



XVI CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR

São Paulo Expo - 10 a 13 de setembro de 2019

PROPOSTA DE MELHORIAS NO SISTEMA HVAC DE UM REBOCADOR PORTUÁRIO

RAFAEL REINERT

RESUMO

Devido à crescente demanda portuária por novos rebocadores cada vez mais fortes e menos poluentes, os rebocadores hoje encontram-se no topo da lista de construções em estaleiros por todo o globo. Estas embarcações empregam força e agilidade para dar apoio em manobras de grandes navios, na qual são exigidas ao máximo, sem espaço para falhas. Da mesma forma, o sistema HVAC desses rebocadores deve acompanhar o rendimento da embarcação, proporcionando conforto térmico com alta eficiência e baixa manutenção. Para que isso ocorra, é primordial o acompanhamento de profissionais com ênfase em refrigeração em todas as etapas de construção do rebocador, desde a fase de projeto até entrega da embarcação. Nesse processo, é preciso adaptar e aplicar o projeto HVAC às necessidades da embarcação, bem como conciliar as normas das entidades navais com as boas práticas de refrigeração. É isto que este artigo propõe; uma revisão minuciosa do projeto e instalação do sistema HVAC de uma série de rebocadores em plena construção, buscando apontar melhorias para que se possa atingir o nível máximo em eficiência e operação, e como consequência a redução dos índices de manutenções corretivas.

Palavras-chave: HVAC. Rebocador. Embarcação.

ABSTRACT

Due to increasing port demand for new tugboats more stronger and less polluting, the tugboats today are at the top of the list of construction sites in shipyards across the globe. These vessels employ strength and agility to give support in maneuvers of large ships, in which they are demanded to the maximum, without space for failures. Likewise, the HVAC system of these tugboats must accompany the performance of the vessel, providing thermal comfort with high efficiency and low maintenance. For this to occur, it is essential to accompany professionals with an emphasis on refrigeration in all stages of construction of the tugboat, from the project phase to delivery of the vessel. In this process, it is necessary to adapt and apply the HVAC project to the needs of the vessel, as well as to reconcile the standards of the marine entities with the good practices of refrigeration. This is what this article proposes; a thorough review of the project and installation of the HVAC system of a series of tugboats in construction, aiming to point out improvements so that the maximum level in efficiency and operation can be reached, and as a consequence, the reduction of corrective maintenance indices.

Keywords: HVAC. Tugboat. Vessel.

1 INTRODUÇÃO

Os rebocadores são embarcações de pequeno porte com características bem peculiares, empregando força e agilidade ao mesmo tempo. Essa combinação se faz necessária em complexas manobras de apoio portuário,

auxiliando navios cada vez maiores a entrarem e saírem com segurança nos mais variados portos do mundo. Além do apoio portuário, figura 1, o leque de serviço dos rebocadores inclui apoio e reboque de plataformas, deslocamento de balsas de carga e ainda combate de incêndios no litoral ou em alto mar. Outra característica desse tipo de embarcação são as melhorias frequentes aplicadas em cada nova série. Cada vez mais empregam tecnologia, aprimorando principalmente os sistemas propulsores, no qual tornam os rebocadores cada vez mais fortes e ágeis, além da redução do consumo de combustível e emissões de gases. No entanto, outras áreas da embarcação também encontram-se em melhoria contínua, como por exemplo; sistemas de comunicação e navegação, pintura, *design* de casco e climatização.

Figura 1: rebocador durante apoio portuário.



Fonte: Damen Shipyards, 2019.

No quesito climatização a bordo, os rebocadores empregam sistemas compactos para o conforto térmico dos seus tripulantes e climatização de gabinetes eletrônicos. Normalmente trata-se de um sistema único, de expansão direta ou indireta com condensação a água, que atende toda a embarcação: camarotes, refeitório, passadiço e etc. Em alguns projetos, por se tratar de um ambiente de controle e governo do rebocador, o passadiço pode receber um sistema secundário de climatização, podendo ser um ponto adicional ou até mesmo um equipamento do tipo *split* residencial. Com a demanda deste tipo de embarcação em ascensão, vários estaleiros ao longo do território nacional estão produzindo rebocadores portuários, cada qual com suas capacidades e particularidades. Porém, toda essa nova geração de rebocadores nacionais tem em comum a utilização da climatização a bordo para alcançar uma navegação/operação segura e confortável.

