

INTRODUÇÃO AO EQUILÍBRIO DINÂMICO

Balanço hidráulico em sistemas AVAC



Rua do Proletariado 15-B - 2790-138 CARNAXIDE
tel. 214 203 900 fax 214 203 902 arcondicionado@contimetra.com
www.contimetra.com



Rua Particular de São Gemil 85 - 4425-164 MAIA
tel. 229 774 470 fax 229 724 551 arcondicionado@sistimetra.pt
www.sistimetra.pt

INTRODUÇÃO AO EQUILÍBRIO DINÂMICO

Balanco hidráulico em sistemas AVAC

Balanço hidráulico em sistemas AVAC

1. Introdução

A concepção e operação das instalações de AVAC deveriam assegurar que a energia fornecida à água seja distribuída a toda a instalação de acordo com o projectado. Neste processo uma das características fundamentais é a correcta distribuição de caudais por toda a instalação, de modo a conseguir-se um balanço hidráulico correcto.

Além disso o tipo de solução a projectar deve corresponder ao menor consumo de energia, a uma elevada fiabilidade, a uma manutenção simples e de baixo custo, e um baixo nível de ruído durante o seu funcionamento.

2. Objectivo deste artigo

Neste capítulo iremos abordar a necessidade do equilíbrio de um sistema de distribuição de água, quais os efeitos na distribuição de calor ou frio, algumas considerações que devem ser tidas em conta antes do projecto, o resultado do equilíbrio e a diferença entre válvulas equilibradoras, estáticas e dinâmicas.

3. O que se entende por um sistema de distribuição hidráulico equilibrado?

Definição: Um sistema hidráulico de distribuição diz-se em equilíbrio quando os caudais em todo o sistema (através dos componentes terminais e tubagem de distribuição) correspondem aos caudais nominais especificados no projecto.

A condição de funcionamento nominal pode ser simulada abrindo todas as válvulas de regulação terminais - quer sejam válvulas manuais, termostáticas ou motorizadas.

Na prática recomenda-se que os caudais sejam equilibrados através de um certo número de válvulas equilibradoras que podem ser ajustadas individualmente. Juntamente com o resto do sistema elas estabelecem a resistência de passagem ao caudal exacto de modo a garantir uma distribuição correcta do fluido.

A figura 1 mostra um sub-circuito de um circuito hidráulico em equilíbrio. Este sub-circuito estará em equilíbrio quando as válvulas equilibradoras pré-reguladas de modo a serem mutuamente dependentes conseguirem que os caudais através das unidades terminais e na tubagem de distribuição correspondam aos valores projectados para o sistema.

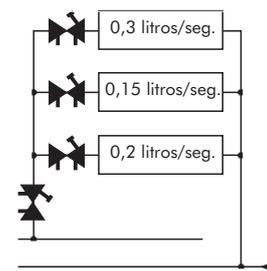


Fig. 1 - Um sub-circuito em equilíbrio com 3 unidades terminais

Em analogia com um circuito eléctrico as válvulas equilibradoras são comparáveis a resistências variáveis, a resistência à passagem de caudal, à resistência dos cabos de ligação, e as unidades terminais de transferência de calor/frio às resistências de carga, na figura 2.

A distribuição da corrente eléctrica através das resistências de carga e cabos de ligação depende da malha de resistências do circuito, à semelhança do sistema de distribuição hidráulico.

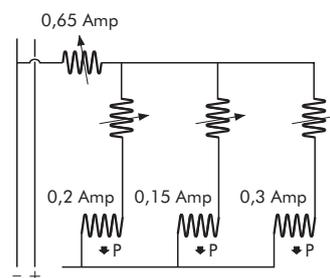


Fig. 2 - Circuito eléctrico análogo

4. A necessidade de equilibrar

Se o equilíbrio não existir, provocará excessos de caudal em algumas unidades terminais e deficiência de caudal em outras. O resultado disto é a não garantia do calor/frio em todas as partes da instalação, conforme projectado.

Na prática não é possível garantir-se um correcto equilíbrio da instalação manipulando somente a tubagem ou alterando a sua secção.

Somente usando as válvulas equilibradoras como na figura 1 é possível garantir-se uma correcta distribuição de caudais.

