

PROJETO DE ISOLAMENTO TÉRMICO A BAIXA TEMPERATURA

Procedimento

Esta Norma substitui e cancela a sua revisão anterior.

Toda esta Norma foi alterada em relação à revisão anterior.

Cabe à CONTEC - Subcomissão Autora, a orientação quanto à interpretação do texto desta Norma. O Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma é o responsável pela adoção e aplicação dos itens da mesma.

Requisito Mandatório: Prescrição estabelecida como a mais adequada e que deve ser utilizada estritamente em conformidade com esta Norma. Uma eventual resolução de não seguí-la ("não-conformidade" com esta Norma) deve ter fundamentos técnico-gerenciais e deve ser aprovada e registrada pelo Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma. É caracterizada pelos verbos: "dever", "ser", "exigir", "determinar" e outros verbos de caráter impositivo.

Prática Recomendada (não-mandatória): Prescrição que pode ser utilizada nas condições previstas por esta Norma, mas que admite (e adverte sobre) a possibilidade de alternativa (não escrita nesta Norma) mais adequada à aplicação específica. A alternativa adotada deve ser aprovada e registrada pelo Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma. É caracterizada pelos verbos: "recomendar", "poder", "sugerir" e "aconselhar" (verbos de caráter não-impositivo). É indicada pela expressão: **[Prática Recomendada]**.

Cópias dos registros das "não-conformidades" com esta Norma, que possam contribuir para o aprimoramento da mesma, devem ser enviadas para a CONTEC - Subcomissão Autora.

As propostas para revisão desta Norma devem ser enviadas à CONTEC - Subcomissão Autora, indicando a sua identificação alfanumérica e revisão, o item a ser revisado, a proposta de redação e a justificativa técnico-econômica. As propostas são apreciadas durante os trabalhos para alteração desta Norma.

"A presente Norma é titularidade exclusiva da PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS, de uso interno na Companhia, e qualquer reprodução para utilização ou divulgação externa, sem a prévia e expressa autorização da titular, importa em ato ilícito nos termos da legislação pertinente, através da qual serão imputadas as responsabilidades cabíveis. A circulação externa será regulada mediante cláusula própria de Sigilo e Confidencialidade, nos termos do direito intelectual e propriedade industrial."

CONTEC

Comissão de Normas
Técnicas

SC - 09

Isolamento Térmico
e Refratários

Apresentação

As normas técnicas PETROBRAS são elaboradas por Grupos de Trabalho – GTs (formados por especialistas da Companhia e das suas Subsidiárias), são comentadas pelos Representantes Locais (representantes das Unidades Industriais, Empreendimentos de Engenharia, Divisões Técnicas e Subsidiárias), são aprovadas pelas Subcomissões Autoras – SCs (formadas por técnicos de uma mesma especialidade, representando os Órgãos da Companhia e as Subsidiárias) e aprovadas pelo Plenário da CONTEC (formado pelos representantes das Superintendências dos Órgãos da Companhia e das suas Subsidiárias, usuários das normas). Uma norma técnica PETROBRAS está sujeita a revisão em qualquer tempo pela sua Subcomissão Autora e deve ser reanalisada a cada 5 (cinco) anos para ser revalidada, revisada ou cancelada. As normas técnicas PETROBRAS são elaboradas em conformidade com a norma PETROBRAS N-1. Para informações completas sobre as normas técnicas PETROBRAS, ver Catálogo de Normas Técnicas PETROBRAS.