Mas nem sempre as boas práticas de refrigeração conciliam com o projeto da embarcação. Ao mesmo tempo, a ausência de refrigeristas em torno do projeto e construção destes rebocadores reduz significativamente a eficiência e durabilidade dos sistemas de climatização empregados a bordo. Desta forma, este artigo propõe um leque de melhorias, sejam elas de projeto ou execução, em um sistema HVAC, ou seja, de climatização, em uma série de rebocadores em construção atualmente. São pequenos pontos observados no decorrer deste artigo que podem alavancar os índices de eficiência e reduzir significativamente as manutenções corretivas. Esse levantamento de melhorias foi obtido através da simples análise do projeto HVAC da embarcação, bem como acompanhamento no decorrer da obra no estaleiro até a fase de testes e navegação do rebocador. Por fim, é importante ressaltar que estaleiro, armador e dados cruciais de projeto foram ocultados a fim de não exibir informações sigilosas, bem como as imagens ilustrativas de rebocadores aqui expostas, apesar das semelhanças com o modelo do estudo, não correspondem a embarcação em questão.

2 A EMBARCAÇÃO E O PROJETO HVAC

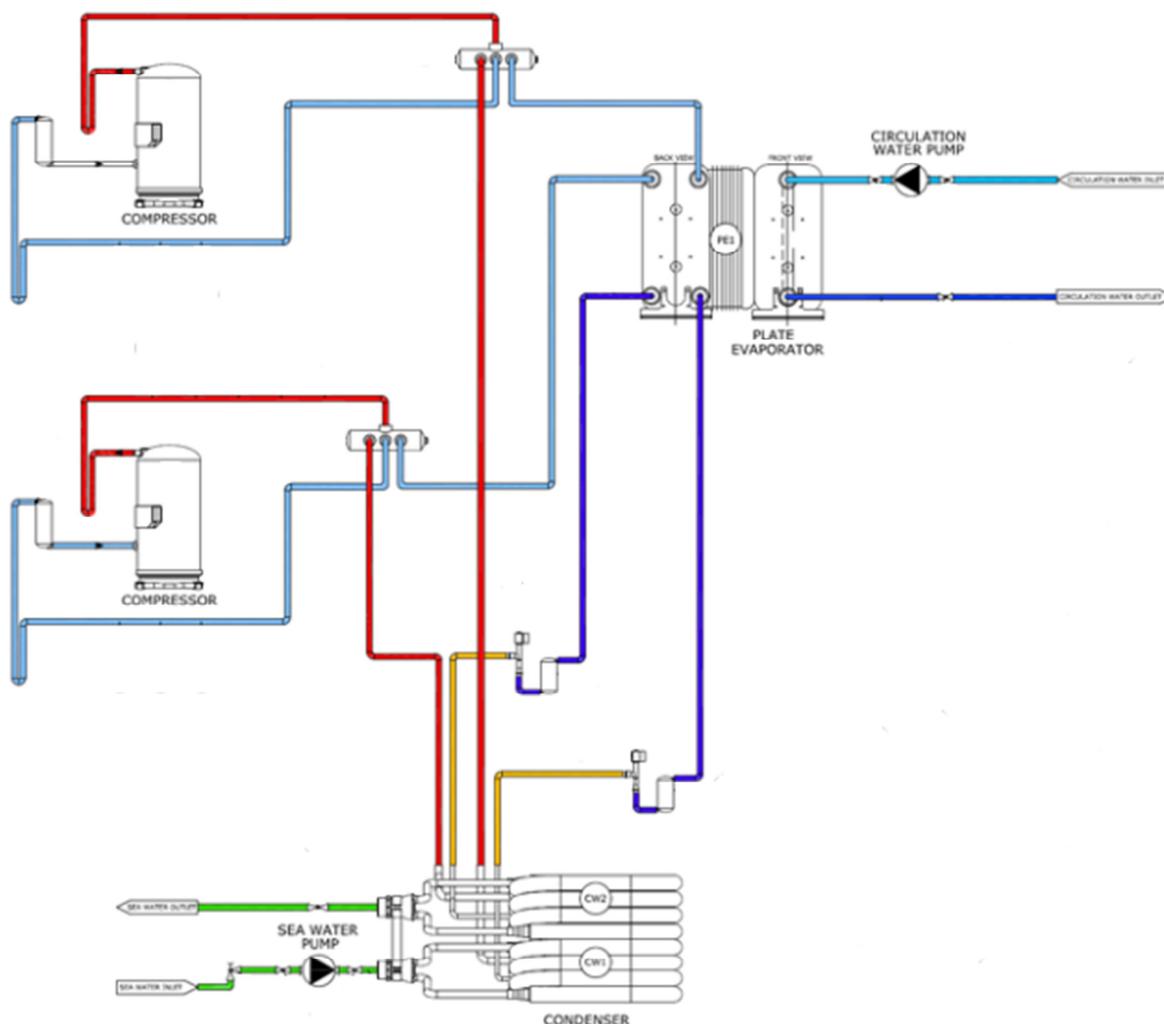
O modelo de rebocador do presente estudo, figura 2, que atualmente encontra-se em plena fabricação, possui as seguintes características: 32,70 m de comprimento, 12,82 m de boca, 5,35 m de calado, dois motores a diesel com 2525 Kw cada de potência, 80 ton de *Bollard Pull* (força de tração), velocidade máx. 15.3 *knots* e capacidade para acomodar até 10 tripulantes.