Balanço hidráulico em sistemas AVAC

5. Considerações de projecto

Ao projectar uma instalação é necessário ter em conta o seguinte:

- Operacionalidade efectiva.
- Obtenção de conforto requerido com o mínimo de custos operacionais.
- Evitar desnecessárias perdas de energia.

Na fase de projecto a selecção do equipamento para o equilíbrio e controlo dos sistemas deve obedecer ao seguinte:

- a) Tipo de aplicação.
- b) Tipo de edifício em questão.
- c) Parâmetros de conforto ambiente (temperatura/humidade).
- d) Tipo de água quente/fria a fornecer.
- e) Tolerância aceitável em relação aos parâmetros de conforto.
- f) Minimização da energia primária.
- g) Uso de recuperadores de energia.
- h) Factores económicos.

Os resultados de c), e) e f) dependem muito da distribuição correcta dos caudais no sistema. Em consequência a qualidade do equilíbrio deve corresponder ao conforto requerido e à eficiência do consumo de energia.

A qualidade do equilíbrio está parcialmente dependente do tipo de válvulas equilibradoras escolhidas (estáticas versus dinâmicas), comparando com o método de ajuste escolhido, e parcialmente na escolha dos componentes necessários a verificação dos caudais no sistema.

Os seguintes critérios de qualidade devem ser tomados em linha de conta no projecto do sistema:

- Tipo de válvulas equilibradoras.
- Método de ajuste.
- Verificação de caudais, onde e como?
- Desvios de caudais aceitáveis.

6. O resultado do equilíbrio

Uma instalação satisfatoriamente em equilíbrio tem os seguintes resultados:

- Caudais correctos nas caldeiras e chillers.
- Correcta distribuição dos caudais e seus efeitos em todo o sistema.
- Compatibilidade de caudais nos ramais principais e secundários.

Estes resultados asseguram as seguintes vantagens:

- A temperatura ambiente pode ser ajustada no intervalo especificado.
- Poupança de energia como resultado das condições favoráveis dadas aos componentes de controlo.
- Conseguir as condições de conforto requeridas.

Balanço hidráulico em sistemas AVAC

7. Porquê a necessidade de válvulas equilibradoras?

Respondemos a esta questão com base na figura 3.

A figura mostra um esquema de uma instalação simples constituída por uma caldeira /chiller, três unidades terminais idênticas com o mesmo caudal nominal e um circulador que faz movimentar o fluido, ex.: água ou água com glycol, no circuito. Na parte superior da figura o diagrama representa a distribuição da pressão ao longo da instalação. Os nós da instalação e os do diagrama têm as mesmas letras.

O deslocamento do fluido é contrariado pela fricção deste com as paredes do tubo. Esta fricção ocasiona perda de pressão ao longo da tubagem no sentido do deslocamento do fluido. Este efeito está em evidência na perda de pressão que se verifica entre os nós da instalação.

O caudal entre dois pontos poderá ser determinado pela pressão diferencial entre os pontos e a resistência da tubagem, válvulas e unidades terminais contra o caudal. Matematicamente estes parâmetros relacionam-se da seguinte forma:

$$qVn = \Delta P(RRn), \text{ em que } qV = \text{caudal}$$

ΔP = perda de carga

R = resistência da tubagem, acessórios de ligação, unidades terminais, etc., e válvulas

n = expoente - depende do tamanho da tubagem

R = densidade

O valor da resistência "R" pode ser retirado das tabelas, e dos catálogos respectivos. O expoente "n" depende do tamanho da tubagem.

A queda de pressão ΔP_1 na figura 3 é designada por circuito de "Referência". O circuito de referência é aquele que apresenta a maior resistência ao caudal. Normalmente o circuito mais afastado do circulador. Esta queda de pressão pode ser calculada através da equação $\Delta P_1 = R_1 \cdot (qV \cdot R)^n$ em que a resistência terminal R1 e o caudal pretendido são valores conhecidos.

A queda de pressão através das três unidades terminais idênticas será a mesma, considerando o mesmo caudal em cada uma delas, i.e., $\Delta P_1 = \Delta P_2 = \Delta P_3$.

A fim de se garantir esta igualdade de queda de pressão através das unidades terminais e respectiva tubagem é necessário colocar em série com estas resistências uma outra resistência de modo a absorver a queda de pressão entre os pontos BF e CG.

