

Economia de energia através de isolamento térmico de equipamentos e tubulações

MFN -0464

N CHAMADA:

TITULO: Economia de energia através de isolamento térmico de equipamentos e tubulações

AUTOR(ES): PACINI, A.N.

EDICAO:

IDIOMA: português

ASSUNTO: 10. utilidades

TIPO: Congresso

EVENTO: Congresso Anual da ABCP, 21

PROMOTOR: ABTCP

CIDADE: São Paulo

DATA: 21-25.11.1988

IMPRESSÃO: Sao Paulo, 1988, ABTCP

PAG/VOLUME: p.571-585,

FONTE: Congresso Anual da ABCP, 21, 1988, São Paulo, p.571-585

AUTOR ENTIDADE:

DESCRIPTOR: conservação de energia, isolamento térmico, equipamentos

RESUMO: O isolamento térmico de tubulações e equipamentos aquecidos destaca-se como a forma de conservação de energia mais barata e mais eficiente. Depois de uma breve revisão dos princípios de condutividade térmica o uso de Thermax, um isolante natural feito de la de rocyha, é discutida, em relação ao seu calor específico, temperatura de serviço, resistência à compressão, composição química, e estrutura física



ECONOMIA DE ENERGIA ATRAVÉS DE ISOLAMENTO TÉRMICO DE
EQUIPAMENTOS E TUBULAÇÕES

Attilio Nelson Pacini
Ocfibras Ltda. - São Paulo - Brasil

1. Introdução

Existem inúmeras técnicas de conservação de energia, algumas das quais desenvolvidas recentemente, e dependentes portanto, de comprovação prática. Em alguns casos, o investimento inicial é bastante elevado, o que inviabiliza a sua aplicação imediata.

Sem dúvida, o isolamento térmico de tubulações e equipamentos aquecidos, destaca-se como a forma de conservação de energia mais barata e mais eficiente, com resultados amplamente comprovados através de muitos anos de observações e pesquisas.

No entanto, o isolamento térmico foi utilizado durante longo período com outras finalidades, como por exemplo, proteção pessoal contra queimaduras e manutenção de temperatura de processo.

Após a crise do petróleo, a conservação de energia ganhou uma dimensão muito maior, trazendo como consequência prática a necessidade de utilizar isolamentos térmicos de melhor qualidade, além de espessuras maiores. Além disso, o isolamento de válvulas, flanges e outros "fittings" passou a ser uma necessidade.

Dados recentes mostram, contudo, que a indústria ainda não conseguiu se adaptar totalmente a essa nova realidade.

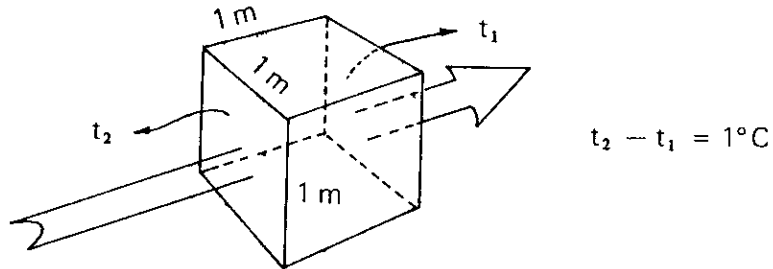
Segundo o "Federal Energy Administration", órgão oficial do governo americano, as indústrias dos Estados Unidos poderiam ter economizado cerca de 122.000.000 de barris de petróleo, somente em 1974, caso tivessem utilizado espessuras adequadas de isolamento térmico.

No Brasil, esses números são mais modestos, mas também impressionantes. Segundo a ABIT - Associação Brasileira de Isolação Térmica, o desperdício em 1980 atingiu 18.000.000 barris de petróleo, devido ao isolamento térmico deficiente.

2. Conceitos

2.1. Condutividade térmica

É a quantidade de calor horária que atravessa um cubo com um metro de lado, mantida uma diferença de temperatura de 1°C entre faces opostas.



O coeficiente de condutividade térmica é geralmente designado pela letra K e é expresso numa das unidades abaixo:

$\text{Kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$

$\text{W/m}^{\circ}\text{C}$

$\text{Btu in /ft}^2 \cdot \text{h.}^{\circ}\text{C}$.

Observações importantes:

a) cada corpo possui um valor típico de K . Corpos com baixos valores de K são considerados isolantes térmicos. Altos valores de K são típicos de corpos condutores.

Exemplo:

$K_{\text{aço}} = 45 \text{ Kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$

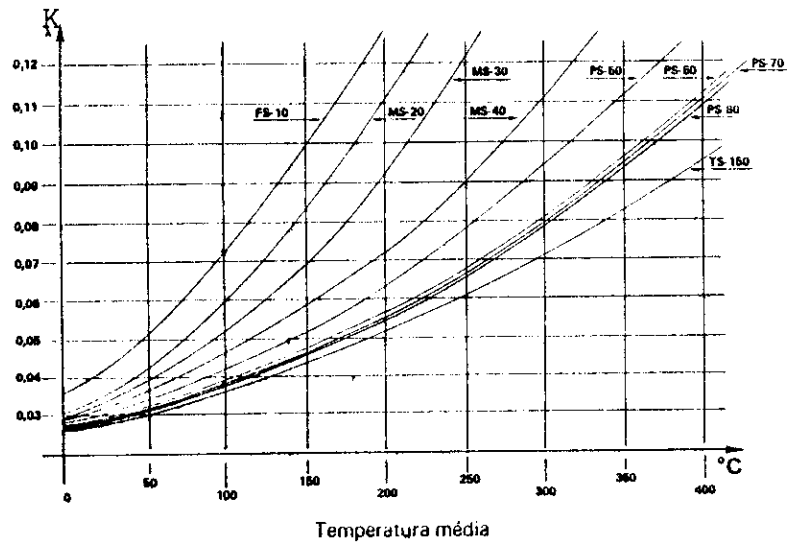
$K_{\text{Lã de Rocha}} = 0,030 \text{ Kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$

O aço conduz 1500 vezes mais do que a Lã de Rocha.

b) o valor de K varia com a temperatura. Ele aumenta se a temperatura cresce e, inversamente, diminui quando a temperatura decresce.