Figura 2: modelo similar ao rebocador do estudo de melhorias do sistema HVAC.



Por sua vez, o sistema de climatização aplicado no rebocador é do tipo *chiller*. Na praça de máquinas encontra-se o *rack*, figura 3, com os seguintes componentes: dois compressores do tipo *scroll inverter* (50%+50%) com 144.000 BTU/h de capacidade total, duas bombas de circulação de água gelada, duas bombas de água salgada para resfriamento do condensador, um condensador duplo do tipo tubo e tubo, um evaporador duplo do tipo placas soldadas e duas válvulas inversoras para o ciclo quente. Apesar de compartilharem o mesmo evaporador e condensador, os dois circuitos de refrigeração são independentes e utilizam o R-410A como fluido refrigerante.

Figura 3: diagrama do *rack chiller* empregado no rebocador.



Fonte: DOMETIC. PCWM-FCL-VAR Use and maintenance manual, pg 22. 2018.

Partindo do *rack* na praça de máquinas, um par de tubulações de cobre (suprimento/retorno) distribui água gelada ao longo das acomodações do rebocador. Cada ambiente da casaria é dotado de uma *fancoil* conectada à rede de água gelada, totalizando doze máquinas, tabela 1. Por último, uma *fancoil* é responsável pela renovação de ar no interior da casaria, com capitalização de ar externo e distribuição nos principais ambientes através de espiroductos.

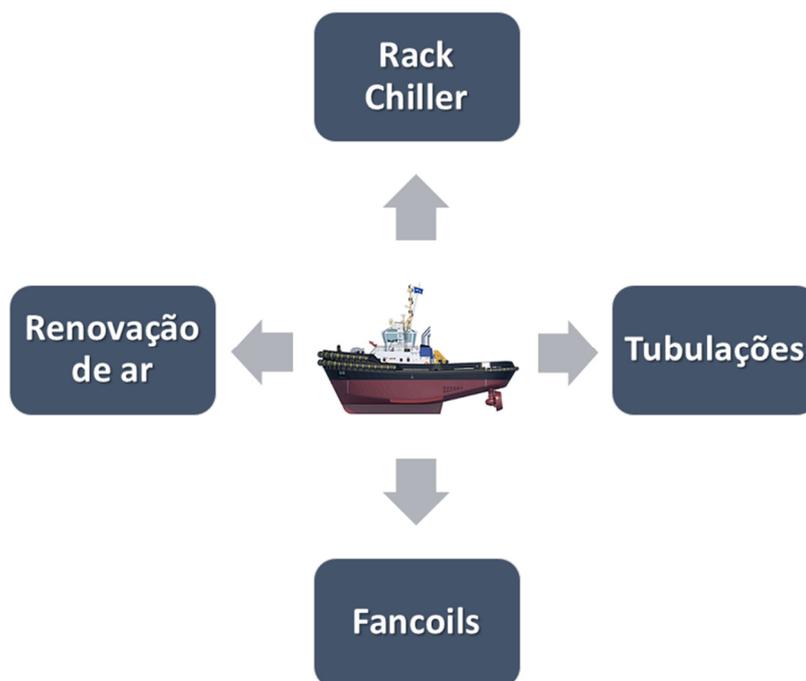
Tabela 1: Fancoils do rebocador.

Nº	Ambiente	Capacidade	Modelo/Fabricante
1	Refeitório	9.320 BTU/h	Giant 4-Condaria
2	Camarote do armador	5.880 BTU/h	Junior-Condaria
3	Camarote chefe de máquinas	5.880 BTU/h	Junior-Condaria
4	Camarote do cliente	5.880 BTU/h	Junior-Condaria
5	Camarote do capitão	5.880 BTU/h	Junior-Condaria
6	Camarote da tripulação	5.880 BTU/h	Junior-Condaria
7	Camarote da tripulação	5.880 BTU/h	Junior-Condaria
8	Passadiço	14.800 BTU/h	Giant 8-Condaria
9	Passadiço	14.800 BTU/h	Giant 8-Condaria
10	Passadiço	14.800 BTU/h	Giant 8-Condaria
11	Passadiço	14.800 BTU/h	Giant 8-Condaria
12	Renovação de ar	87.700 BTU/h	AHU-T1000C-Condaria
Carga Térmica Total		191.500 BTU/h	

Fonte: O Autor, 2019.

