ANEXO III DO TERMO DE REFERÊNCIA Nº 35/2026

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO TROCADOR DE CALOR DO MOTOR DE COMBUSTÃO PRINCIPAL DE BORESTE (MCP BE) – MOTOR MTU 6R 199 TB60

1. FINALIDADE

1.1. Este Anexo detalha a confecção, o fornecimento e a instalação do trocador de calor do motor novo, previstos nos subitens 1.1.1.8 e 1.1.1.9 do Termo de Referência, e integra a especificação técnica do objeto. Os valores aqui reproduzidos constam da seção Dados Técnicos do Manual de Operação e Manutenção do motor MTU 6R 199 TB60.

2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

2.1. O sistema de arrefecimento do motor é do tipo indireto. O circuito fechado (interno) de fluido de arrefecimento retira o calor do bloco, do cabeçote e do coletor de escape e o transfere, no trocador de calor do motor, à água bruta captada pela bomba de água bruta, que é descarregada para fora da embarcação.

2.2. O trocador é do tipo casco e feixe tubular em colmeia, conforme a Figura 1. A água bruta entra pela conexão da tampa de extremidade, percorre o interior dos tubos do feixe e sai pela tampa da extremidade oposta. O fluido de arrefecimento entra no casco, escoa por fora dos tubos, conduzido pelas chicanas em fluxo cruzado sobre o feixe, e sai pela extremidade oposta do casco. Os dois fluidos não entram em contato: a separação é feita pelas paredes dos tubos e pela vedação entre os espelhos e o casco.

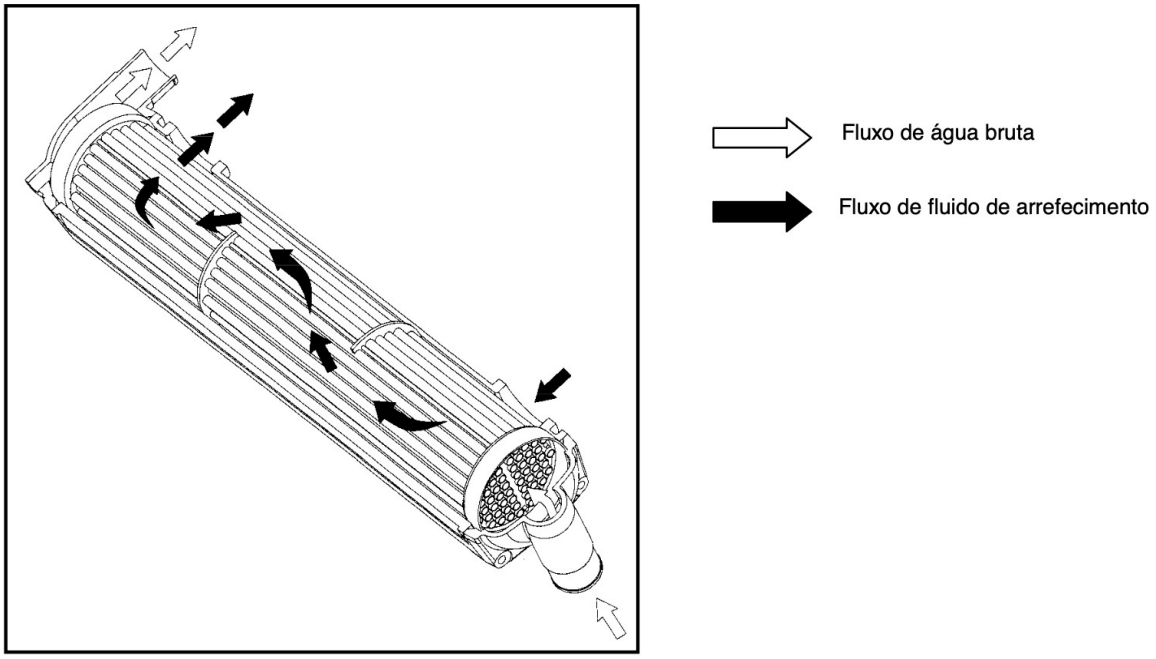


Figura 1 – Trocador de calor do motor: fluxo de água bruta (setas brancas) pelo interior dos tubos e fluxo de fluido de arrefecimento (setas pretas) pelo lado do casco. Fonte: Manual de Operação e Manutenção do motor MTU 6R 199 TB60.

3. ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

3.1. O trocador de calor novo será composto pelos elementos da Tabela 1, todos novos, que deverão reproduzir a geometria do trocador existente, levantada na vistoria inicial (ETAPA 1).

