

CONCEITO DE UMA UNIDADE DE AR-CONDICIONADO DO TIPO
SELF-CONTAINED PARA EMBARCAÇÕES

Rafael Reinert – rafael-reinert@hotmail.com

Alexandre Fernandes Santos – projeto.etp@gmail.com

Escola Técnica Profissional – ETP, Departamento de Projetos. www.escolaprofissional.com.br

S6 – Equipamentos Compactos, Unitários e Divididos.

Resumo. Este artigo visa definir as características necessárias que uma unidade de ar-condicionado do tipo self-contained deve conter quando aplicada em uma embarcação, criando um conceito de unidade de climatização exclusivo para o ambiente marítimo. A unidade de ar-condicionado self-contained naval deve ser robusta e compacta ao mesmo tempo, de fácil instalação e manutenção, e obter o máximo de rendimento mesmo em condições severas de operação, tanto da própria unidade, como da embarcação.

Palavras-chave: Self-Contained, Embarcações e Ar-Condicionado.

1. INTRODUÇÃO

Não diferente dos meios de transporte terrestres e aéreos, as embarcações também necessitam do conforto térmico para seus passageiros e tripulantes, bem como a climatização de equipamentos eletrônicos vitais para a segurança e navegação. As unidades de ar-condicionado do tipo self-contained são utilizadas em grande escala por sua robustez, praticidade e compatibilidade. Através de sua capacidade de reunir em um único equipamento todo o sistema de refrigeração, são constantemente utilizadas no meio naval, principalmente em embarcações de serviço. Porém, o mercado brasileiro não oferece este tipo de equipamento de forma adequada para embarcações, deixando de lado fatores importantes que prejudicam o funcionamento, dificultam a instalação e manutenção e, ainda reduzem a vida útil do equipamento. Desta forma, este artigo traz todos os fatores que conceituam uma unidade de ar-condicionado do tipo self-contained ideal para embarcações.

As unidades de ar-condicionado do tipo self-contained são constituídas de um completo sistema de refrigeração dentro de um gabinete vertical composto por: compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador, figura 1. Também são dotados de um ventilador para distribuição de ar, termostato para controle de temperatura, filtros de ar e dispositivos para controle do fluido refrigerante (Althouse, 2004).

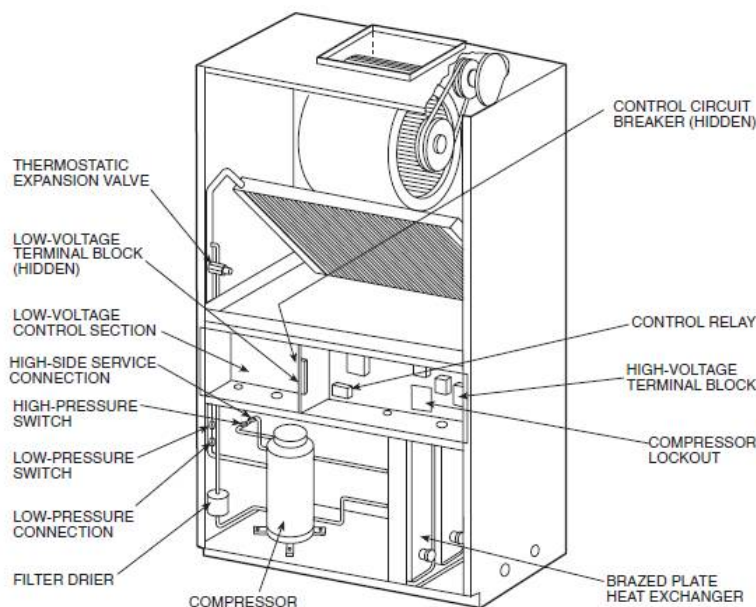


Figura 1: Arranjo típico de unidades Self-Contained.

2. DIMENSÕES, ESTRUTURA E VENTILAÇÃO

A primeira etapa da criação do conceito de uma *self-contained* para embarcações é desenvolver uma unidade com peso e dimensões reduzidas com base nos equipamentos já oferecidos no mercado pelos principais fabricantes, tabela 1.