PÁGINA EM BRANCO



Documents

Document Sharing Hub

SUMÁRIO

1 OBJETIVO	5
2 DOCUMENTOS COMPLEMENTARES.....	5
2.1 REFERÊNCIAS NORMATIVAS	5
2.2 BIBLIOGRAFIA	5
3 DEFINIÇÕES	5
3.1 BAIXA TEMPERATURA.....	5
3.2 ISOLANTE TÉRMICO	6
3.3 ISOLAMENTO TÉRMICO	6
3.4 ESPESSURA ECONÔMICA	6
3.5 CONSERVAÇÃO DE ENERGIA	6
3.6 CONTROLE DE CONDENSAÇÃO DE UMIDADE NA SUPERFÍCIE EXTERNA DO ISOLAMENTO TÉRMICO	6
3.7 ESTABILIZAÇÃO DE FASES DE PROCESSOS INDUSTRIAIS	6
3.8 PROTEÇÃO OU CONFORTO PESSOAL.....	6
4 CONDIÇÕES GERAIS.....	6
4.1 CRITÉRIO DE DIMENSIONAMENTO.....	6
4.2 MATERIAIS.....	7
4.3 EQUIPAMENTOS E TUBULAÇÕES.....	9
5 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS.....	9
5.1 CONSERVAÇÃO DE ENERGIA	9
5.2 CONTROLE DE CONDENSAÇÃO DE UMIDADE NA SUPERFÍCIE EXTERNA DO ISOLAMENTO TÉRMICO	9
5.3 PROTEÇÃO E/OU CONFORTO PESSOAL	10
5.4 ESTABILIZAÇÃO DE FASES DE PROCESSOS INDUSTRIAIS	10

TABELAS

TABELA 1 - CONDUTIVIDADE TÉRMICA "k" DO POLIURETANO	7
TABELA 2 - DISTRIBUIÇÃO DAS ESPESSURAS DAS CAMADAS DE POLIURETANO PRÉ-MOLDADO	8
TABELA A-1 - EXEMPLO DE CÁLCULO - RESUMO.....	16
TABELA D-1 - CORRELAÇÕES PARA CONVECÇÃO NATURAL.....	27
TABELA D-2 - PARÂMETROS "C" E "m"	28
TABELA D-3 - PROPRIEDADES DO AR.....	29
TABELA D-4 - EMISSIVIDADES TÍPICAS DE SUPERFÍCIES	29
TABELA E-1 - (CONTINUA) NOMENCLATURA.....	31
TABELA E-1 - (CONCLUSÃO) NOMENCLATURA.....	32
TABELA F-1 - PONTO DE ORVALHO.....	33
TABELA G-1 - ESPESSURAS ECONÔMICAS, EM mm, PARA ISOLAMENTO TÉRMICO COM POLIURETANO EXPANDIDO PRÉ-MOLDADO.....	36
TABELA G-2 - CUSTO DO ISOLAMENTO TÉRMICO À BASE DE POLIURETANO EXPANDIDO PRÉ-MOLDADO.....	37

ANEXOS

ANEXO A - CONSERVAÇÃO DE ENERGIA - ROTEIRO DE CÁLCULO	11
ANEXO B - CONTROLE DE CONDENSAÇÃO DE UMIDADE NA SUPERFÍCIE EXTERNA DO ISOLAMENTO TÉRMICO E PROTEÇÃO PESSOAL - ROTEIRO DE CÁLCULO	17
ANEXO C - ESTABILIZAÇÃO DE FASES DE PROCESSOS INDUSTRIAIS - ROTEIRO DE CÁLCULO	21
ANEXO D - EQUAÇÕES DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	25
ANEXO E - NOMENCLATURA	31
ANEXO F - PONTO DE ORVALHO	33
ANEXO G - CONSERVAÇÃO DE ENERGIA - ESPESSURAS RECOMENDADAS	35

/OBJETIVO

1 OBJETIVO

1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis no projeto de isolamento térmico de equipamentos e tubulações operando a baixa temperatura.

1.2 Esta Norma aplica-se na seleção de material e no dimensionamento de espessura de isolante térmico, de acordo com os seguintes critérios:

- a) controle de condensação de umidade na superfície externa do isolamento térmico;
- b) conservação de energia calorífica;
- c) estabilização de fases de processos industriais;
- d) proteção ou conforto pessoal;

1.3 Esta Norma aplica-se a projetos iniciados a partir da data de sua edição e também a instalações/equipamentos já existentes, quando da sua manutenção ou reforma.

2 DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

Os documentos relacionados a seguir são citados no texto e contêm prescrições válidas para a presente Norma.