Isto significa que o valor de K deve sempre ser associado a uma determinada temperatura.

c) a condutividade térmica dos isolantes varia também com a sua densidade.



Particularmente no caso dos isolantes fibrosos, como a Lã de Rocha, os produtos mais densos são mais eficientes que os mais leves, e esta característica é mais acentuada em médias e altas temperaturas.

2.2. Emissividade do revestimento do isolante

A proteção dos isolantes é feita, via de regra, com chapas metálicas ou com emulsões asfálticas.

As chapas metálicas possuem baixa emissividade (alumínio = 0,2) e as emulsões asfálticas possuem alta emissividade, em torno de 0,9. Isto significa que as chapas metálicas armazenam calor, já que possuem baixa emissividade (emitem apenas 20% de energia calorífica para o ambiente) e as emulsões armazenam quantidades menores de calor (emitem 90% da energia recebida, para o ambiente).

Em termos práticos, pode-se resumir o assunto da seguinte forma:

- . Revestimentos metálicos contribuem para ~~diminuir~~ o fluxo de calor, mas por outro lado, a temperatura superficial externa permanece mais elevada.

Os revestimentos metálicos são indicados, portanto, quando o objetivo da isolação térmica é de conservação de energia. Contudo, não são recomendados quando o objetivo é de proteção pessoal contra queimaduras.

- . Os revestimentos asfálticos, inversamente, proporcionam maiores perdas de calor, mas em contra-partida, são recomendados quando se deseja obter proteção pessoal, pois as temperaturas externas são mais baixas.

Obs: Estes conceitos ficarão claros ao analisarmos as tabelas anexas de perdas de calor e temperaturas superficiais externas.

Exemplo:

diâmetro nominal da tubulação = 4 polegadas
temperatura de operação = 200°C
isolante: Isotubos de Lã de Rocha
espessura do isolante = 1 polegada

	Emissividade	
	0,2	0,9
Perda de calor, Kcal/m.h.	92	99
Temperatura da face fria, °C	61	48

Lã de Rocha - THERMAX®

História

Desde os tempos pré-históricos, o homem tem utilizado isolantes naturais para proteger-se do frio e do calor. No princípio, vestia-se com lã de carneiro ou peles de animais e as suas moradias eram protegidas com fibras vegetais.

No entanto, essas fibras animais ou vegetais, são perecíveis e não puderam se adaptar à evolução do homem e das suas necessidades. Porém, a estrutura desses isolantes naturais permitiram que o homem entendesse que a capacidade de isolação de um corpo fibroso está relacionada com a quantidade de ar imobilizado entre as fibras. Esse conhecimento deu origem ao desenvolvimento dos modernos isolantes não perecíveis, como por exemplo a Lã de Rocha.

A Lã de Rocha (ou lã mineral) já era conhecida há muito tempo pelos nativos das ilhas do Hawaí, proveniente de erupções vulcânicas. A observação desta ocorrência natural aliada ao conhecimento de que os materiais fibrosos são bons isolantes térmicos, motivou o início das pesquisas, na Europa, por volta de 1840.

Em 1897, nos Estados Unidos, foi iniciada a produção comercial em pequena escala e, somente após o término da 1ª Guerra Mundial, essas fibras começaram a ganhar terreno em aplicações industriais.

Calor específico

O calor específico da Lã de Rocha - THERMAX® depende da temperatura. A temperatura ambiente e com material seco o calor específico é de aproximadamente 0,2 Kcal/Kg°C.

Temperatura de Serviço

A Lã de Rocha - THERMAX® pode suportar picos de temperatura superiores a 1000°C, pois a fusão de suas fibras só ocorre após 2 horas de exposição a temperaturas de 1000°C.

No entanto, recomenda-se que a temperatura máxima de operação não supere 750°C, a fim de garantir a eficiência do produto ao longo do tempo.

Destaque especial deve ser dado ao teor de resinas utilizado. A Lã de Rocha - THERMAX® utiliza no máximo 2% em peso de resinas aglomerantes, ao passo que outros produtos fibrosos utilizam de 6 a 10% em peso, limitando o seu uso a temperaturas de no máximo 450°C.

Resistência à compressão

As mantas e painéis de Lã de Rocha - THERMAX® são fornecidas em diversas densidades. Obviamente, quanto maior a densidade, maior será a resistência à compressão.

Com relação aos Isotubos - série TS-150, pré-moldados para isolamento térmico de tubulações com diâmetro de 1/2" a 12", estes são fabricados com densidades de até 150 kg/m³, o que lhes confere excelente resistência à compressão, muito maior que a de outros isolantes fibrosos.

Matérias Primas / Composição química

Utilizam-se diversos tipos de rochas de origem basáltica para a fabricação da Lã de Rocha - THERMAX® . A fusão ocorre a cerca de 1500°C, dando origem ao produto com a composição química típica abaixo:

SiO ₂	- 53%
Al ₂ O ₃	- 12%
CaO	- 15%
MgO	- 11%
Outros	- 9%

Fibragem - Processo Spinner

A massa vítrea fundida escoada da base do forno para um conjunto de discos de aço, girando em alta rotação. A força centrífuga transforma o fundido em fibras finíssimas, 15 vezes mais finas que um fio de cabelo. O entrelaçamento dessas fibras é muito grande, de maneira a aprisionar em seu volume cerca de 99% de ar e apenas 1% de fibras.

Estrutura física

Logo após a fibragem, é aplicada uma pulverização de resina termo-endurecível, que proporciona melhor sustentação, nos pontos de contato das fibras.

Isotubos - Série TS-150 em Lã de Rocha - THERMAX®
 Isolantes Térmicos pré-moldados para tubulações

Informações Gerais

Descrição

Isotubos - Série TS-150 Isolantes térmicos pré-moldados, bipartidos, na forma de calhas rígidas de Lã de Rocha - THERMAX® com alta densidade, aglomerada com resinas especiais.