Para uma melhor apresentação e explanação das propostas de melhorias do sistema HVAC do rebocador em questão, o sistema foi dividido em quatro seções, figura 4. Sendo assim, em cada seção é apresentada uma série de dificuldades ou problemas referentes ao sistema HVAC a bordo, e seguidamente as possíveis melhorias aplicáveis em cada item. É importante registrar que, o sistema HVAC empregado neste rebocador portuário funciona perfeitamente e atinge os requisitos mínimos, sendo que a dissertação deste artigo visa apenas atingir a excelência operacional através da melhoria contínua.

Figura 4: seções do estudo de melhorias do sistema HVAC.



Fonte: O Autor, 2019.

4 PROPOSTAS DE MELHORIAS – RACK CHILLER

4.1 Preenchimento da ficha de *start-up* do equipamento

É de extrema importância o preenchimento da ficha de *start-up* do equipamento por parte do técnico comissionador. Neste documento devem constar informações primordiais que auxiliarão na operação e manutenção de todo o equipamento *chiller*, bem como prover a garantia do equipamento quando necessário. Nesta ficha devem constar informações obtidas no processo de comissionamento, como por exemplo: temperatura e pressão da água na entrada e saída da unidade *chiller*, percentual de anti-congelante aplicado, tipo e quantidade de gás refrigerante, superaquecimento e subresfriamento, tensão e corrente dos compressores e etc. Além disso, a ficha de partida do equipamento pode auxiliar o processo de comissionamento funcionando como um *checklist* e ao mesmo tempo comprovando que tais procedimentos foram executados durante o comissionamento.

4.2 Capacidade do sistema

A capacidade do *rack chiller* não é capaz de suprir todo o sistema simultaneamente. Juntos, os dois compressores possuem 144.000 BTU/h, no qual a carga térmica vinda de todas as *fancoils* mais o equipamento de renovação de ar ultrapassa 190.000 BTU/h. Neste caso, temos um subdimensionamento que condena a vida útil dos compressores. Logo, é necessário a substituição completa do *rack chiller* por um modelo de capacidade igual ou superior a carga térmica total do rebocador. Como boa prática no meio naval, o ideal é que o sistema possua redundância, ou seja, que um único compressor possa suprir todo o sistema em caso de falha do outro compressor, com uma configuração de 100%+100% em termos de compressores.

4.3 Fixação do *rack chiller*

A fixação da unidade *chiller* é realizada através de soldagem por eletrodo revestido, no qual apresenta uma série de desvantagens. Ao soldar o equipamento diretamente na base da embarcação, há uma limitação na remoção do mesmo, dificultando futuras manutenções e substituições de componentes. Ao mesmo tempo, a fixação por solda transmite todas as vibrações vindas do casco diretamente ao equipamento HVAC. As altas temperaturas do processo de soldagem e o surgimento de futuros pontos de corrosão também preocupam. Por fim, durante a soldagem pode haver danos ao equipamento devido ao risco de abertura de arco elétrico em outros pontos e até componentes caso haja deficiência no aterramento durante o processo, causando sérios danos e possíveis vazamentos. As desvantagens acima citadas podem ser facilmente eliminadas com a fixação por parafusos do mesmo material do *rack chiller* (inox) e a adição de juntas de borracha entre a base e o equipamento.