2.1 Referências Normativas

PETROBRAS [N-896](#) - Montagem de Isolamento Térmico a Baixa Temperatura;
PETROBRAS [N-1618](#) - Materiais para Isolação Térmica.

2.2 Bibliografia

INCROPERA, F.P. & DE WITT, D.T. - Fundamentals of Heat Transfer.

3 DEFINIÇÕES

Para os efeitos desta Norma são adotadas as definições a seguir:

3.1 Baixa Temperatura

Toda temperatura de operação igual ou inferior à temperatura média das máximas temperaturas ambiente(s) nos dois (2) meses mais quentes do ano.

3.2 Isolante Térmico

Material empregado para reduzir a transferência de calor.

3.3 Isolamento Térmico

É o conjunto de materiais que, aplicado, reduz a transferência de calor.

3.4 Espessura Econômica

É a espessura obtida levando em consideração os custos da energia absorvida, do investimento no isolamento térmico e de manutenção, objetivando a minimização do custo total.

3.5 Conservação de Energia

É a otimização de recursos energéticos.

3.6 Controle de Condensação de Umidade na Superfície Externa do Isolamento Térmico

É a garantia da não condensação de água na superfície do isolamento térmico da tubulação ou equipamento.

3.7 Estabilização de Fases de Processos Industriais

É a garantia de um fluxo de calor absorvido máximo que não compromete o desempenho de um determinado processo industrial.

3.8 Proteção ou Conforto Pessoal

É evitar temperaturas na superfície que causem danos ou desconforto pessoal.

4 CONDIÇÕES GERAIS

4.1 Critério de Dimensionamento

4.1.1 O critério básico para determinação da espessura do isolante térmico consiste na utilização dos conceitos de conservação de energia e de controle da condensação de umidade na superfície externa do isolamento térmico.

4.1.2 Quando necessário, devem ser utilizados também os conceitos de proteção pessoal e/ou estabilização de fases.

4.1.3 Deve ser adotada a maior espessura entre as calculadas com base nos conceitos utilizados.

4.2 Materiais

4.2.1 O isolante térmico a ser usado deve ser espuma rígida de poliuretano.

4.2.2 Os materiais a serem utilizados devem ser os padronizados pela norma PETROBRAS [N-1618](#), respeitando-se as limitações de uso nela descritas.

4.2.2.1 Quando da utilização da condutividade térmica "k" do poliuretano, recomenda-se considerar a TABELA 1.

TABELA 1 - CONDUTIVIDADE TÉRMICA "k" DO POLIURETANO

Temperatura Média "Tm" (°C)	Condutividade Térmica "k" (W/m.K)
37,8	0,0252
23,9	0,0244
10	0,0237
- 17,8	0,0259
- 31,7	0,0273
- 45,4	0,0259
- 73,3	0,0216

4.2.3 O isolamento térmico deve ser aplicado em conformidade com a norma PETROBRAS [N-896](#).

4.2.4 Para um mesmo tipo de material, recomenda-se que a distribuição das camadas de isolante térmico rígido seja feita em conformidade com a TABELA 2.

**TABELA 2 - DISTRIBUIÇÃO DAS ESPESSURAS DAS
CAMADAS DE POLIURETANO PRÉ-MOLDADO**

ESPESSURA TOTAL (mm)	CAMADAS (mm)	
	1 ^a	2 ^a
25 (1")	25 (1")	-
38 (1 1/2")	38 (1 1/2")	-
51 (2")	51 (2")	-
63 (2 1/2")	63 (2 1/2")	-
76 (3")	76 (3")	-
89 (3 1/2")	89 (3 1/2")	-
102 (4")	102 (4")	-
114 (4 1/2")	76 (3")	38 (1 1/2")
127 (5")	76 (3")	51 (2")
139 (5 1/2")	76 (3")	63 (2 1/2")
153 (6")	102 (4")	51 (2")
165 (6 1/2")	102 (4")	63 (2 1/2")
178 (7")	102 (4")	76 (3")
191 (7 1/2")	102 (4")	89 (3 1/2")
204 (8")	102 (4")	102 (4")

4.2.5 Devem ser previstas juntas de expansão-contração para o isolante térmico rígido, em conformidade com a norma PETROBRAS [N-896](#).