Se a instalação em questão não está equipada com válvulas de equilíbrio depois dos terminais (2) e (3), o caudal através das três unidades irá variar e o terminal (3) irá estar sujeito ao maior caudal, o terminal (2) a um caudal inferior, e o terminal (1) ao caudal mais pequeno. Neste caso o sistema não estaria em equilíbrio.

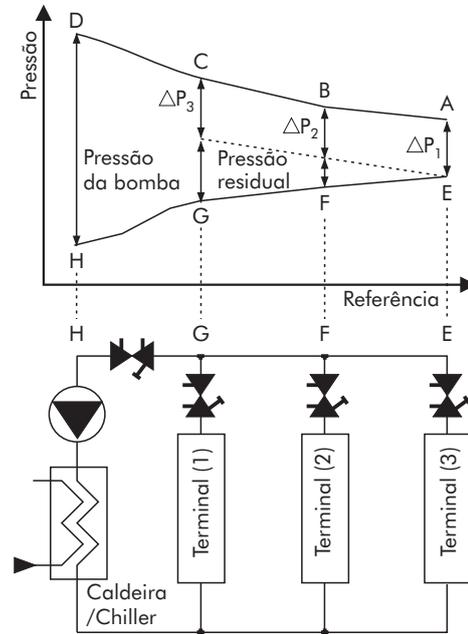
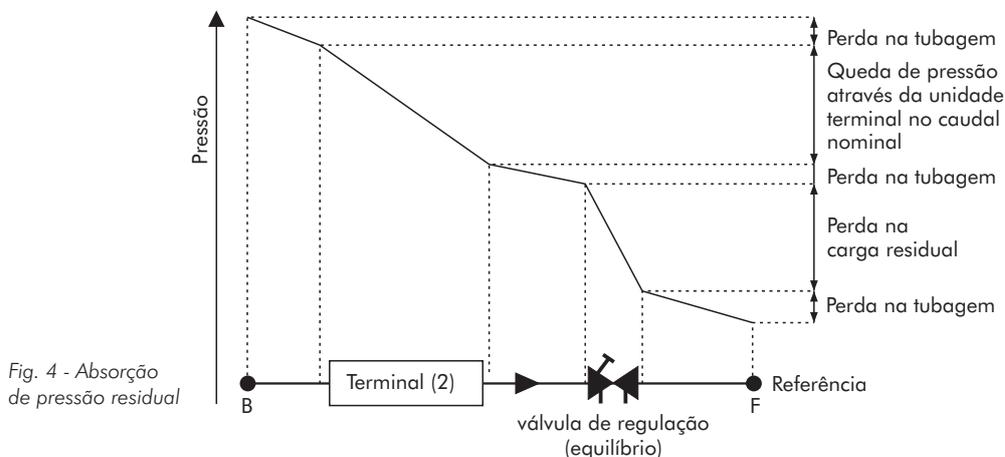


Fig. 3 - Instalação simples e correspondente distribuição de pressões

Balanco hidráulico em sistemas AVAC



A figura 4 representa a distribuição das quedas de pressão entre os pontos BF. Podemos ver que o ajuste da válvula de regulação tem de ter em conta não só a queda de pressão na unidade terminal (2) mas também através dos troços de tubagem.

O ajuste final é normalmente feito pela medição indirecta do caudal através da válvula de regulação e simultaneamente com a medição do caudal através da unidade terminal (1).

A válvula de regulação do terminal (2) é ajustada de modo a assegurar que os caudais medidos através dos terminais (1) e (2) sejam proporcionalmente iguais à relação entre os seus caudais nominais.

De seguida ajusta-se a válvula do terminal (3) de modo a assegurar que a proporção entre os caudais dos terminais (2) e (3) seja a mesma existente entre os seus caudais nominais.

Esta forma de ajuste denomina-se por "método proporcional".

3. A diferença entre válvulas de equilíbrio estático e dinâmico

Normalmente não se encontra em catálogos a resistência ao caudal das válvulas. Normalmente o fabricante refere os coeficientes kV (ou cV nos catálogos Americanos). Dá-se o nome de coeficiente de passagem da válvula.

O coeficiente de passagem kV define-se como o caudal de água (com densidade 1 Kg / litro) através da válvula, quando a pressão diferencial através da válvula é 1 Bar. A unidade de medida é m³/hora.