5 PROPOSTAS DE MELHORIAS – TUBULAÇÕES

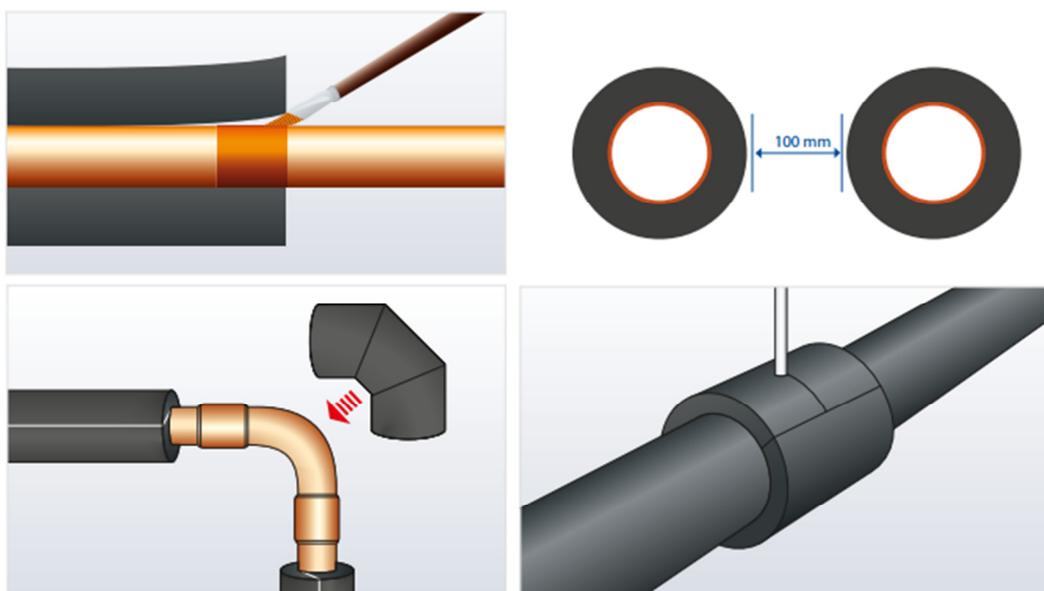
5.1 Tipo de Isolamento térmico

Foi constatado ao longo de toda a tubulação *chiller* que, o isolamento térmico aplicado não é o apropriado/classificado para o setor naval. O isolamento tubular instalado a bordo é do tipo comum, normalmente aplicado na construção civil ou na indústria. O isolamento térmico ideal para o sistema HVAC naval seria do tipo sem halógenos em sua composição, ou seja, em caso de incêndio haveria uma baixa geração de fumaça, sendo a mesma transparente e de baixa toxicidade. As principais classificadoras navais e a própria IMO (*International Maritime Organization*) recomendam a utilização de isolamento térmico tubular livre de halógenos.

5.2 Boas práticas durante a aplicação do isolamento térmico

Ainda sobre isolamento térmico tubular a bordo, foi observado a ausência do cumprimento dos procedimentos de instalação do fabricante, figura 5, criando possíveis pontos de condensação ao logo da casaria do rebocador. Pequenas falhas durante a aplicação do isolamento na tubulação de água gelada causam grandes problemas durante a operação do rebocador, criando pontos de gotejamento indesejáveis e consequentemente danificando acabamentos e componentes elétricos e eletrônicos. As principais falhas encontradas durante a aplicação do isolamento tubular foram: distância mínima entre as tubulações de suprimento/retorno inferior a 100 mm, enforcamento ou pressão de contato de outros materiais sob o isolamento, ausência de cola nas extremidades internas de cada sessão do isolamento, suportes sem o devido isolamento, curvas de raio curto sem o recorte em gomos e partes expostas da tubulação, ou seja, sem isolamento ou com abertura dos pontos de colagem.

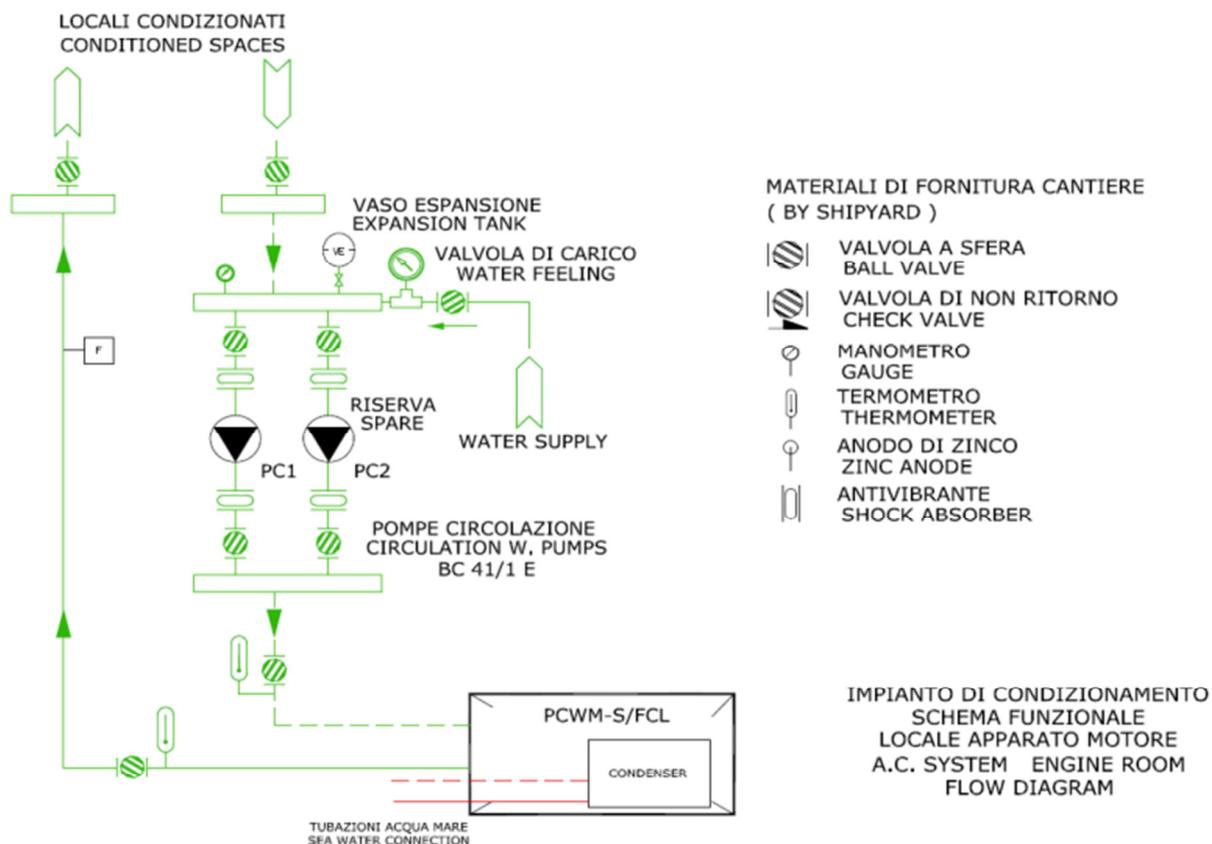
Figura 5: boas práticas durante aplicação do isolamento térmico tubular.