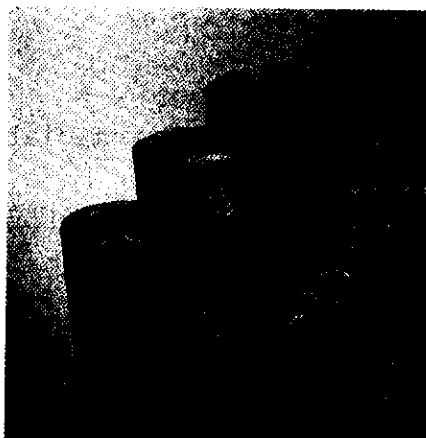
Usos

Recomendados para altas, médias e baixas temperaturas, entre -50°C a + 750°C, para isolamento térmico de tubulações, flanges, válvulas e conexões, com aplicações na área industrial, naval, construção civil, usinas termo-elétricas, destilarias de açúcar e álcool etc.

Fornecimento

Isotubos são disponíveis em espessuras de 1" até 4" para aplicações em tubulações com diâmetros nominais de 1/2" até 12", conforme abaixo,
 Diâmetros nominais(pol): 1/2, 3/4, 1, 1.1/4, 1.1/2, 2, 2.1/2, 3, 3.1/2, 4, 4.1/2, 5, 6, 8, 10, 12
 Espessuras (pol): 1, 1.1/2, 2, 2.1/2, 3, 3.1/2, 4
 Comprimento (mm): 1000
 Condutividade térmica Kcal/m.h.°C
 $K = 0,02894 \cdot \exp 0,002956 \cdot t_m$
 $t_m = \text{temperatura média do isolante, } ^\circ\text{C}$

$$\left(\frac{t_i + t_{ff}}{2} \right)$$



Mantas-MS e Painéis-PS em Lã de Rocha -
 - THERMAX®, para Isolamento Térmico e Acústico

Descrição

Isolantes térmicos e acústicos dos tipos feltros, mantas e painéis, fabricados a partir da Lã de Rocha - THERMAX®. Possuem fibras longas, densidade variadas, são aglomeradas com resinas especiais e resistem a altas temperaturas.

Usos

Isolamento térmico em altas, médias e baixas temperaturas, entre -50°C a 750°C e isolamento acústico.

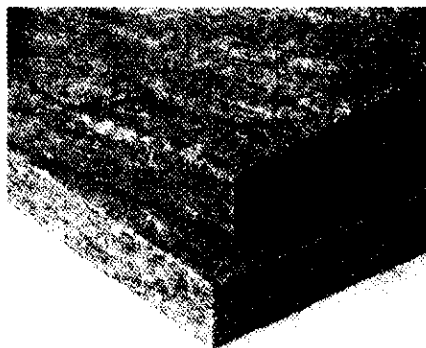
Mantas - Série MS

Isolantes térmicos e acústicos semi-rígidos para superfícies planas ou quase planas, em equipamentos industriais, tanques cilíndricos, tubulações de grande porte etc.

Recomendadas para temperaturas até 500°C

Painéis - Série PS

Isolantes térmicos e acústicos rígidos, utilizados em superfícies planas e tanques cilíndricos de grande dimensões. Possuem altas propriedades mecânicas e trabalham sob temperatura até 750°C.



Produtos	Densidade	Condutividade térmica
Código	kg/m³	Kcal/m.h.°C
MS.20	32	$K = 0,02983 \cdot \exp 0,006735 \cdot t_m$
MS.40	64	$K = 0,02919 \cdot \exp 0,004419 \cdot t_m$
PS.60	96	$K = 0,02731 \cdot \exp 0,003571 \cdot t_m$
PS.80	128	$K = 0,02844 \cdot \exp 0,003375 \cdot t_m$

Obs: $t_m = \text{temperatura média no isolante, } ^\circ\text{C}$ $\left(\frac{t_i + t_{ff}}{2} \right)$

TABELAS

- . Perdas de calor
- . Temperaturas superficiais externas

Tabela I - Superfícies planas

Isolante: Lã de Rocha - THERMAX® - Painéis PS.60

Tabelas II a VI - Superfícies cilíndricas

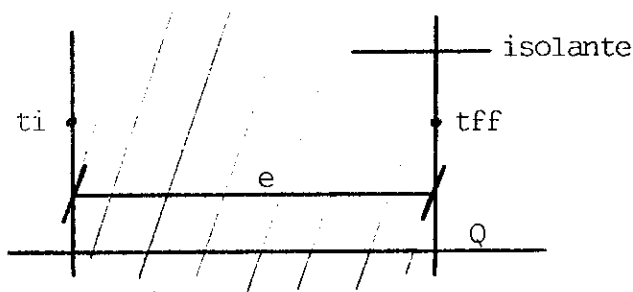
Isolante: Lã de Rocha - THERMAX® em tubos bi-partidos,
série TS.150 - Isotubos

Obs: Notar que em todas as tabelas são fornecidos os valores da perda de calor e da temperatura da face fria, com duas alternativas de revestimento (alumínio e emulsão asfáltica).

As referidas tabelas foram calculadas utilizando um programa de computador, sugerido pela ASTM C.680, conforme fórmulas a seguir descritas:

Fórmulas utilizadas no programa ASTM C.680

Superfícies planas



Q = fluxo de calor através do isolante, em Kcal/m².h.

No interior do isolante, o fluxo de calor pode ser equacionado matematicamente pela Lei de Fourier:

$$Q_{cd} = \frac{K(ti - tff)}{e}$$

onde Q_{cd} = fluxo por condução (interior do isolante) em Kcal/m².h.
 ti = temperatura interna (operação), °C
 tff = temperatura da face fria, °C
 e = espessura do isolante, em metros

Da face fria para o ambiente o fluxo de calor se dá por radiação e por convecção ($Q_r = Q_{cv}$) e pode ser assim equacionado:

$$Q_r = 4,96 E \cdot \left[\left(\frac{tff + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{ta + 273}{100} \right)^4 \right] \quad \text{(Lei de Stefan Boltzman)}$$

$$Q_{cv} = 1,67 (tff - ta)^{5/4} \cdot \sqrt{\frac{0,28 \cdot v + 1,26}{1,26}} \quad \text{(Lei de Langmuir)}$$

onde:

Qr = parcela do fluxo devido a radiação em Kcal/m².h
Qcv = parcela do fluxo devido a radiação, em Kcal/m².h
E = Emissividade do revestimento
ta = temperatura ambiente, °C.
v = velocidade do ar, m/s

O programa C.680 é interativo.