4.2.6 Para tubulações ou equipamentos de aço liga ASTM A 240, tipos 300 e 400, o teor máximo de cloretos e fluoretos no isolante térmico deve atender aos critérios da ASTM C 795, a fim de minimizar a possibilidade de corrosão sob tensão.

4.2.7 Nos casos em que o equipamento ou tubulação seja submetido a condições de alta e baixa temperatura deve-se utilizar, primeiramente, uma camada de isolante térmico rígido para alta temperatura, dimensionada de modo que a temperatura máxima de sua superfície externa seja inferior a 80°C.

4.2.7.1 O dimensionamento da espessura do isolante térmico para baixa temperatura não deve levar em consideração a espessura do isolante térmico rígido para alta temperatura.

4.2.8 Equipamentos ou tubulações que operam com temperaturas inferiores a -35°C, quando isolados por injeção, antes da aplicação do isolante térmico devem receber uma camada de lã de vidro, conforme previsto na norma PETROBRAS [N-896](#).

4.2.8.1 O dimensionamento da espessura do isolante térmico não deve levar em consideração a espessura da lã de vidro.

4.3 Equipamentos e Tubulações

A menos que seja recomendado pelo projetista do sistema ou exista risco de congelamento, não se deve isolar:

- a) se o ganho de calor for necessário, atendendo aos requisitos de processo;
- b) tubulações e equipamentos resfriados esporadicamente, tais como:
 - válvulas de alívio e sistemas de alívio;
 - respiros e drenos;
 - sistema de tocha;
 - sistema de drenagem;
- c) mangueiras e mangotes;
- d) placa de identificação ou outras;
- e) peças de interferência de tubulações e equipamentos dentro do previsto na norma PETROBRAS [N-896](#), tais como:
 - tomada de instrumentos;
 - suportes de escadas;
 - suportes de plataformas;
 - suportes de tubulações;
 - suportes de equipamentos;
- f) volantes e hastes de válvulas dentro do previsto na norma PETROBRAS [N-896](#).

5 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1 Conservação de Energia

Para a determinação da espessura econômica, recomenda-se que seja efetuado um estudo específico com base em dados atualizados de acordo com o roteiro de cálculos do ANEXO A.

5.1.1 A TABELA G-1 do ANEXO G apresenta espessuras recomendadas para o poliuretano expandido pré-moldado. Quando o valor da espessura econômica obtido da TABELA G-1 indicar redução na espessura do isolamento térmico em uso na instalação, deve-se verificar a capacidade do sistema de refrigeração em atender a esta nova condição.

5.1.2 A TABELA G-1 não deve ser utilizada no dimensionamento de instalações novas.

5.2 Controle de Condensação de Umidade na Superfície Externa do Isolamento Térmico

5.2.1 O isolamento térmico deve garantir na superfície externa uma temperatura acima do ponto de orvalho obtido da TABELA F-1 do ANEXO F.

5.2.2 Para a determinação da espessura de controle da umidade, recomenda-se o uso do roteiro de cálculo do ANEXO B.

5.3 Proteção e/ou Conforto Pessoal

5.3.1 O isolamento térmico deve garantir na superfície externa uma temperatura acima de 0°C.

5.3.2 O isolamento térmico deve ser feito em equipamentos ou tubulações localizados a uma altura inferior a 2 metros de qualquer piso, ou a uma distância lateral inferior a 1 metro de escadas ou plataformas destinadas ao trânsito de pessoal.

5.3.3 Se não for permitido o isolamento térmico por problemas operacionais, devem ser providenciados protetores metálicos (telas) e até sinalização adequada, que limitem o acesso de pessoas à superfície externa não isolada.