5.3 Posição do tanque de expansão

De uma forma geral, os tanques de expansão compensam a dilatação térmica da água do sistema *chiller* mantendo a pressão positiva no sistema quando conectados em algum ponto da rede. No sistema *chiller* do rebocador do presente estudo, o tanque de expansão encontra-se na tubulação entre a saída da unidade *chiller* e as *fancoils*. Porém, quando instalado antes das bombas de circulação, figura 6, em algum trecho na tubulação de sucção das mesmas, além de manter a pressão sempre positiva na entrada das bombas, há redução de cavitação e consequentemente redução de ruídos nos rotores das bombas.

Figura 6: posicionamento correto do tanque de expansão.



Fonte: DOMETIC. PCWM-FCL-VAR Use and maintenance manual, pg 32. 2018.

6 PROPOSTAS DE MELHORIAS – FANCOILS

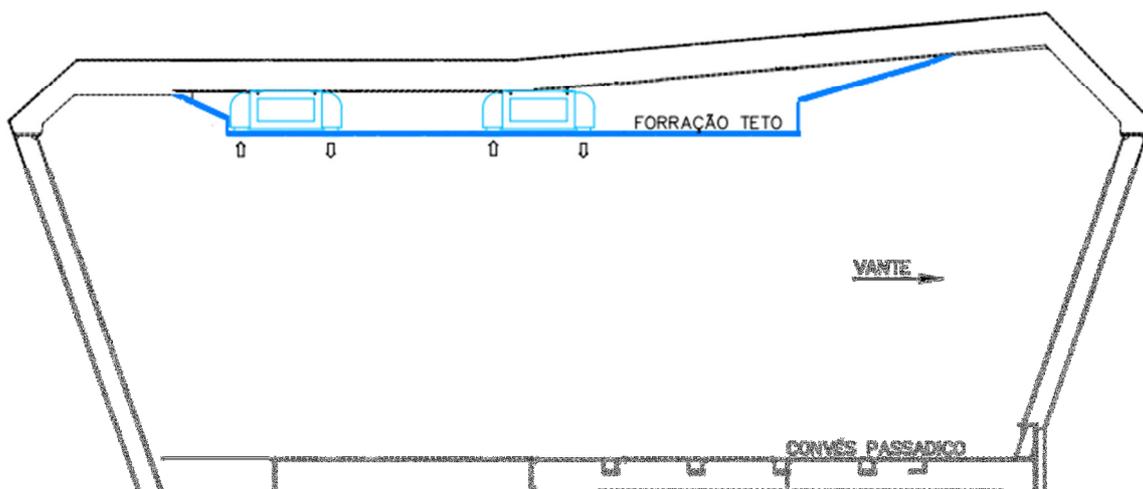
6.1 Drenagem do condensado

De acordo com o fabricante, é necessário que cada *fancoil* tenha um sifão instalado na linha de dreno logo abaixo de cada unidade. O sifão se faz necessário para conter o retorno de gases e consequentemente maus odores para os ambientes da embarcação. Observou-se a bordo que nenhuma *fancoil* tinha sifão em seu dreno, e que, o caimento necessário para o correto escoamento do condensado estava ausente em algumas *fancoils*.