Fabricante	Modelo	Capacidade (Tons)	Compressores (Nº)	Peso (kg)	Altura (mm)	Profundidade (mm)	Largura (mm)
Marvair	MVW60	5	1	291	1801	697	1186
Marvair	MVW120	10	2	439	1984	786	1421
Carrier	50BZN006	5	1	240	1970	580	1040
Carrier	50BZN012	10	2	371	1984	700	1422
Trane	SCWJ050	5	1	251	1999	609	924
Trane	SCWJ100	10	2	464	2325	749	1670
Conceito	SCN05H2O4N2	5	1	+260	+1900	+620	+1000
Conceito	SCN10H2O4N2	10	2	+440	+1990	+750	+1500

Tabela 1: Comparativo entre unidades *self-contained* existentes no mercado.

A base e o quadro estrutural do gabinete devem ser em alumínio, adquirindo mais resistência e menos peso. Em seguida, dividir a estrutura em três módulos separados, que caso necessário, possam ser desmontados e montados com facilidade durante o transporte e instalação, sem afetar o ciclo frigorígeno da unidade e consequentemente seu rendimento, figura 2.

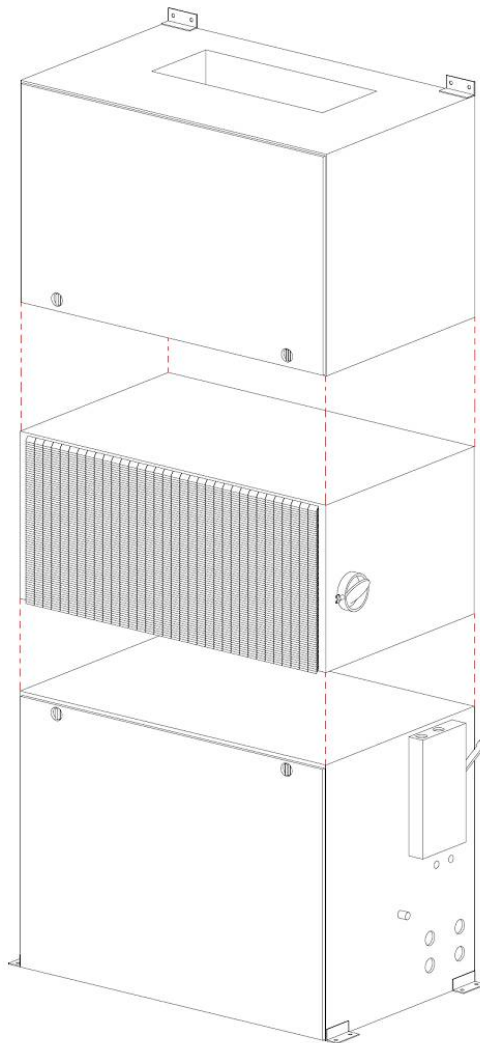


Figura 2: Conceito de unidade de *self-contained* para embarcações dividida em módulos.

No módulo 1 (parte superior) fica o sistema de ventilação no qual é necessário apenas soltar o chicote com os fios de energia e comando do ventilador para ter o módulo 1 livre. No módulo 2 (parte mediana do gabinete) fica o evaporador, bandeja de dreno, filtros de ar, tomada de ar externo e válvula de expansão. E no módulo 3 (parte inferior/base do gabinete) fica o compressor, condensador a água, painel elétrico e demais componentes do sistema frigorígeno. Para separar o módulo 2 do 3 basta desconectar conexões de rosca na linha de líquido e sucção para separar os dois módulos, visto que o ciclo frigorígeno percorre os módulos 2 e 3. Com a finalidade de facilitar a instalação e manutenção, os principais pontos de conexão externa da unidade ficam em um único lado, nos módulos 2 e 3. Com exceção do dreno, que é necessário ter dois pontos, um em cada lado da unidade por conta do balanço da embarcação, todos os outros pontos encontram-se no lado inferior direito: entradas e saídas de água para o condensador, entrada do ar de renovação, entrada dos cabos de alimentação e comunicação e ainda a chave faca para corte imediato de energia da unidade. Cada módulo é acessado internamente pela parte frontal, nos módulos 1 e 3, basta remover a tampa com meia volta nas travas. O condensador é acessado com afastamento do painel elétrico que fica a sua frente através de dobradiças no módulo 3. No painel elétrico encontra-se todo o sistema de energia e comando da unidade. No módulo 2, é possível o acesso interno com a remoção da grelha de retorno, também com travas de meia volta, em seguida se remove os filtros para ter o acesso interno do módulo.

