do ar pol. H2O	Entrada		Saída		Capacidade		
				DB °F	WB °F	DB °F	WB °F	MBH total	MBH sensível	MBH latente
EAHU-1 e 2	30.000	433	0,93	70,0	54,4	46,7	44,0	763	763	0

Figura 10. Calor extra adicionado ao fluido no loop



Penalidade do loop de aquecimento. Adicionar calor ao fluido no loop aumenta a temperatura geral do loop. Isso reduz a quantidade de calor que pode ser recuperada, uma vez que é mais difícil para esse fluido mais quente extrair calor do ar de exaustão (consulte a Tabela 3 e a Figura 10, em comparação com a Tabela 1). Neste exemplo, a quantidade total de calor recuperado em condições de aquecimento cai em torno de 40% para 1.526 MBh (763 MBh de cada AHU de exaustão) e a taxa de recuperação de calor sensível cai para 0,30 (igual à eficácia sensível de 33%).

Controle de capacidade no modo de resfriamento.

A modulação da capacidade de um loop de serpentinas no modo de resfriamento não é necessária. No entanto, as bombas do loop de serpentinas devem ser desligadas para evitar a transferência de calor indesejado para o ar externo que entra durante esse modo. Isso ocorre quando a temperatura do ar externo que entra fica abaixo da temperatura do ar de exaustão que entra.

Nessas condições, a operação da bomba do loop de serpentinas pode transferir um calor indesejado do ar de exaustão mais quente para o ar externo mais frio.

Com frequência, no modo de resfriamento, a bomba do loop de serpentinas não é ativada até que a temperatura do ar externo que entra suba para alguns graus acima da temperatura do ar de exaustão [acima de 27 °C (80 °F) quando o ar de exaustão é de 24 °C (75 °F), por exemplo]. Quando as temperaturas estão tão próximas, a quantidade de calor transferido é relativamente pequena e a operação da bomba do loop de serpentinas é menos eficiente do que o fornecimento dessa capacidade de resfriamento usando o sistema de água do chiller.

Taxas de vazão do fluido igual versus diferente. O loop de serpentinas selecionado para este exemplo de laboratório usa a mesma taxa de vazão de fluido em condições de resfriamento e aquecimento.

Entretanto, se a queda de pressão do fluido em condições de aquecimento for muito alta, pode ser aconselhável reduzir a taxa de vazão do fluido durante a operação de resfriamento para otimizar a performance. Em outras aplicações, a taxa de vazão do fluido pode ser mais alta em condições de resfriamento para aumentar a eficácia sensível. Em qualquer um desses casos, as bombas do loop de serpentinas serão controladas para diferentes pontos de pressão no modo de resfriamento versus aquecimento.

Para o exemplo apresentado neste EN, as quedas de pressão do fluido são relativamente baixas, uma vez que a mesma taxa de vazão do fluido é usada nas condições de aquecimento e de resfriamento.

A Tabela 4 inclui o desempenho deste loop de serpentinas do exemplo em condições de resfriamento. A taxa de recuperação de energia sensível é de 0,50, o que é igual a uma eficácia sensível de 56%.

Tabela 4. Exemplo de desempenho otimizado do loop de serpentinas, em condições de resfriamento

Dados de desempenho do ar da serpentina de exaustão de resfriamento

Unidade	Fluxo de ar scfm	Velocidade de face fpm	Queda de pressão do ar pol. H ₂ O	DB °F de entrada	DB °F de saída	MBH de capacidade sensível
EAHU-1 e 2	30.000	433	0,79	72,0	84,9	421

Dados de desempenho do fluido da serpentina de exaustão de resfriamento

Unidade	Vazão do fluido gpm	Velocidade do fluido pés/s	Queda de pressão do fluido pés H ₂ O	Entrada °F	Saída °F	Capacidade MBH	Fluido
EAHU-1 e 2	230	2,54	11,9	85,5	81,4	421	30% etilenoglicol

Dados de desempenho do ar externo da serpentina de resfriamento

Unidade	Fluxo de ar scfm	Velocidade de face fpm	Queda de pressão do ar pol. H ₂ O	DB °F de entrada	DB °F de saída	MBH de capacidade total
OAHU-1 e 2	17.000	507	0,55	95,0	83,7	214
OAHU-3 e 4	6.000	495	0,55	95,0	83,7	76
OAHU-5 e 6	10.000	481	0,55	95,0	83,6	127