O coeficiente de passagem cV define-se como o caudal de água (densidade 1 Kg/ litro) através da válvula, quando a pressão diferencial através da válvula é 1 Psi (1 b / polegada²). A unidade de medida é GPM (Galão / min.).

Matematicamente a relação entre caudal e a pressão diferencial pode ser expressa por:

$$qV = kV \sqrt{\Delta p} / Rr \quad qV \text{ caudal em m}^3/\text{hora e } \Delta p \text{ em bar}$$

$$qV = cV \sqrt{\Delta p} / Rr \quad qV \text{ caudal em GPM e } \Delta p \text{ em psi}$$

No caso das válvulas de controlo e de equilíbrio o coeficiente kV refere-se à válvula totalmente aberta.

Uma característica inerente às válvulas de equilíbrio estático é que o coeficiente kV pode ser alterado manualmente e fixo num determinado valor. Este coeficiente pode ser obtido dos gráficos de calibração das válvulas por leitura da posição do manípulo.

A válvula deve vir munida de dois terminais de teste, isolados, aos quais pode ser ligado um manómetro diferencial para uma leitura indirecta do caudal.

A válvula pode vir pré-regulada tendo por base a distribuição de caudais e pressões de projecto de toda a instalação AVAC.

De frisar, no entanto, que em instalações grandes e complexas podemos ter erros apreciáveis. Pode-se, no entanto, proceder à pré-regulação depois de instaladas, usando o "método proporcional" descrito no capítulo anterior.

Balanço hidráulico em sistemas AVAC

A válvula de equilíbrio dinâmico é uma nova válvula introduzida no mercado alguns anos atrás. Uma das suas características é a de poder ser pré-ajustado o caudal e permanecer constante. A válvula é um regulador que ajusta automaticamente o seu kV em função das variações de pressão diferencial que ocorram no circuito de modo a manter o caudal. O valor do kV da válvula compensa automaticamente qualquer variação da pressão diferencial, de modo que o caudal nunca excede o valor pré-ajustado.

Há modelos em que o caudal é fixo e pré-regulado de fábrica e outros em que o caudal pode ser pré-ajustado pelo utilizador antes ou depois de instalar a válvula, ou mesmo depois do sistema estar em funcionamento.

A válvula pode ser escolhida independentemente da distribuição de pressão no sistema, somente tendo em atenção o caudal calculado.

A figura 5 ilustra a diferença entre válvulas estática e dinâmica em termos da relação entre caudal e pressão diferencial através das válvulas a um determinado pré-ajustamento.

Como se pode ver no gráfico, o caudal através da válvula estática aumenta à medida que a pressão diferencial aumenta, e diminui à medida que a pressão diferencial baixa, enquanto a válvula dinâmica mantém o caudal constante (dentro da gama de regulação) independentemente da pressão diferencial entre a entrada e saída da válvula.

De salientar ainda que o caudal nominal (100%) através da válvula de equilíbrio estática não será atingido a menos que a pressão diferencial através da válvula iguale a pressão diferencial nominal (ΔP).

9 - QUANDO SÃO NECESSÁRIOS MEDIDORES DE CAUDAL?

Sistemas estáticos: No decurso do ajuste deverá ser possível medir o caudal através de cada unidade terminal (serpentina de ventiloconvectores), circuitos de distribuição e nos circuitos principais. A medição de caudal é feita normalmente por via indirecta, i.e., mede-se a pressão diferencial e converte-se em caudal usando o coeficiente kV do equipamento de medida.

As medidas são feitas em cada válvula de equilíbrio usando o kV correspondente ao ajuste da válvula e o gráfico associado de caudal.

A precisão da leitura realizada desta forma não vai além dos $\pm 25\%$ dependente da posição do manípulo de ajuste.

Esta imprecisão deve ser levada em conta quando se está a verificar os caudais.

É necessário também ter em atenção a relação de posição entre as válvulas terminais e as válvulas dos circuitos de distribuição durante o processo de equilíbrio.

Sistemas dinâmicos: As válvulas dinâmicas equilibram um sistema com uma precisão de $\pm 5\%$ dos caudais nominais.

Assim torna-se desnecessário fazer medições de caudal nas unidades terminais uma vez que a sua imprecisão é de $\pm 25\%$. É no entanto recomendado medir/verificar o caudal nos circuitos principais.

Para estes casos é recomendado o uso de um orifício fixo com uma precisão de $\pm 5\%$ do caudal real.