Atribui um valor a tff, calcula Qcd e calcula Qr + Qvc, comparando os resultados. Se os valores forem diferentes, o programa reinicia os cálculos com novo valor de tff e o processo se repete até que seja encontrado um valor de tff que satisfaça a equação

$$Qcd = Qr + Qcv$$

o o

Superfícies cilíndricas

$$qcd = (qr + qcv) \cdot \pi \cdot de$$

$$qcd = \frac{2K \cdot \pi (ti - tff)}{\ln \frac{de}{di}}$$

$$qr = 4,96 E \cdot \left[\left(\frac{tff + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{ta + 273}{100} \right)^4 \right]$$

$$qcv = 1,67 (tff - ta)^{5/4} \cdot \sqrt{\frac{0,28 \cdot v + 1,26}{1,26}}$$

onde:

qcd = fluxo de calor por condução (interior do isolante) em Kcal/m.h.
qr = parcela do fluxo devido a radiação Kcal/m.h.
ln = logaritmo neperiano
de = diâmetro externos, após o isolamento (di + 2.e), em metros
di = diâmetro externo da tubulação, metros
K = condutividade térmica do isolante térmico, em KcalEm.h.°C

TABELA II

Espesura do isolante em polegadas	Ø nom. = 4"		Ø ext. = 114 mm		q = perda de calor, em kcal/m.h. tff = temperatura da face fria, em °C										veloc. ventos = 0 m/s temp. ambiente = 25°C				revestimento = Alumínio													
	Emissividade da sup. da tubulação = 0,85																ISOLANTE : ISOTUBO OCFIBRAS								emissividade = 0,2							
	100		150		200		250		300		350		400		450		500		550		600		650		700		750					
q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		
0	305		614		1017		1532		2178		2981		3965		5161		6598		8311		10335		12709		15472		18668					
1"	33	40	60	50	92	61	130	73	175	85	225	99	285	114	354	131	435	148	528	168	636	189	761	212	907	237	1076	263				
1 1/2"	25	36	47	44	71	53	101	62	135	72	174	83	221	95	274	108	336	160	408	138	492	155	589	174	701	194	832	215				
2"	20	33	38	39	58	45	82	52	109	59	141	67	178	76	221	86	271	96	329	108	396	121	474	136	564	151	669	168				
2 1/2"	18	32	32	36	50	42	70	47	94	54	122	60	153	68	190	76	233	85	283	95	341	107	408	119	486	132	576	147				
3"	16	31	29	34	45	39	62	43	84	49	109	54	137	61	170	67	208	75	253	83	304	93	364	103	434	114	515	127				
3 1/2"	14	30	26	33	41	37	56	41	76	46	98	50	124	56	154	62	188	69	228	76	275	85	329	94	392	104	465	115				
4"	13	29	24	32	38	36	52	39	71	43	91	47	115	52	143	57	175	53	212	70	256	77	306	86	364	94	432	106				
4 1/2"	13	29	23	32	35	34	48	37	65	41	84	45	106	49	132	54	162	59	197	66	237	72	284	80	338	88	401	97				
5"	12	28	22	31	33	33	46	36	62	39	80	43	101	47	125	51	154	56	187	62	225	68	269	74	321	82	380	90				
5 1/2"	11	28	20	30	31	33	44	35	58	38	75	41	96	45	118	49	145	53	176	59	212	64	254	70	302	77	358	85				
6"	10	27	19	29	29	32	42	34	56	37	72	40	92	43	114	47	139	51	169	56	204	61	244	67	290	73	344	80				
6 1/2"	10	27	19	29	28	32	40	34	54	36	69	39	88	42	109	45	133	49	161	54	194	58	232	64	277	69	328	76				
7"	9	27	18	29	27	31	39	33	52	35	67	38	85	41	105	44	129	47	156	52	188	56	225	61	268	66	317	72				
7 1/2"	9	27	17	28	27	30	37	32	50	34	64	37	82	40	101	43	124	45	155	50	180	54	216	59	257	63	304	69				
8"	9	27	16	28	26	30	36	32	49	34	62	36	79	39	96	42	120	44	145	48	175	52	210	57	250	61	296	67				

Espesura do isolante em polegadas	Ø nom. = 4"		Ø ext. = 114		q = perda de calor, em kcal/m.h. tff = temperatura da face fria, em °C										veloc. ventos = 0 m/s temp. ambiente = 25°C				revestimento = Emulsão												
	emissividade = 0,9																														
	100		150		200		250		300		350		400		450		500		550		600		650		700		750				
q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		q		tff	
0	305		614		1017		1532		2178		2981		3965		5161		6598		8311		10335		12709		15472		18668				
1"	36	34	65	41	99	48	139	56	186	64	241	73	304	83	377	94	463	106	563	118	678	132	812	147	968	162	1150	179			
1 1/2"	27	31	49	37	75	42	106	48	142	55	184	62	232	69	287	78	353	87	429	97	516	109	618	120	736	133	874	147			
2"	22	29	39	33	60	37	85	41	113	46	146	51	184	56	228	63	280	69	340	77	409	86	489	94	582	104	691	116			
2 1/2"	18	28	33	31	51	34	73	38	97	42	125	46	157	51	195	56	240	62	291	69	350	76	419	83	498	92	592	102			
3"	16	27	30	30	46	32	65	35	86	38	112	42	140	46	174	50	213	55	258	61	311	66	372	73	443	80	526	88			
3 1/2"	14	27	27	29	42	31	58	33	77	36	100	39	126	43	156	47	192	51	233	56	280	61	335	67	399	73	438	80			
4"	13	27	25	28	39	30	54	32	72	35	93	37	117	41	145	44	178	47	216	52	260	56	311	61	370	67	439	73			
4 1/2"	12	27	23	28	36	30	50	32	66	33	86	35	108	39	135	41	165	45	200	49	241	52	288	57	342	62	406	68			
5"	12	26	22	27	34	29	47	31	63	32	82	34	103	37	128	39	156	43	189	46	228	49	273	54	324	58	384	63			
5 1/2"	11	26	20	27	32	29	45	31	59	32	77	34	97	35	120	38	147	41	178	44	215	47	257	51	305	55	362	60			
6"	10	26	19	27	30	28	43	29	57	31	74	33	93	34	115	37	141	39	171	42	206	45	246	49	293	53	347	57			
6 1/2"	9	26	18	27	29	28	41	29	54	31	70	32	89	34	109	36	134	38	163	40	196	43	234	47	279	50	331	54			
7"	9	26	18	26	28	27	39	28	52	30	68	31	86	33	106	35	130	37	158	39	189	42	227	45	270	48	320	52			
7 1/2"	9	26	17	26	27	27	37	28	50	30	65	31	83	33	102	34	125	36	151	38	182	40	217	43	259	46	307	50			
8"	9	25	17	26	26	27	36	28	49	29	63	31	80	32	99	33	122	35	147	37	177	39	211	42	252	45	298	48			