Tabela 1 – Componentes do trocador de calor do motor e requisitos construtivos

Componente	Função	Requisito construtivo
Tampa de entrada de água bruta	Recebe a água bruta da bomba e a distribui aos tubos do feixe.	Conexão Ø 51 mm na mesma posição, orientação e tipo da original; removível, com junta; dreno e alojamento de anodo.
Espelhos (placas tubulares)	Fixam as extremidades dos tubos e separam a água bruta do fluido de arrefecimento.	Liga cobre-níquel CuNiFe (DIN 1755) ou aço inoxidável SAE J405 30316; tubos mandrilados ou brasados, faceados com o espelho.
Feixe tubular em colmeia	Superfície de troca térmica entre a água bruta (interior dos tubos) e o fluido de arrefecimento (exterior).	Tubos retos, sem costura, em arranjo compacto tipo colmeia; área de troca e espessura de parede não inferiores às do original.
Chicanas (defletores)	Conduzem o fluido de arrefecimento em fluxo cruzado sobre o feixe e apoiam os tubos.	Número e posição iguais aos do original; sem folga que permita escoamento preferencial entre feixe e casco.
Casco	Contém o fluido de arrefecimento em torno do feixe.	Conexões de entrada e saída do fluido, suportes e furação idênticos aos do original; material compatível, sem corrosão galvânica.
Tampa de saída de água bruta	Coleta a água bruta e a encaminha à descarga para fora da embarcação.	Conexão Ø 51 mm na mesma posição da original; removível, com junta; dreno.
Juntas e anéis de vedação	Estanqueidade entre tampas, espelhos e casco.	Novos; resistentes ao fluido de arrefecimento com inibidor de corrosão e à temperatura de 100 °C.
Anodos de sacrifício	Proteção catódica do lado da água bruta.	Zinco; novos, nos alojamentos previstos.
Placa de identificação	Rastreabilidade do componente.	Fabricante, data de fabricação, materiais e pressão de teste.

4. PARÂMETROS DE DESEMPENHO DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO

4.1. O trocador de calor novo deverá permitir que o sistema de arrefecimento opere dentro dos valores da Tabela 2. A coluna aplicável ao MCP BE é a de 1.850 rpm (294 kW / 400 CV), destacada; a de 1.800 rpm serve de referência para regime parcial, e as de 2.100 rpm e 2.300 rpm não se aplicam a este motor.

Tabela 2 – Dados Técnicos do sistema de arrefecimento

Parâmetro	Unid.	2.300 rpm	2.100 rpm	1.850 rpm	1.800 rpm
SISTEMA DE ARREFECIMENTO – CIRCUITO INTERNO					
Temperatura do fluido de arrefecimento na saída do cabeçote – operação	°C	83 a 95			
Temperatura do fluido de arrefecimento na saída do cabeçote – alarme	°C	97			
Temperatura do fluido de arrefecimento na saída do cabeçote – máxima	°C	100			
Bomba de circulação: vazão (±5%)	m³/h	28,8	26,0	**22,5**	22,0
Pressão do sistema	bar	0,35 a 0,50			
Bomba de circulação: pressão de entrada (mínima / máxima)	bar	0,1 / 1,2			
Válvula de alívio na tampa: pressão de abertura (pressão em excesso)	bar	1,0			

Parâmetro	Unid.	2.300 rpm	2.100 rpm	1.850 rpm	1.800 rpm
Válvula de alívio na tampa: pressão de abertura (depressão)	bar	0,1			
Volume de fluido de arrefecimento, total da aplicação	L	32			
SISTEMA DE ARREFECIMENTO – CIRCUITO DE ÁGUA BRUTA					
Bomba de água bruta: vazão (±5%)	m³/h	20	18	**13,5**	13,6
Bomba de água bruta: diferencial de pressão	bar	0,7	0,6	**0,6**	0,5
Bomba de água bruta: pressão de entrada (mínima / máxima)	bar	-0,2 / 0,5			

Fonte: Manual de Operação e Manutenção do motor MTU 6R 199 TB60, seção Dados Técnicos.