6.2 Retorno de ar insuficiente no passadiço

Por se tratar do ambiente mais importante do rebocador, no qual a embarcação é comandada, o passadiço é dotado de quatro *fancoils* de 14.800 BTU/h cada, instaladas sob o teto. Primeiro, foi observado que as dimensões do retorno de ar em cada equipamento possuem a mesma área que a saída, 63 x 7,7 cm. Por outro lado, a distância entre as grelhas de sucção e suprimento de ar encontram-se muito próximas, bem como as próprias *fancoils* estão posicionadas de forma agrupada, conforme figura 7.

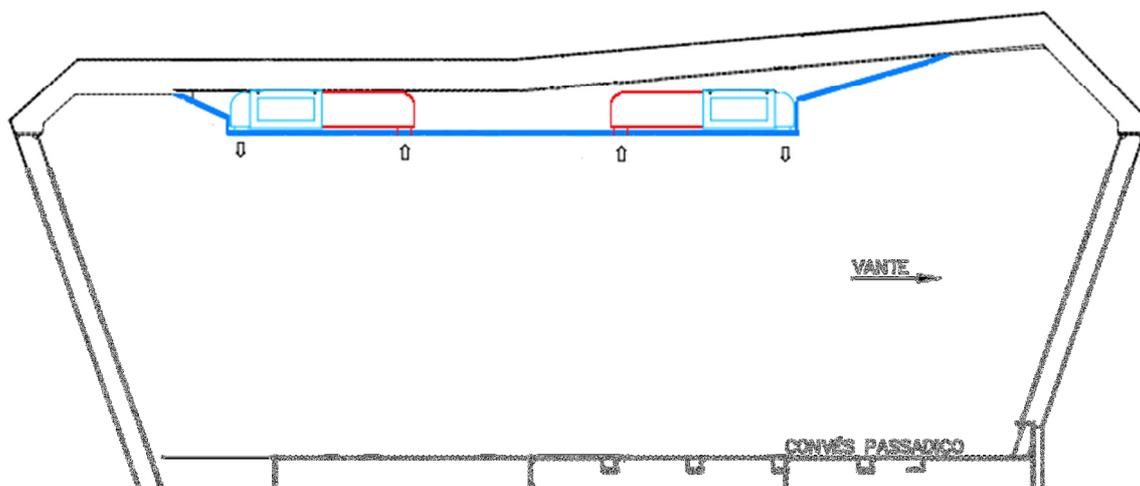
Figura 7: *layout* atual das *fancoils* no passadiço.



Fonte: O Autor, 2019.

Estes equívocos causam deficiência no retorno de ar do equipamento e até mesmo curto-circuito de ar, reduzindo a capacidade de resfriamento do passadiço para abaixo do projetado. O ideal é que seja alterado todo o *layout* de posicionamento do equipamento sob o teto, aumentando a distância entre suprimento e retorno através da instalação de um duto na sucção. Também se faz necessário alterar os dutos e grelhas de retorno para no mínimo o tamanho do filtro de sucção, conforme proposta da figura 8.

Figura 8: proposta do novo *layout* das *fancoils* no passadiço.



Fonte: O Autor, 2019.

6.3 Acabamento prejudicial ao desempenho das *fancoils*

Nos demais ambientes do rebocador, camarotes e refeitório, as unidades *fancoils* são envolvidas numa espécie de caixa de madeira, figura 9. Nesta caixa são instaladas as grelhas de suprimento e retorno das *fancoils*, a fim de criar um nível de acabamento melhor no ambiente, ocultando o equipamento de climatização. Porém, na caixa não há dutos internos ligando o equipamento às grelhas externas de saída e entrada de ar. Desta forma, há perdas significativas de distribuição de ar dentro da própria caixa de acabamento, muitas vezes causando curto-circuito de ar e desligando o equipamento precocemente, antes mesmo de atingir o *setpoint* do ambiente. O manual do fabricante recomenda que nestes casos, haja dutos para canalização do ar, tanto para o suprimento como para o retorno, para o correto funcionamento do equipamento de climatização.

Figura 9: proposta do novo *layout* das *fancoils* no passadiço.



Fonte: O Autor, 2019.

7 PROPOSTAS DE MELHORIAS – RENOVAÇÃO DE AR

7.1 Filtragem

O equipamento de renovação de ar é suprido com 100% de ar externo, com captação direta do ambiente marinho, uma atmosfera altamente corrosiva. Além de danos diretos ao equipamento por corrosão, a captação de ar externa também pode infiltrar nas acomodações odores, insetos, poeiras diversas, fumaça dos motores diesel, fungos e bactérias.