TABELA III

Espesura do isolamento em polegadas	q = perda de calor, em kcal/m.h. tff = temperatura da face fria, em °C										veloc. ventos = 0 m/s temp. ambiente = 25°C				revestimento = Alumínio													
	Emissividade da sup. da tubulação = 0,85										ISOLANTE : ISOTUBO OCFIBRAS				emissividade = 0,2													
	100		150		200		250		300		350		400		450		500		550		600		650		700		750	
	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff
0	450		905		1500		2257		3210		4393		5844		7605		9724		12248		15231		18729		22801		27511	
1"	45	41	82	52	127	63	179	76	240	89	311	104	393	119	488	137	599	156	728	176	877	198	1049	222	1250	248	1483	276
1 1/2"	34	37	63	46	97	55	137	65	183	75	237	87	300	95	372	114	457	129	555	145	668	163	800	183	953	204	1130	227
2"	27	34	50	40	78	47	109	54	145	62	188	71	238	86	295	91	362	102	440	115	529	129	634	144	755	161	895	179
2 1/2"	23	32	43	38	66	43	93	50	124	56	160	64	202	72	251	81	308	90	374	102	450	114	539	127	643	142	762	158
3"	21	31	38	36	59	40	82	46	110	51	142	57	179	64	222	72	273	79	331	89	398	99	476	111	568	123	673	137
3 1/2"	19	30	34	34	53	38	73	43	98	48	127	53	160	59	201	66	244	73	296	81	356	91	427	101	508	112	603	124
4"	17	29	32	33	49	37	68	41	91	45	117	49	148	55	184	61	225	67	273	74	329	83	394	92	468	101	556	112
4 1/2"	16	29	29	32	45	35	62	39	84	43	108	47	136	52	169	57	207	63	251	70	302	77	362	85	431	94	511	104
5"	15	28	28	31	42	34	59	37	79	41	102	45	129	49	159	54	195	59	237	66	285	72	341	79	407	87	482	97
5 1/2"	14	28	25	31	40	34	55	37	74	39	95	43	120	47	149	51	183	56	222	62	267	68	319	75	381	82	451	91
6"	13	28	24	30	38	33	52	36	71	38	91	42	115	46	142	49	175	54	212	59	255	64	305	71	364	78	431	86
6 1/2"	12	27	23	30	36	33	50	35	67	38	86	40	109	44	135	47	166	52	201	56	242	61	289	67	345	74	409	81
7"	12	27	23	29	34	32	49	34	65	37	83	39	105	42	130	46	160	50	194	54	233	59	279	64	332	71	394	77
7 1/2"	11	27	22	29	33	31	47	33	62	36	79	38	101	41	124	44	153	48	185	52	223	57	267	62	317	68	376	74
8"	11	27	21	29	32	31	45	33	59	35	77	37	98	40	121	43	148	47	180	51	216	55	259	60	308	65	365	71

Espesura do isolamento em polegadas	q = perda de calor, em kcal/m.h. tff = temperatura da face fria, em °C										veloc. ventos = 0 m/s temp. ambiente = 25°C				revestimento = Enxofre													
	Emissividade da sup. da tubulação = 0,85										ISOLANTE : ISOTUBO OCFIBRAS				emissividade = 0,9													
	100		150		200		250		300		350		400		450		500		550		600		650		700		750	
	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff
0	450		905		1500		2257		3210		4393		5844		7605		9724		12248		15231		18729		22801		27511	
1"	49	34	90	42	138	49	194	57	258	66	334	76	422	86	523	98	642	110	780	123	940	137	1127	152	1344	168	1596	186
1 1/2"	37	31	68	37	104	43	146	49	194	56	251	64	317	72	393	82	473	91	585	102	705	113	844	125	1006	139	1194	154
2"	29	29	53	33	82	38	114	42	152	47	196	53	247	59	307	66	376	73	456	81	549	90	656	99	781	110	927	122
2 1/2"	25	29	44	32	69	35	96	39	128	43	166	48	209	53	259	59	318	65	386	72	464	80	555	88	661	97	783	107
3"	22	28	39	31	61	33	85	36	113	39	146	43	184	48	228	52	280	58	339	63	408	70	488	77	581	85	688	93
3 1/2"	20	28	35	30	54	32	75	34	101	37	130	41	165	45	204	49	250	53	302	58	364	64	435	70	518	78	614	85
4"	18	27	33	29	49	31	69	33	93	36	120	39	152	42	188	46	230	49	278	54	335	59	400	64	476	71	565	77
4 1/2"	16	27	30	29	45	30	63	32	85	34	110	37	139	40	172	43	211	46	256	51	308	55	368	60	437	66	519	72
5"	15	26	28	28	43	29	60	31	80	33	104	36	131	38	162	41	198	44	241	48	290	52	347	57	412	62	489	67
5 1/2"	14	26	26	28	41	29	56	31	75	33	97	35	122	37	152	39	185	42	225	46	271	49	324	54	385	59	457	63
6"	13	26	25	27	39	28	54	30	72	32	92	34	117	36	145	38	177	41	215	44	258	47	309	51	368	56	436	60
6 1/2"	13	26	24	27	37	28	51	30	68	32	88	33	110	35	137	37	168	39	203	42	245	45	293	49	349	53	413	57
7"	13	26	23	27	35	28	49	29	66	31	85	32	106	34	132	36	162	38	196	41	236	44	282	47	336	51	398	55
7 1/2"	12	26	22	27	34	28	47	29	63	30	81	32	102	34	126	35	155	38	187	40	225	42	269	45	321	49	380	53
8"	11	26	21	26	33	27	46	28	61	29	78	31	99	33	122	34	150	37	182	39	218	41	261	44	311	47	368	51