5. REQUISITOS DE PROJETO E DE CONSTRUÇÃO

5.1. O projeto e a construção do trocador de calor novo observarão os requisitos da Tabela 3.

Tabela 3 – Requisitos de projeto e de construção do trocador de calor novo

Requisito	Valor ou condição exigida
Condição de projeto	Potência máxima do MCP BE: 294 kW (400 CV) a 1.850 rpm.
Vazões de projeto (±5%)	Fluido de arrefecimento: 22,5 m³/h. Água bruta: 13,5 m³/h (coluna de 1.850 rpm da Tabela 2).
Temperatura de projeto da água bruta	32 °C, com fator de incrustação compatível com água fluvial com sedimentos em suspensão.
Capacidade térmica	Dissipar o calor rejeitado ao fluido de arrefecimento na potência máxima, conforme dados do fabricante do motor, mantendo 83 °C a 95 °C na saída do cabeçote, sem atingir 97 °C (alarme) nem 100 °C (máxima). Área de troca não inferior à do original.
Perda de carga	Não superior à do trocador original em cada lado, mantidos, com o trocador instalado, as vazões, o diferencial e a pressão de entrada das bombas da Tabela 2.
Pressão de projeto	Não inferior a 2,0 bar em cada lado (pressão máxima de serviço da Tabela 2: 1,2 bar).
Teste hidrostático	3,0 bar em cada lado, separadamente, por no mínimo 30 minutos, sem queda de pressão nem gotejamento, com verificação de não comunicação entre os lados.
Volume e desaeração	Volume do lado do fluido compatível com o do original, mantido o volume total de 32 L; pontos altos ligados à desaeração, sem bolsões de ar.
Intercambiabilidade	Conexões, flanges, furação e suportes idênticos aos do original, sem adaptação na tubulação, nos mangotes ou nos suportes.
Unidade original	Admitido o fornecimento de unidade original do fabricante do motor, nova, que atenda às mesmas exigências.

5.2. A memória de cálculo térmico apresentada na ETAPA 2 conterá, no mínimo: o calor a dissipar na potência máxima, conforme dados do fabricante; as temperaturas de entrada e de saída de cada fluido; as vazões de projeto; o coeficiente global de troca térmica e o fator de incrustação adotados; a área de troca requerida e a área ofertada, comparada com a do trocador original; e a perda de carga de cada lado.

5.3. A confecção somente será iniciada após a aprovação, pela fiscalização, do desenho de fabricação e da memória de cálculo térmico, na forma das ETAPAS 1 a 3 do Termo de Referência.

6. INSPEÇÕES E ENSAIOS DE ACEITAÇÃO

6.1. O trocador de calor novo será aceito mediante as inspeções e os ensaios da Tabela 4, registrados em laudo, facultado à fiscalização acompanhar os ensaios em oficina.

Tabela 4 – Inspeções e ensaios de aceitação do trocador de calor novo

Inspeção ou ensaio	Momento	Critério de aceitação
Conferência dimensional	Recebimento, antes da instalação	Conforme o desenho de fabricação aprovado; intercambiável com o original.
Certificado de material	Recebimento, antes da instalação	Tubos e espelhos em CuNiFe (DIN 1755) ou SAE J405 30316.
Teste hidrostático – lado da água bruta	Oficina (ETAPA 3)	3,0 bar por 30 min, sem queda de pressão nem gotejamento.
Teste hidrostático – lado do fluido	Oficina (ETAPA 3)	3,0 bar por 30 min, sem queda de pressão nem gotejamento.
Não comunicação entre os lados	Oficina (ETAPA 3)	Com um lado pressurizado, ausência de passagem de água para o outro.
Teste de pressão do circuito fechado	A bordo, motor frio, após a montagem	Sem queda de pressão e sem vazamentos externos ou internos.
Teste de funcionamento	A bordo, regimes do subitem 1.1.1.17 do TR	Saída do cabeçote entre 83 °C e 95 °C, sem atuação do alarme de 97 °C; pressão do sistema 0,35 a 0,50 bar; diferencial e pressão de entrada da bomba de água bruta nos limites da Tabela 2; nível do tanque de expansão estável; sem vazamentos.
Verificação em prova de mar	1.850 rpm, se realizada pelo Comando	Saída do cabeçote entre 83 °C e 95 °C na potência máxima, sem atuação do alarme.

7. DOCUMENTAÇÃO A ENTREGAR

7.1. A CONTRATADA entregará: desenho de fabricação aprovado e desenho "conforme construído"; memória de cálculo térmico; certificado ou declaração de material dos tubos e dos espelhos; laudo dos testes hidrostáticos e de não comunicação entre os lados; e registro das temperaturas e pressões medidas nos testes de funcionamento, comparadas com a Tabela 2.

Belém, PA, ____ de _____ de 2026.

JOSÉ RICARDO DA SILVA MAIA
Primeiro-Tenente
Divisão de Máquinas – Aviso Hidroceanográfico Fluvial Rio Tocantins