

Filtração da queima de biomassa em caldeira

Indicar os principais pontos de controle para filtração de particulados da queima de biomassa em caldeiras industriais, que utilizam mangas filtrantes de fibra de vidro com membrana PTFE Expandida. Pode ser considerada biomassa todo recurso renovável que provêm de matéria orgânica - de origem vegetal ou animal - tendo por objetivo principal a produção de energia. Dentro destes podemos destacar: lenha, serragem, casca de arroz, casca de amendoim, casca de coco, pinhão, bagaço de cana, bagaço de azeitona, carvão, capim-elefante, resíduos agrícolas, aterros sanitários e alguns tipos de esgotos.

Combustão de biomassa

A combustão representa a tecnologia mais utilizada na produção de calor, através da utilização de caldeiras, associadas a elevadas taxas de eficiência energética. Países da União Europeia usam biomassa para 4% do abastecimento de energia. A Finlândia e a Suécia lideram o ranking com a biomassa, respondendo entre 16% e 20% de seu abastecimento de energia.

O combustível de biomassa está sendo adicionado as usinas de eletricidade movidas a carvão. Esse processo é chamado de

co-combustão, pois utiliza dois combustíveis. A co-combustão funciona com todos os diferentes tipos de caldeiras de carvão. As caldeiras precisam apenas de pequenos ajustes para tirar o máximo de proveito da biomassa. O processo mais eficiente adiciona combustível de biomassa depois que o carvão é pulverizado.

Apesar da alta variabilidade associada às propriedades da biomassa, esta difere consideravelmente de combustíveis como o carvão, em parâmetros como a sua composição orgânica e inorgânica, no conteúdo energético e nas características físicas. Na tabela abaixo apresentam-se valores médios relativos as diversas propriedades físicas e químicas encontradas em combustíveis de biomassa e carvão.

O processo de combustão da biomassa integra um complexo conjunto de reações, habitualmente enquadradas em quatro fases distintas: secagem, pirólise, gaseificação e combustão (resíduo carbonoso e produtos gasosos). Em linhas gerais, no decorrer do processo de combustão, a biomassa começa por perder o seu teor de umidade (H_2O), utilizando energia térmica liberada por outros dos seus componentes. Após a secagem a liberação de monóxido de carbono (CO) e de compostos voláteis (numa primeira

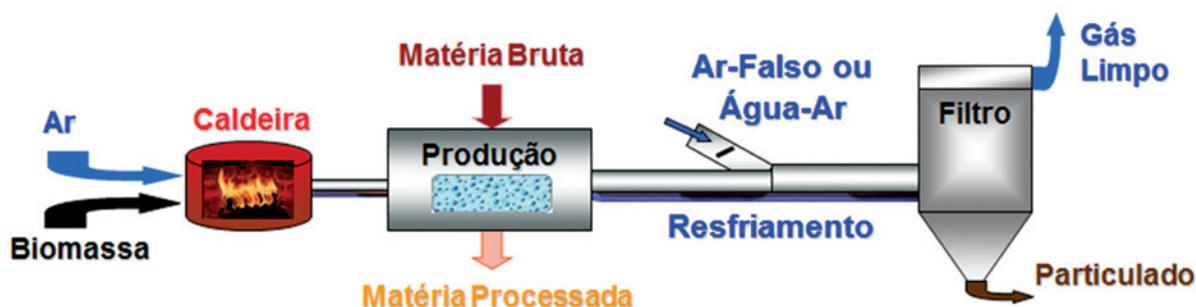


Figura 1 - Caldeira com biomassa e sistema de filtração de particulados

Propriedade	Biomassa	Carvão
Densidade do combustível (kg/m ³)	500	1300
C [% (m/m) bs - combustível]	42 - 54	65 - 85
O [% (m/m) bs - combustível]	35 - 45	2 - 15
S [% (m/m) bs - combustível]	Max 0,5	0,5 - 7,5
SiO ₂ [% (m/m) bs cinzas]	23 - 49	40 - 60
K ₂ O [% (m/m) bs cinzas]	4 - 48	2 - 6
Al ₂ O ₃ [% (m/m) bs cinzas]	2,4 - 9,5	15 - 25
Fe ₂ O ₃ [% (m/m) bs cinzas]	1,5 - 8,5	8 - 18
Temperatura de Ignição (°C)	145 - 153	217 - 322
Friabilidade	Baixa	Elevada
Poder calorífico (MJ/kg)	14 - 21	23 - 28