Por conta dos movimentos bruscos que embarcação está sujeita durante a operação e navegação, a unidade deve possuir diversos pontos de fixação. Logo, é necessário suportes também no topo da unidade e em ambos os lados. Estes pontos de fixação já contidos na unidade desde a fabricação eliminam o risco de fugas de ar e vazamentos na linha frigorígena por conta da furação de parafusos para suportes adicionais. Além disso, todo o material usado como isolante térmico e acústico é do tipo que não propaga chamas, e não inflamável. Inclusive o isolante térmico dos tubos da linha frigorígena. O conjunto de ventilação que normalmente era composto por um grande e pesado motor elétrico com eixo, conjunto de polias com correia de transmissão e uma hélice de metal centrífuga também com eixo é substituído por um conjunto muito mais leve, que consiste apenas de um motor elétrico acoplado diretamente em um conjunto de pás de alumínio do tipo centrífugo. Essa mudança permite uma diminuição significativa de peso na unidade, menos ruído no equipamento, redução de vibração e do fator manutenção.

3. COMPONENTES DO CICLO DE REFRIGERAÇÃO

Normalmente, unidades do tipo *self-contained* utilizam compressores do tipo hermético ou scroll. Por fatores dimensionais, a unidade conceito utilizará compressores com capacidade de 5 e 7-1/2 (TONS) e podendo empregar até dois compressores por unidade, oferecendo unidades *self-contained* com capacidade de até 15 (TONS). Os compressores do tipo scroll são conhecidos pela sua robustez e alta eficiência, tornando-se assim ideais para equipamentos navais. Por serem lacrados, não há preocupação com nível de óleo e podem ser acoplados ao sistema com uniões, eliminando o uso de maçaricos durante as manutenções.

Os condensadores para unidades do tipo *self-contained* podem ser do tipo a ar (remoto) ou condensadores a água (dentro da unidade), de uma forma geral, embarcações utilizam os condensadores a água. O condensador a água de duplo tubo coaxial, o escolhido para o equipamento em questão, consiste em dois tubos um dentro do outro no qual a água circula no tubo interno e o fluido refrigerante circula no tubo que envolve o tubo de água, os dois fluídos sempre em sentido contrário. O condensador duplo tubo é projetado para unidades compactas com pouco espaço interno (Miller, 2008). Os condensadores a água empregados na unidade conceito possuem uniões dielétricas para conexão da tubulação de água que fará a troca de calor do sistema, essas uniões evitam que ocorra a oxidação prematura do condensador por conta da junção de tubulações de diferentes cargas elétricas, figura 3.



Figura 3: Condensador de duplo tubo coaxial com união dielétrica.

Ainda sobre o condensador, é possível fornecer a unidade conceito apta a receber um condensador a ar externo, sem a presença do condensador a água, com espera para receber a tubulação do condensador e válvulas do tipo esfera para isolamento entre a unidade e o condensador.

O circuito frigorígeno na *self-contained* para embarcações deve suportar altos níveis de vibração, pois os sistemas de propulsão da embarcação transmitem um alto nível de vibração para o casco devido à cavitação do hélice, principalmente em manobras de operação ou quando a embarcação está navegando com os motores a cem por cento. Para evitar rompimento e trincas na tubulação de cobre do sistema, é necessário o uso de flexíveis ao longo do circuito, principalmente no compressor, na descarga e na sucção. Outras conexões entre o sistema, como retorno de óleo do separador, equalização da válvula de expansão e pontos de medição de pressão para os pressostatos, também são anexados ao sistema com flexíveis. Suportes internos para a tubulação envoltos com borracha anti-vibração são adicionados em grande quantidade e em pontos estratégicos.