O equipamento de renovação de ar instalado a bordo é fornecido apenas com um filtro descartável padrão de fábrica, que não atende os requisitos acima citados, comprometendo a vida útil dos componentes e até mesmo a saúde da tripulação. Sendo assim, filtros de ar específicos para o setor naval devem ser implementados na unidade de renovação de ar, a fim de garantir o mínimo de controle de pureza do ar a bordo.

7.2 Balanceamento

Durante a fase de comissionamento é necessário realizar o balanceamento da distribuição de ar externo nos dutos do sistema de renovação de ar. Esse processo, que ainda não é realizado no rebocador em questão, consiste em aferir e ajustar o suprimento de ar externo em cada ambiente, com a finalidade de atingir o mínimo de fluxo necessário, conforme tabela 2. Além disso, é preciso identificar cada duto na saída do equipamento de renovação de ar com o nome do ambiente suprido, próximo ao *damper* manual, visando facilitar o processo de balanceamento.

Tabela 2: valores de renovação a bordo.

Ambiente	Nº de pessoas	Mínimo requerido
Refeitório	04	120 m ³ /h
Camarote do armador	02	60 m ³ /h
Camarote chefe de máquinas	02	60 m ³ /h
Camarote do cliente	02	60 m ³ /h
Camarote do capitão	02	60 m ³ /h
Camarote da tripulação	04	120 m ³ /h
Camarote da tripulação	02	60 m ³ /h
Passadiço	05	150 m ³ /h
Cozinha	02	175 m ³ /h
Total requerido de renovação de ar a bordo		865 m³/h

Fonte: O Autor, 2019.

7.3 Controlador do equipamento de renovação de ar

A *fancoil* dedicada à renovação do ar interno da casaria do rebocador não possui um controlador de funcionamento por temperatura. Este equipamento além de injetar o ar externo nas acomodações para renovar o ar saturado, também tem a capacidade de aquecer ou resfriar, porém não há controle de temperatura, sendo acionado apenas por uma chave liga/desliga nos modos inverno/verão. É importante que este equipamento seja controlado por um termostato exclusivo, posicionado de forma estratégica, possivelmente em um corredor do rebocador. Desta forma, acionando o equipamento de forma correta conforme a necessidade a bordo, operando em conjunto com as demais *fancoils* e controlando a temperatura e umidade relativa ao mesmo tempo que renova o ar interno das acomodações.

8 CONCLUSÃO

É fato, em uma embarcação praticamente todo sistema é passível de melhorias. No sistema HVAC do rebocador aqui apresentado não é diferente. Mesmo sendo um sistema funcional, que atende os requisitos mínimos do rebocador, o sistema apresenta um leque de oportunidades de melhorias. Os doze pontos observados neste artigo compreendem melhorias necessárias, que são aplicáveis desde a fase de projeto, passando pela instalação até a fase de comissionamento do sistema HVAC a bordo. Por se tratar de uma série de rebocadores ainda em fase de construção, as propostas de melhorias aqui apresentadas podem ser, em sua maioria, facilmente implementadas pelo estaleiro, agregando pouco custo ao preço final do rebocador. Por fim, é evidente que se aplicadas, este pacote de melhorias podem ser tornar um *update* significativo para o rebocador, com reflexos diretos na redução das manutenções corretivas e consequentemente aumento da eficiência operacional, tanto do sistema HVAC como do próprio rebocador em si.

9 REFERÊNCIAS

ALTHOUSE, A. D; BRACCIANO, A. F. and TURNQUIST, C. H. **Modern Refrigeration and Air Conditioning**. The Goodheart-Willcox company, Inc. 2004.

ARMACELL. **Dados Técnicos – N/H Armaflex**. Catálogo 030-001/01-0613-P(BR). Impresso no Brasil.

ARMACELL. **Armaflex – Manual de Instalação**. Catálogo 201511(PT). Lisboa, PT.

CONDARIA. **Marine Air Handlers. Use and Maintenance Manual**. Rev11/2014. 2016, Italy.

DAMEN, SHIPYARDS. **ASD TUG 3212. Executive Summary – Tugs**. Abril, 2017. The Netherlands.

DOMETIC. **PCWM-FCL-VAR. Use and Maintenance Manual**. 2018, Italy.

DOSSAT, R. J. **Princípios de Refrigeração**. Curitiba: Hemus, 2004.

TELLES, P. C. S. **Tubulações Industriais. Materiais, Projeto, Montagem**. Rio de Janeiro: LTC, 2001.