Dados de desempenho do fluido externo da serpentina de resfriamento

Unidade	Vazão do fluido gpm	Velocidade do fluido pés/s	Queda de pressão do fluido pés h ₂ o	Entrada °F	Saída °F	Capacidade MBH	Fluido
OAHU-1 e 2	110	3,29	17,0	81,4	85,8	214	30% etilenoglicol
OAHU-3 e 4	54	3,52	16,6	81,4	84,5	76	30% etilenoglicol
OAHU-5 e 6	66	3,33	17,2	81,4	85,7	127	30% etilenoglicol

Conclusão

Recuperar energia do ar de exaustão de um prédio usando um loop de serpentinas pode ser uma solução flexível e eficiente, especialmente ao tentar reduzir o pico de carga de aquecimento. Para ajudar a maximizar a eficiência, as seleções de serpentinas precisam ser otimizadas para a aplicação. Isso resultará em tipo e tamanho diferentes de serpentinas para diferentes fluxos de ar.

Com a automação predial de hoje em dia, o controle e o monitoramento do desempenho do loop de serpentinas podem ser integrados sem técnicas de controle complicadas. O controle do loop de serpentinas é semelhante ao controle de capacidade de serpentinas hidráulicas de resfriamento e aquecimento convencionais, uma vez que são usados os mesmos tipos de válvula e de bomba e os mesmos métodos de controle. As serpentinas de recuperação de calor devem fazer parte da sequência de controle da AHU para garantir uma operação confiável e para otimizar a recuperação de energia.

Para ajudar a maximizar a quantidade de energia recuperada, o aquecimento adicional deve ser feito usando uma serpentina de aquecimento a jusante. Como alternativa, o calor pode ser adicionado ao fluido no loop, mas isso reduzirá a quantidade de calor recuperado.

Tudo isso torna os loops das serpentinas mais eficientes e mais fáceis de implementar do que há 40 anos.

Por Ronnie Moffitt, Trane. Para assinar ou ver edições anteriores do Boletim de Engenheiros, acesse trane.com. Envie seus comentários para ENL@trane.com.

Cronograma do programa Boletim dos Engenheiros de 2022 *Ao Vivo!*

MARÇO

Aplicação de VRF em uma solução de edifício completa Parte II. Agora disponível on-line

MAIO

Descarbonização de sistemas HVAC Parte II. Agora disponível on-line

SETEMBRO

Projeto para sistema de bomba de calor ar-água. Agora disponível on-line

NOVEMBRO

Eletrificação de resfriamento e aquecimento com armazenamento de energia térmica. Adicionar armazenamento de energia a edifícios ajuda não somente a economizar energia, custos elétricos e de água, mas também economiza carbono. Neste programa, revisitaremos os benefícios e as técnicas para integrar o armazenamento de energia térmica para resfriamento. Além disso, exploraremos maneiras de usar o armazenamento para minimizar o impacto que a descarbonização dos edifícios e a eletrificação do aquecimento devem ter nos custos de energia.

Junte-se a nós em **2023** para obter mais programas informativos do **BOLETIM DOS ENGENHEIROS AO VIVO!**

MARÇO

Projeto de central de água gelada modular

MAIO

Controle de pressão predial

SETEMBRO

Descarbonização predial (eletrificação) para sistemas hidráulicos

NOVEMBRO

Recuperação de energia ar-ar de última geração

Entre em contato com o escritório local da Trane para obter mais informações ou acesse www.Trane.com/ENL.



Uma empresa de climatização inovadora — cria ambientes internos confortáveis que economizam energia por meio de um amplo portfólio de sistemas, controles, serviços, peças e suprimentos para aquecimento, ventilação e condicionamento de ar. Para obter mais informações, consulte trane.com ou tranetechnologies.com.

A Trane acredita que os fatos e as sugestões apresentados aqui são precisos. No entanto, as decisões finais de projeto e aplicação são de sua responsabilidade. A Trane se isenta de qualquer responsabilidade por ações tomadas com relação ao material apresentado.

Todas as marcas registradas mencionadas neste documento são marcas registradas de seus respectivos proprietários.