Pensando em uma manutenção rápida e eficaz, os principais componentes do sistema de refrigeração são acoplados através de porca-flange, que elimina o uso da brasagem e consequentemente, o uso dos pesados e incômodos maçaricos a bordo. Além disso, inúmeros procedimentos de segurança restringem ao máximo as fontes de chamas a bordo. Praticamente todos os componentes do sistema de refrigeração de uma *self-contained* podem ser acoplados por porca-flange: válvula de expansão, filtro secador, visor de líquido, solenóides, sensores de alta e baixa pressão, válvulas de fechamento etc, figura 4.

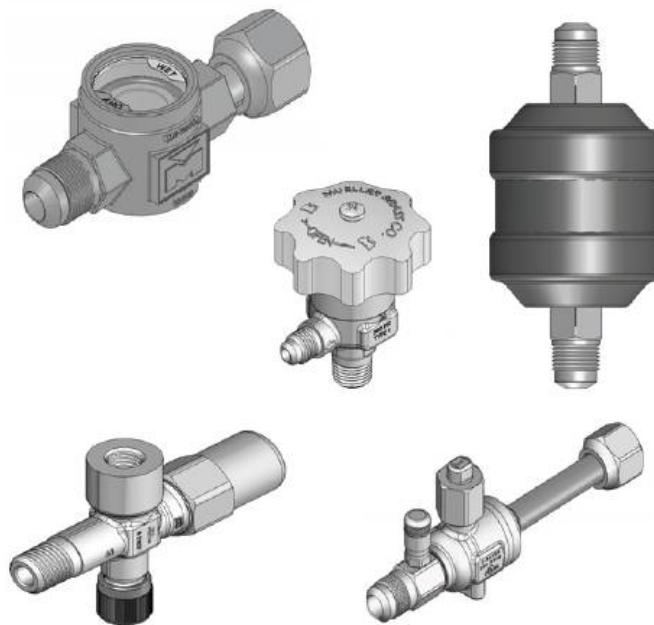


Figura 4: Componentes do sistema de refrigeração com porca-flange.

4. FILTRO E RENOVAÇÃO DE AR

Na questão filtragem de ar, a *self-contained* deve conter filtros de fácil acesso e que não necessitem de ferramentas para manutenção dos mesmos. A grelha de retorno localizada, no módulo 2 deve ser fixada com fechadura de meia volta, e que possa ser aberta com as mãos. Desta forma, é possível remover a grelha principal e em seguida os filtros chegando facilmente ao evaporador, válvula de expansão e bandeja de dreno. Os filtros devem ser do tipo lavável e antifungos, eliminando os filtros descartáveis e diminuindo o estoque de material a bordo. Para renovação do ar interno, a unidade conta com uma entrada para captação do ar externo localizada no módulo 2 ao lado da grelha de retorno, permitindo controlar o percentual de renovação do ar através de um *damper* manual.

5. COMPONENTES ELÉTRICOS

Como se trata de uma unidade exclusiva para embarcações, a compatibilidade do equipamento deve ser por completo. Através de normas, é de obrigatoriedade que todos os sistemas de ventilação da embarcação, inclusive equipamentos de ar-condicionado, estejam interligados diretamente com a parada de emergência da embarcação, de modo a não propagar incêndios. Para tal, a *self-contained* em questão deve possuir um borne em seu quadro elétrico para a conexão do cabo de interligação do sistema de incêndio da embarcação, que fará com que a unidade se desligue em situações de emergência. Esse pequeno detalhe evita adaptações e alterações no sistema de comando da unidade, garantindo por completo o prazo de garantia do equipamento. A unidade também conta com uma chave-faca localizada na parte externa da unidade para o corte imediato de energia em situações de emergência e para facilitar uma

manutenção programada. O painel elétrico de energia e comando da unidade que se encontra no módulo 3, é fixado ao gabinete por dobradiças que fazem com que o painel, quando necessário, se mova como uma porta dando acesso ao condensador que fica logo atrás.