10 - ONDE SÃO NECESSÁRIAS VÁLVULAS DE EQUILÍBRIO?

As figuras 6 e 7 mostram uma secção do mesmo sistema, em que a figura 6 é designada por sistema estático, e a figura 7 como sistema dinâmico. A secção é constituída por um circuito principal, 3 circuitos de distribuição, cada um com 3 sub-circuitos com 3 terminais cada (num total de 27 terminais).

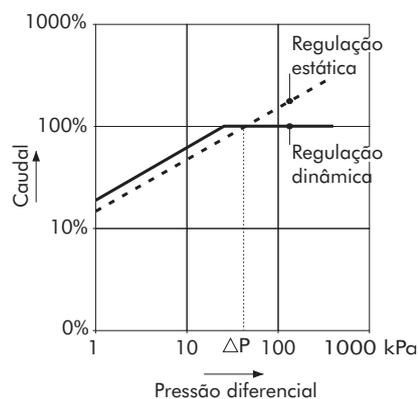


Fig. 5 - Comparação entre válvulas de equilíbrio estático e dinâmico para um valor de ajuste pré-determinado.

Balanço hidráulico em sistemas AVAC

Fig. 6 - Sistema de distribuição de água equilíbrio estático

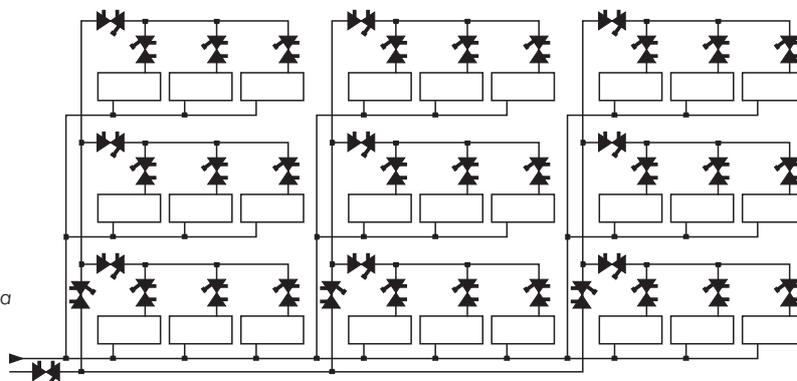
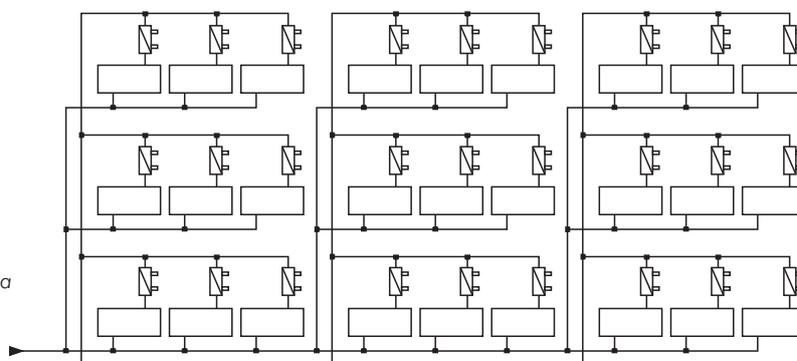


Fig. 7 - Sistema de distribuição de água equilíbrio dinâmico



No sistema estático cada terminal tem de ser equilibrado em grupos de 9 com 3 terminais cada. Cada um dos 9 grupos tem de ser equilibrado em grupos de 3 correspondentes aos 3 sub-circuitos. Cada um dos 3 circuitos de distribuição têm de ser equilibrados. E finalmente o circuito principal tem de ser ajustado de modo a garantir o caudal de projecto.

Este método de equilíbrio requer uma válvula de equilíbrio por cada unidade terminal, uma válvula de equilíbrio por cada sub-circuito de distribuição, uma válvula de equilíbrio por cada circuito de distribuição e uma válvula de equilíbrio no circuito principal.

No sistema dinâmico cada unidade terminal pode ser ajustada independentemente das restantes. Isto significa que somente é necessário uma válvula de equilíbrio por cada unidade terminal.

11. Porquê usar o equilíbrio dinâmico em vez do equilíbrio estático?

O ajuste de um circuito dinâmico é rápido e fácil. Tudo o que é necessário é a escolha da válvula pré-regulada para o caudal nominal. Não é necessário recorrer a medições para comparação com outras válvulas de equilíbrio.