TABELA IV

Espesura do isolante em polegadas	Ø nom. = 8"		Ø ext. = 220 mm		q = perda de calor, em kcal/m.h		tff = temperatura da face fria, em °C		veloc. ventos = 0 m/s		temp. ambiente = 25°C		revestimento = Alumínio																			
	Emissividade da sup. da tubulação = 0,85																ISOLANTE : ISOTUBO OCFIBRAS								emissividade = 0,2							
	100		150		200		250		300		350		400		450		500		550		600		650		700		750					
q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		
0	589		1185		1963		2956		4204		5753		7653		9960		12733		16039		19945		24526		29858		36026					
1"	56	42	104	53	160	65	225	78	301	92	390	107	493	123	612	141	751	161	913	182	1100	204	1318	229	1569	255	1861	281				
1 1/2"	43	38	79	47	121	56	171	67	228	78	295	90	373	103	463	117	568	133	691	150	832	169	996	189	1186	211	1407	235				
2"	34	34	62	41	96	48	135	56	180	64	232	73	294	83	364	94	447	106	543	119	653	134	781	150	931	141	1104	187				
2 1/2"	29	33	52	38	81	44	114	51	152	58	196	66	248	74	308	84	378	94	459	106	552	118	660	132	787	147	933	162				
3"	26	32	46	36	72	41	100	47	134	53	173	59	218	66	271	74	332	83	403	93	485	103	580	103	691	128	819	141				
3 1/2"	23	31	41	34	64	39	89	44	119	49	154	55	194	61	241	68	295	76	358	85	431	94	516	105	615	117	729	131				
4"	20	30	38	33	59	37	82	42	109	46	142	51	178	57	221	63	271	70	329	78	396	86	473	96	564	104	669	117				
4 1/2"	19	30	35	33	54	36	75	40	100	44	130	48	163	54	202	59	248	66	301	63	363	80	433	89	516	99	612	109				
5"	18	29	33	32	50	35	70	38	94	42	122	46	153	51	190	56	233	62	283	68	341	75	407	84	485	92	575	101				
5 1/2"	17	29	31	32	47	34	65	37	88	40	113	44	143	49	177	53	217	59	264	64	317	71	379	78	452	86	532	95				
6"	16	28	29	31	45	33	62	36	84	39	108	43	136	47	169	51	207	56	251	61	302	67	361	74	430	81	510	89				
6 1/2"	15	28	27	30	42	33	59	35	79	38	102	42	129	45	159	49	195	54	237	58	285	64	341	70	406	77	482	85				
7"	14	27	26	29	40	32	57	34	76	37	98	41	124	44	153	47	188	52	228	56	274	62	328	67	390	74	463	81				
7 1/2"	13	27	25	29	38	31	54	33	73	36	93	39	118	43	146	46	179	50	217	54	261	59	313	64	372	71	441	77				
8"	13	27	24	29	37	31	52	33	70	36	90	38	114	42	142	45	173	48	210	53	253	57	303	62	361	68	427	74				

Espesura do isolante em polegadas	Ø nom. = 8"		Ø ext. = 220		q = perda de calor, em kcal/m.h		tff = temperatura da face fria, em °C		veloc. ventos = 0 m/s		temp. ambiente = 25°C		revestimento = Emulsão																			
	Emissividade da sup. da tubulação = 0,85																ISOLANTE : ISOTUBO OCFIBRAS								emissividade = 0,9							
	100		150		200		250		300		350		400		450		500		550		600		650		700		750					
q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		q		tff		
0	589		1185		1963		2956		4204		5753		7653		9960		12733		16039		19945		24526		29858		36026					
1"	62	35	114	42	174	50	245	58	326	68	421	77	532	88	660	100	810	112	984	126	1186	141	1421	156	1695	172	2013	190				
1 1/2"	46	32	85	38	130	44	182	50	243	58	316	65	396	74	491	83	603	93	731	104	882	117	1055	129	1258	142	1493	158				
2"	36	30	66	34	101	38	141	43	188	48	242	54	306	61	379	67	465	75	563	83	679	93	812	103	967	113	1147	126				
2 1/2"	30	29	56	32	85	36	119	40	158	44	203	49	257	55	318	60	390	51	473	74	570	82	682	91	811	100	963	111				
3"	26	28	49	31	74	34	104	37	139	41	178	44	225	49	278	54	341	59	414	66	497	72	596	79	708	88	840	97				
3 1/2"	23	28	43	30	65	32	92	35	123	39	158	41	199	46	247	50	302	55	367	61	441	66	528	73	628	80	744	83				
4"	22	27	39	29	60	31	84	34	112	37	145	39	182	43	226	47	277	51	336	56	404	61	483	67	575	73	681	81				
4 1/2"	19	27	35	29	55	31	77	33	102	35	132	38	166	41	207	44	251	48	307	52	369	57	441	62	525	68	623	75				
5"	18	26	33	28	52	30	72	32	96	34	124	37	156	39	194	42	237	46	298	49	346	54	414	58	492	64	583	71				
5 1/2"	17	26	30	28	48	30	67	32	90	33	115	35	146	38	181	41	221	44	268	47	322	51	386	55	458	60	543	68				
6"	16	26	29	27	46	29	64	31	86	32	110	34	139	37	172	39	213	42	255	45	307	49	367	53	436	57	516	62				
6 1/2"	15	26	28	27	43	29	60	31	80	32	103	34	130	35	162	38	198	40	240	43	289	47	346	51	411	55	482	60				
7"	15	26	27	27	41	28	58	29	77	31	99	33	125	34	155	37	190	39	231	42	278	45	332	49	395	53	468	57				
7 1/2"	14	26	26	27	39	28	55	29	73	31	95	33	119	34	148	36	181	38	219	41	265	43	316	47	376	51	446	53				
8"	13	26	25	27	36	28	53	29	71	30	92	32	115	33	143	35	175	37	212	40	256	42	306	46	364	49	431	53				