6. DRENAGEM DO CONDENSADO E CONFIGURAÇÕES

É fundamental que a bandeja de dreno principal do evaporador seja de aço inoxidável e contenha uma profundidade de quatro polegadas ou mais a fim de evitar transbordos durante a navegação da embarcação. Também se faz necessário o escoamento por ambos os lados da unidade, com dois pontos independentes na bandeja, pois embarcações podem navegar com banda, ou seja, inclinadas para o lado. Uma pequena bóia localizada no ponto máximo de capacidade de água na bandeja serve para evitar transtornos e alagamento de compartimentos da embarcação, atuando de forma a cortar energia da unidade quando o limite máximo de água for atingido.

Para atender as diferentes necessidades de operação das embarcações, é possível fornecer unidades *self-contained* com configurações de operação com redundância. São unidades com dois compressores com a mesma capacidade, mas com sistema frigorígeno independente, com condensador, evaporador e válvula de expansão para cada circuito. Assim, é possível alterna-los através de uma simples chave seletora e fazer com que sempre haja um sistema de *stand-by* caso ocorra falha do outro.

7. NOMENCLATURA DE MODELOS E OPCIONAIS

As unidades *self-contained* serão oferecidas com no máximo dois compressores do tipo *scroll*, com capacidade nominal máxima de 15 toneladas refrigeração por unidade. Para os condensadores há duas opções: opção para conectar condensadores externos forçados a ar fornecidos separadamente ou condensadores a água já instalados na unidade. Na questão energia também há duas opções: 208/230-3-60 ou 460-3-60. Por fim, é possível oferecer a unidade já com a carga de refrigerante, mas somente nas unidades com condensadores a água ou oferecer a unidade pressurizada com nitrogênio. Desta forma, a nomenclatura dos modelos fica conforme figura 5:

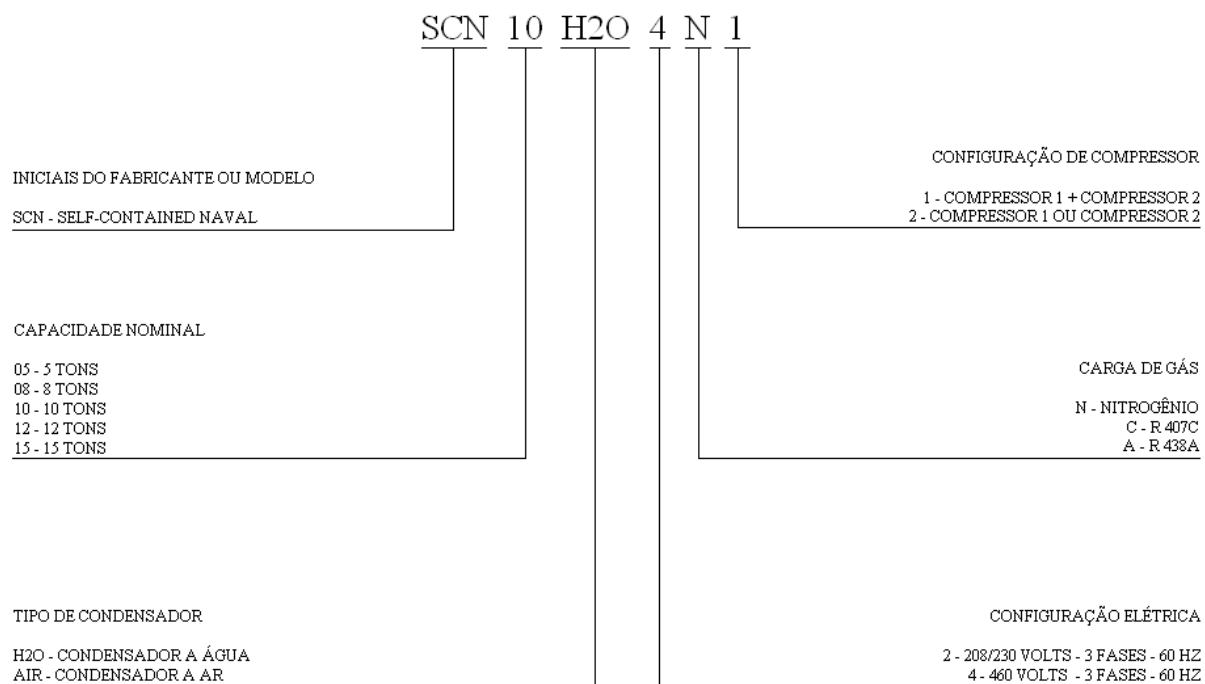


Figura 5: Numeração de modelo da unidade conceito.

As embarcações de serviço, como por exemplo, rebocadores portuários e embarcações de apoio a plataformas, demandam uma unidade de ar-condicionado que realmente atenda as necessidades de operação e contrato de serviço. Desta forma, é possível oferecer como opcionais, um leque amplo de itens e acessórios de acordo com a necessidade de cada embarcação. Os principais são:

- Duto de insuflamento: Quando a unidade não for interligada em dutos, necessitando apenas insuflar o ar frio no ambiente da embarcação, há a opção de um duto tipo caixa com difusores na parte frontal e lateral, que acoplado no topo da unidade possibilita lançar o ar em múltiplas direções.

- Detector de vazamentos: Um detector de vazamentos do tipo modular eletrônico pode ser instalado dentro da unidade *self-contained* próximo ao compressor. Ao mínimo sinal de vazamento, o sensor acusa o problema diretamente no console da sala de controle da embarcação.
- Válvula três vias (condensador a água): Com a instalação da válvula três vias na entrada de água da unidade, é possível controlar o fluxo de água que entra no condensador, e consequentemente, a pressão de descarga do fluido refrigerante. Desta forma, pode-se alcançar o máximo de rendimento do equipamento.
- Inversor de frequência (condensador a ar): Quando instalado no equipamento, o inversor faz com que a rotação dos ventiladores do condensador controle a pressão/temperatura de condensação, extraindo o máximo rendimento do sistema.
- Termostato: Um termostato digital pode vir acoplado na unidade, ou ainda, fornecer um termostato que possa ser posicionado no ambiente de acordo com a necessidade ou acessibilidade da embarcação.

8. CONCLUSÃO

Através dos conceitos abordados neste artigo, podemos desenvolver uma unidade de ar-condicionado do tipo *self-contained* que atenda por completo as necessidades do meio naval, obtendo o máximo de rendimento e durabilidade nas embarcações. O projeto final de unidade de ar-condicionado desenvolvida neste artigo, figura 6, elimina a necessidade de alterações e adaptações no equipamento original de fábrica, que por sua vez se mantém dentro da garantia. Com a falta de opção no mercado brasileiro e o crescimento global do mundo náutico, é evidente a demanda por este tipo de equipamento. Apesar dos pequenos detalhes que tornam este equipamento dedicado a embarcações, o processo de fabricação de uma unidade como esta não se torna distante do processo de fabricação de uma unidade de ar-condicionado *self-contained* de precisão, por exemplo. Logo, conclui-se que é perfeitamente possível que se desenvolvam equipamentos como este em solo brasileiro, de qualidade, alto rendimento e um custo competitivo com os equipamentos importados.