No projecto de uma instalação o único factor de incerteza será o caudal a calcular. Usando válvulas dinâmicas a distribuição das pressões e a consequente escolha dos valores de kV para as válvulas de equilíbrio deixa de ser um problema.

As válvulas de equilíbrio somente são necessárias nas unidades terminais. Não há necessidade de válvulas de equilíbrio nos sub-circuitos de distribuição, nem nos circuitos de distribuição, nem no circuito principal.

As unidades terminais ficam 100% protegidas contra excesso de caudal sem ter a preocupação da distribuição das cargas na instalação e independente das variações dinâmicas da instalação. Num sistema estático ainda que devidamente equilibrado excessos de 300 - 400% podem ocorrer através de certas unidades terminais.

Balanço hidráulico em sistemas AVAC

Num sistema dinâmico os caudais nominais podem ser alterados numa ou mais secções sem alterar o funcionamento do resto do sistema. Ao contrário, num sistema estático qualquer erro no dimensionamento inicial conduz sempre a um re-equilíbrio de toda a instalação.

O resultado do ajuste dos caudais é mais preciso no sistema dinâmico que no estático, uma vez que os caudais são regulados com uma precisão de +/-5%.

Após a instalação do sistema dinâmico este pode sofrer alterações/aumentado/encurtado sem haver preocupação do equilíbrio do resto do sistema. Na correspondente instalação estática estas acções podem levar a um novo projecto do sistema.

Como síntese do que foi acima dito podemos sintetizar as vantagens do equilíbrio dinâmico:

- Ajuste rápido e fácil.
- Independente de erros / imprecisão no cálculo da distribuição da pressão na instalação.
- Menor número de válvulas equilibradoras.
- Unidades terminais 100% seguras contra excesso de caudal.
- Reajuste dos caudais na instalação sem problemas e a baixo custo.
- Precisão superior nos caudais reais.
- Grande flexibilidade da instalação em futuras alterações.

Devido a estas vantagens pode-se adiantar que a instalação hidráulica tem as seguintes características:

- Instalação mais barata.
- Melhor conforto.
- Maior flexibilidade.
- Operacionalidade mais económica.

SELECÇÃO/ESPECIFICAÇÃO

válvulas automáticas de regulação de caudal

Este tipo de válvulas é utilizado para manter um sistema de distribuição hidráulico em equilíbrio.

Ao contrário das válvulas estáticas (Tipo TA) estas são dinâmicas, isto é; ajustam-se automaticamente às variações de pressão diferencial que ocorram no circuito de modo a manter o caudal constante.

A válvula é regulada para o valor de caudal pretendido (normalmente o de projecto), esta regulação pode ser feita, antes ou depois de instalar a válvula. Após a instalação da válvula não é necessário qualquer tipo de ajuste ou afinação, pois o sistema fica automaticamente equilibrado.

No sistema dinâmico as válvulas de equilíbrio somente são necessárias nas unidades terminais. Não há necessidade de válvulas de equilíbrio nos sub-circuitos de distribuição, nem nos circuitos de distribuição, nem no circuito principal.

O resultado do ajuste dos caudais é superior no sistema dinâmico que no estático, uma vez que os caudais são regulados com uma precisão de +/- 5%.

Após a instalação do sistema dinâmico este pode sofrer alterações, aumentado ou encurtado sem haver preocupação do equilíbrio do resto do sistema. Podemos então, sintetizar as vantagens do equilíbrio dinâmico:

Ajuste rápido e fácil, sem necessidade de recorrer ao posterior equilíbrio da instalação.

Independente de erros /imprecisão no cálculo da distribuição da pressão na instalação.

Menor número de válvulas equilibradoras.

Unidades terminais 100% seguras contra excesso de caudal.

Reajuste dos caudais na instalação sem problemas e a baixo custo.

Precisão superior nos caudais reais.

Grande flexibilidade da instalação em futuras alterações.

Devido a estas vantagens, pode-se adiantar que a instalação hidráulica com equilíbrio dinâmico tem as seguintes características:

INSTALAÇÃO MAIS BARATA.

MAIOR CONFORTO.

MAIOR FLEXIBILIDADE.

OPERACIONALIDADE MAIS ECONÓMICA.