TABELA V

Espesura do isolante em polegadas	Ø nom. = 10"		q = perda de calor, em kcal/m.h.		veloc. ventos = 0 m/s		temp. ambiente = 25°C		revestimento = Alumínio																						
	Ø ext. = 273 mm		tff = temperatura da face fria, em °C		emissividade = 0,2																										
	Emissividade da sup. da tubulação = 0,85																ISOLANTE : ISOTUBO QCFIBRAS														
	100		150		200		250		300		350		400		450		500		550		600		650		700		750				
	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff			
0	731		1471		2436		3668		5217		7138		9496		12359		15801		19903		24750		30434		37052		44705				
1"	68	42	126	54	194	66	273	79	366	94	473	109	599	126	744	144	913	164	1109	209	1336	209	1600	234	1906	261	2262	289			
1 1/2"	52	38	95	48	146	57	206	68	276	80	356	92	451	106	560	120	687	136	834	154	1005	173	1203	194	1432	217	1700	240			
2"	41	35	75	42	115	49	162	57	216	66	279	75	352	86	437	97	536	109	651	123	784	138	938	154	1117	173	1324	192			
2 1/2"	34	33	63	39	97	45	136	52	182	60	234	68	296	77	367	87	451	97	547	109	659	122	788	136	939	153	1113	170			
3"	30	32	56	37	85	42	119	48	159	54	205	61	259	68	321	77	394	86	478	96	576	107	688	119	820	133	973	148			
3 1/2"	26	31	49	35	75	40	105	45	141	50	182	57	229	63	285	71	349	79	423	88	510	98	621	109	726	121	861	135			
4"	24	30	45	34	69	38	96	42	129	47	166	53	210	58	261	65	319	72	387	80	466	89	557	99	664	110	787	122			
4 1/2"	22	30	42	33	63	37	87	40	117	45	151	50	191	55	237	61	291	68	353	75	424	83	508	92	605	102	718	113			
5"	21	29	39	32	59	36	82	39	110	43	142	47	179	52	222	58	272	64	331	71	397	78	476	86	566	95	672	105			
5 1/2"	20	29	36	32	55	35	76	38	102	41	132	45	166	50	206	55	253	61	307	67	369	73	442	81	526	89	624	99			
6"	19	28	34	31	52	34	73	37	97	40	125	44	158	48	196	53	241	58	291	63	351	69	420	77	500	84	592	93			
6 1/2"	17	28	32	31	49	33	69	36	91	39	118	42	149	46	184	51	226	55	274	60	330	66	395	73	470	80	558	88			
7"	16	28	30	30	47	32	66	35	88	38	113	41	143	45	177	49	217	53	263	58	317	64	379	70	451	77	535	84			
7 1/2"	15	27	29	29	45	32	62	34	84	37	107	40	136	43	168	47	206	51	250	56	301	61	360	67	429	74	508	80			
8"	15	27	28	29	43	32	60	34	81	36	104	39	131	42	162	46	199	50	241	54	291	59	348	64	414	71	491	77			

Espesura do isolante em polegadas	Ø nom. = 10"		q = perda de calor, em kcal/m.h.		veloc. ventos = 0 m/s		temp. ambiente = 25°C		revestimento = Enulsão																						
	Ø ext. = 273		tff = temperatura da face fria, em °C		emissividade = 0,9																										
	Emissividade da sup. da tubulação = 0,85																ISOLANTE : ISOTUBO QCFIBRAS														
	100		150		200		250		300		350		400		450		500		550		600		650		700		750				
	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff			
0	731		1471		2436		3668		5217		7138		9496		12359		15801		19903		24750		30434		37052		44705				
1"	76	35	139	43	212	51	298	59	397	68	513	79	648	89	805	102	987	114	1200	128	1447	143	1734	158	2067	175	2455	193			
1 1/2"	56	32	103	38	157	45	221	51	294	58	380	67	479	75	277	85	730	95	887	106	1068	118	1280	131	1524	145	1809	160			
2"	43	30	79	34	121	39	170	44	226	49	291	55	367	62	456	69	559	77	678	85	816	94	977	105	1163	116	1379	128			
2 1/2"	36	29	66	32	101	36	142	40	189	45	243	50	307	56	381	62	467	69	566	76	682	84	815	93	971	103	1151	113			
3"	32	28	58	31	88	34	123	37	165	41	212	46	267	50	331	55	406	61	492	67	592	74	708	82	843	90	999	99			
3 1/2"	28	28	51	30	78	33	108	35	145	39	187	43	236	47	292	51	358	56	434	62	522	68	624	75	743	83	881	91			
4"	26	27	46	29	71	32	99	34	132	37	171	40	215	44	267	48	326	52	396	57	476	63	569	69	677	76	803	83			
4 1/2"	23	27	42	29	64	31	90	33	120	35	155	38	196	42	243	45	297	49	360	54	433	59	518	64	616	71	730	77			
5"	22	27	39	28	60	30	85	32	112	34	145	37	183	40	227	43	278	47	337	51	404	55	484	60	576	66	682	72			
5 1/2"	20	27	36	28	56	30	78	32	104	34	135	36	170	38	210	41	258	45	312	48	375	52	449	57	534	62	633	68			
6"	19	26	35	27	53	29	74	31	99	33	128	35	161	37	199	40	245	43	296	46	356	50	426	54	506	59	600	64			
6 1/2"	18	26	32	27	50	29	70	30	93	32	120	34	151	36	187	39	230	41	278	44	335	48	401	52	476	56	564	61			
7"	17	26	31	27	48	28	67	29	89	31	115	33	145	35	180	38	220	40	267	43	321	46	384	50	457	54	541	59			
7 1/2"	16	26	30	27	45	28	64	29	85	31	109	33	138	35	171	37	209	39	254	42	305	44	365	48	433	52	514	56			
8"	16	26	29	27	44	28	62	29	82	31	105	32	133	34	165	36	202	38	245	41	294	43	352	47	418	51	496	54			