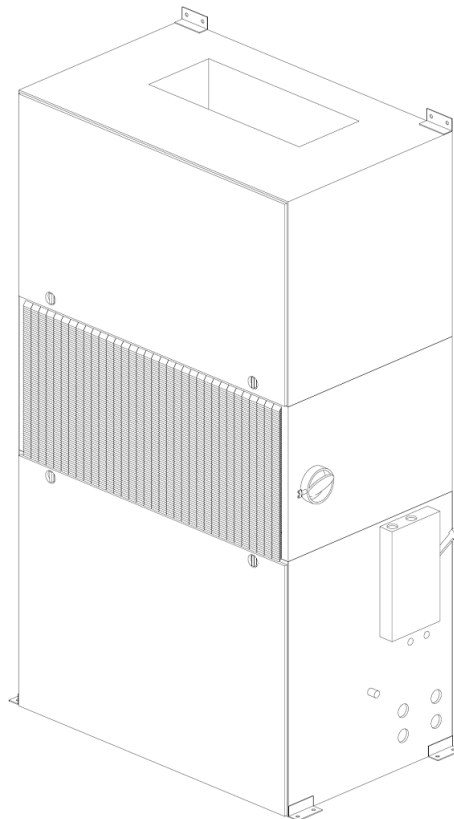


Figura 6: Conceito de unidade de ar-condicionado para embarcações.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, ao estaleiro NAVSHIP, a Escola Técnica Profissional – ETP, a agência marítima PROAMAR, a Gabriel Barros e a minha família.

9. REFERÊNCIAS

Althouse, A. D; Bracciano, A. F. and Turnquist, C. H. *Modern Refrigeration and Air Conditioning*. The Goodheart-Willcox company, Inc. 2004.

Miller, R. and Miller, M. R. *Refrigeração e Ar-Condicionado*. Rio de Janeiro, RJ. Editora LTC, 2008.

CONCEPT OF A SELF-CONTAINED AIR-CONDITIONING UNIT TO VESSELS

Abstract. *This article aims to define the necessary features that an air-conditioning unit of the self-contained type must contain when applied on a ship, creating a unique concept of air conditioning unit for the marine environment. The air conditioning unit naval self-contained should be robust and compact at the same time, easy installation and maintenance, and get maximum performance even in severe operating conditions, both the unit itself, as the vessel.*

Keywords: *Self-Contained, Vessels and Air-Conditioning.*

ANEXO I: FICHA DE START-UP DE EQUIPAMENTO.

INFORMAÇÕES GERAIS			
Cidade/Estado:		Data do Start-up:	
Técnico responsável:		Técnico do cliente:	
Cliente:		Embarcação:	
INFORMAÇÕES SOBRE O EQUIPAMENTO			
Modelo:		Serial:	
Capacidade (TR):		Gás refrigerante:	
Gás por circuito (Kg):		Condensador: [] Água [] Ar	
Energia: [] Volts [] Fase(s) [] Hz		Painel de alimentação:	
Modelo do compressor:		Fabricante do compressor:	
Serial do compressor 1:		Serial do compressor 2:	
Modelo de condensador:		Fabricante do condensador:	
Serial do Condensador 1:		Serial do condensador 2:	
Modelo da VET:		Fabricante da VET:	
Modelo do ventilador:		Fabricante do ventilador:	
VERIFICAR ANTES DO START-UP			
☐	Remover a embalagem e os componentes de transporte.		
☐	Verificar o travamento da unidade na embarcação.		
☐	Executar teste de pressão com nitrogênio contra vazamentos.		
☐	Verificar o movimento livre do ventilador.		
☐	Verificar linha de drenos e se há sifão.		
☐	Verificar a presença dos filtros de ar.		
☐	Remover manual e documentos de dentro da unidade.		
☐	Verificar conexões elétricas: se estão corretas e apertadas.		
☐	Verificar se todas as válvulas de serviço estão abertas.		
☐	Para condensador a água: verificar se a bomba de água está ligada.		
☐	Para condensador a ar: verificar o sentido da rotação.		
APÓS 15 MINUTOS EM FUNCIONAMENTO			
Voltagem na linha (volts)		L1 []	L2 [] L3 []
Amperagem do compressor 1		L1 []	L2 [] L3 []
Amperagem do compressor 2		L1 []	L2 [] L3 []
Pressão da água no condensador (psi)		Entrada []	Saída []
Temperatura do ar no condensador (°C)		Entrada []	Saída []
		Circuito 1	Circuito 2
Pressão da linha de líquido		[] PSI [] °C	[] PSI [] °C
Temperatura na linha de líquido		[] °C	[] °C
Subresfriamento		[]	[]
Temperatura da linha de sucção		[] °C	[] °C
Pressão na linha de sucção		[] PSI [] °C	[] PSI [] °C
Superaquecimento		[]	[]