5.3.4 Na determinação da espessura para proteção pessoal, recomenda-se o uso do roteiro de cálculo do ANEXO B.

5.4 Estabilização de Fases de Processos Industriais

Para a determinação da espessura para estabilização de fases de processos industriais recomenda-se o uso do roteiro de cálculo do ANEXO C.

/ANEXO A

ANEXO A - CONSERVAÇÃO DE ENERGIA - ROTEIRO DE CÁLCULO

A-1 INTRODUÇÃO

A-1.1 O cálculo de espessura do isolamento térmico pelo conceito de conservação de energia visa, respeitadas as restrições de segurança e de processo, promover um benefício econômico com a redução do calor absorvido através das paredes de uma tubulação ou equipamento. Por ser um cálculo que envolve custos de material, manutenção e energia, o conceito de "solução mais econômica" pode variar ao longo do tempo.

A-1.2 Deve ser feito um balanço entre o custo adicional de material e a redução do custo de energia térmica decorrentes de um aumento da espessura do isolamento térmico. Para tanto, é necessário calcular-se o calor absorvido para cada nova espessura analisada, o que requer um cálculo iterativo. O roteiro aqui apresentado é apenas uma das formas de determinação da espessura.

A-2 DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE CALOR

A-2.1 Definir uma configuração de espessura para início da análise, por exemplo, o valor imediatamente superior ao obtido de um outro critério de cálculo.

A-2.2 Estimar um valor para a temperatura da superfície externa do isolamento térmico, por exemplo, o mesmo valor obtido de um outro critério de cálculo.

A-2.3 Calcular os coeficientes de transferência de calor adequados ao problema, segundo o ANEXO D.

A-2.4 Com a temperatura média $(T_e + T_o)/2$, calcular a condutividade térmica do material.

A-2.5 Calcular a nova temperatura da superfície externa através do balanço das equações D.4 ou D.6 com:

$$q = (h_c + h_r) (T_a - T_e)$$

o que, para superfícies planas, pode ser expresso por:

$$T_e = \frac{(h_c + h_r)T_a + \frac{k}{L}T_o}{h_c + h_r + \frac{k}{L}}$$

e, para superfícies cilíndricas:

$$T_e = \frac{(h_c + h_r)T_a + \frac{k}{r_e \ln(r_e/r_o)}T_o}{h_c + h_r + \frac{k}{r_e \ln(r_e/r_o)}}$$

A-2.6 Se o valor de T_e diferir em mais de 2°C do valor de T_e estabelecido anteriormente, retornar ao item A-2.3 com o novo valor de T_e .

A-3 DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS

O cálculo do custo total de um sistema de isolamento térmico é composto por cinco parcelas, cada uma constituída pelo custo:

- a) da energia absorvida;
- b) da água de refrigeração;
- c) de investimento na unidade de refrigeração;
- d) de investimento no isolamento térmico;
- e) de manutenção do isolamento térmico.

Os custos podem ser feitos por unidade de área ou comprimento, ou pelo total da instalação.

A-3.1 Custo de Energia Absorvida

O custo anual de energia absorvida pode ser avaliado pela seguinte expressão:

$$CE = \frac{Q \cdot H \cdot C_{ac}}{1000 \cdot \eta_{co} \cdot COP} \quad (A.1)$$

Onde: CE = custo anual de energia absorvida, \$/ano.m², \$/ano.m ou \$/ano;
 Q = potência (quantidade de calor) absorvida, W/m², W/m ou W;
 H = número de horas de operação por ano, h/ano;
 C_{ac} = custo da energia de acionamento do compressor, \$/kWh;
 η_{co} = eficiência do compressor;
 COP = coeficiente de performance do sistema de refrigeração.

Este custo, que se repete ao longo da vida do sistema de isolamento térmico, deve ser trazido para seu valor atual:

$$CE_{VA} = f(j, n) \cdot CE \quad (A.2)$$

$$f(j, n) = \frac{(1+j)^n - 1}{j \cdot (1+j)^n} \quad (A.3)$$

$$j = \frac{1+i}{1+\Delta} - 1 \quad (A.4)$$