TABELA VI

Espesura do isolante em polegadas	ϕ nom. = 12" q = perda de calor, em kcal/m.h. veloc. ventos = 0 m/s ϕ ext. = 325 mm tff = temperatura da face fria, em °C temp. ambiente = 25°C												revestimento = Alumínio																	
	Emissividade da sup. da tubulação = 0,85												ISOLANTE : ISOTUBO OCFIBRAS				emissividade = 0,2													
	100		150		200		250		300		350		400		450		500		550		600		650		700		750			
	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff		
0	870	1751	2900	4367	6210	8498	11305	14713	18811	23694	29464	36231	44109	53220																
1"	79	43	147	54	234	67	318	81	426	96	552	111	697	128	867	147	1063	167	1292	189	1557	213	1865	238	2222	265	2636	294		
1 1/2"	60	39	111	48	170	58	239	69	320	81	414	94	523	107	650	123	796	139	967	157	1166	177	1396	198	1663	221	1973	245		
2"	45	35	87	42	133	50	187	58	249	67	322	77	407	87	505	99	619	112	751	126	906	141	1084	158	1291	177	1531	197		
2 1/2"	40	33	72	39	111	46	157	53	209	61	270	69	341	78	423	88	519	100	630	112	759	125	908	140	1081	156	1282	174		
3"	35	32	63	37	97	43	137	48	182	55	235	62	298	69	369	78	452	88	549	98	661	109	791	122	941	136	1116	152		
3 1/2"	31	32	56	35	86	40	121	45	161	51	208	58	262	64	326	72	399	81	484	90	583	100	697	112	830	124	984	138		
4"	28	31	51	34	79	38	110	43	147	48	190	54	239	60	297	67	364	74	441	82	531	92	635	102	757	113	897	125		
4 1/2"	25	30	46	33	72	37	100	41	134	46	172	51	217	56	270	63	331	69	401	77	483	85	577	95	688	105	815	116		
5"	23	29	43	32	67	36	94	39	125	44	161	48	203	53	252	59	309	65	374	72	451	79	539	88	642	98	761	108		
5 1/2"	22	29	41	32	62	35	87	38	116	42	150	46	188	51	233	56	286	62	347	68	418	75	500	83	595	92	706	102		
6"	21	28	39	31	59	34	82	37	110	41	142	44	178	49	221	54	271	59	329	65	397	71	474	79	564	87	669	96		
6 1/2"	20	28	36	31	55	34	77	37	103	39	133	43	168	47	208	52	255	56	309	62	373	69	446	75	530	83	628	91		
7"	19	28	34	30	52	33	74	36	99	38	128	42	161	46	199	50	244	54	296	59	357	66	427	72	507	79	601	87		
7 1/2"	18	27	33	29	50	32	71	35	93	37	121	41	152	44	189	48	231	52	281	57	338	63	405	69	480	76	570	83		
8"	17	27	32	29	48	32	68	34	90	37	116	40	147	43	182	47	223	51	271	56	326	61	390	66	463	73	549	79		

Espesura do isolante em polegadas	ϕ nom. = 12" q = perda de calor, em kcal/m.h. veloc. ventos = 0 m/s ϕ ext. = 325 tff = temperatura da face fria, em °C temp. ambiente = 25°C												revestimento = Emulsão																	
	Emissividade da sup. da tubulação = 0,85												ISOLANTE : ISOTUBO OCFIBRAS				emissividade = 0,9													
	100		150		200		250		300		350		400		450		500		550		600		650		700		750			
	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff	q	tff		
0	870	1751	2900	4367	6210	8498	11305	14713	18811	23694	29464	36231	44109	53220																
1"	89	35	162	43	248	60	348	60	464	69	599	79	758	91	940	103	1154	116	1402	129	1691	144	2027	161	2417	177	2871	195		
1 1/2"	65	32	120	38	183	45	257	52	343	59	442	67	559	76	693	86	850	97	1031	108	1243	120	1489	134	1775	147	2106	163		
2"	50	30	92	34	140	39	197	44	262	49	337	56	426	62	528	70	647	78	784	87	945	96	1131	107	1347	118	1697	131		
2 1/2"	41	29	76	32	117	36	164	41	218	45	281	51	354	56	439	63	538	70	652	77	786	86	940	95	1119	105	1327	116		
3"	36	28	66	31	102	34	142	38	189	42	244	46	307	51	380	56	466	62	565	68	680	76	813	83	968	92	1148	111		
3 1/2"	32	28	58	30	89	33	124	36	166	39	214	43	270	47	334	52	409	57	496	63	598	70	714	76	851	88	1009	92		
4"	29	27	53	29	81	32	113	34	151	37	195	41	245	44	304	48	372	53	451	64	543	64	649	70	773	77	916	84		
4 1/2"	26	27	48	29	74	31	103	33	137	36	177	39	223	42	276	46	335	50	409	55	493	60	589	66	701	72	831	78		
5"	25	27	45	28	69	30	96	32	128	35	165	37	208	41	258	44	315	48	382	52	460	56	549	62	653	67	775	73		
5 1/2"	23	27	41	28	63	30	89	32	118	34	153	36	192	39	238	42	291	46	352	49	426	53	508	59	605	64	717	69		
6"	22	26	39	28	60	29	84	31	112	33	145	35	182	38	225	41	276	44	334	47	403	51	481	56	573	61	679	66		
6 1/2"	20	26	36	27	56	29	79	31	105	33	135	34	170	37	211	39	259	41	313	45	378	49	451	53	537	58	637	63		
7"	19	26	35	27	54	28	76	30	100	32	129	33	163	36	202	38	248	41	300	44	361	47	432	51	513	56	609	60		
7 1/2"	18	26	33	27	51	28	72	30	95	32	123	33	154	35	192	37	235	40	284	42	342	45	409	49	486	54	577	58		
8"	17	26	32	27	49	28	65	29	92	31	119	32	149	34	185	36	226	39	274	41	330	44	394	48	469	52	556	56		