fase metano – CH₄ e outros carbonetos leves posteriormente, com o aumento da temperatura, espécies de maior massa, como os alcatrões - SO_x). Num processo de combustão estes gases podem representar cerca de 70% do poder calorífico associado à biomassa. O processo finaliza com a oxidação do resíduo carbonoso e a retenção das cinzas. A título de exemplo na figura 2, é representada a perda de massa em função do tempo durante a combustão de biomassa. Na tabela apresentam-se os principais fenômenos associados às diferentes fases.

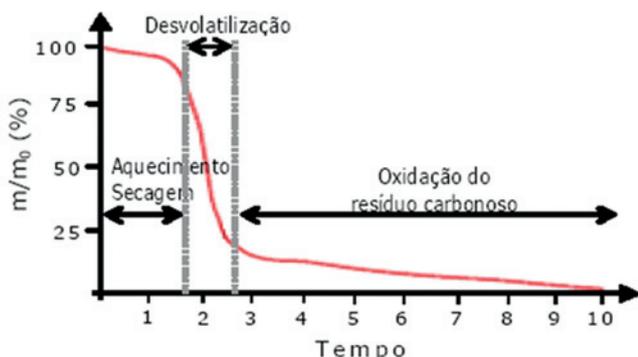
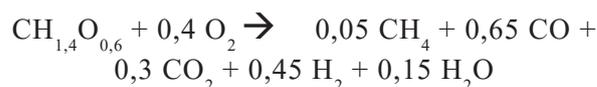


Figura 2 - Perda de massa em função do tempo durante combustão de biomassa

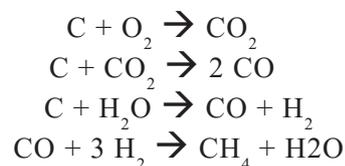
Controle da combustão

A quantidade estequiométrica de ar para a combustão completa de biomassa seca, com composição típica CH_{1,4}O_{0,6} é aproximadamente 6 kg de ar/kg de biomassa.

Para a gaseificação existe uma quantidade ideal de ar que produz somente CO e H₂, que é ao redor de 20% da estequiométrica, ou seja, 1,2 kg de ar/kg de biomassa. Contudo, essa reação é endotérmica, sendo necessária uma fonte externa de calor para completar a reação. Tipicamente, utiliza-se uma quantidade maior de ar, que fornece calor ao queimar-se com a biomassa. A reação química de um processo de gaseificação é representada abaixo, obtendo um poder calorífico da ordem de 5.500 kJ/Nm³, considerando o nitrogênio presente no ar.



No entanto, a gaseificação ocorre em etapas, de acordo com o tipo de gaseificador. As principais reações químicas que são desenvolvidas em cada etapa são apresentadas. Alguns modelos matemáticos têm conseguido prever quais reações irão ocorrer e controlar o processo, porém, na realidade não se conhece exatamente o que acontece no interior de um gaseificador.



A composição típica do gás produzido na gaseificação é mostrada na tabela:

Composto	% em volume
Monóxido de carbono - CO	21,0
Dióxido de carbono - CO ₂	9,2
Hidrogênio - H ₂	14,5
Vapor d'água - H ₂ O	4,8
Metano - CH ₄	1,6
Nitrogênio - N ₂	48,4

Secagem	Pirólise	Gaseificação	Combustão
Evaporação da umidade presente no combustível, por recurso à energia libertada no processo de combustão.	Degradação térmica (desvolatilização) do combustível na ausência de um agente oxidante externo	Degradação térmica (desvolatilização) do combustível na presença de um agente oxidante externo em quantidade insuficiente para que se dê uma oxidação completa	Oxidação completa do combustível
Diminuição de temperatura na câmara de combustão*	Libertação de compostos voláteis	Oxidação do resíduo carbonoso com CO ₂ ou H ₂ O	Oxidação dos produtos gasosos resultantes da pirólise e gaseificação
	Produção de alcatrão, resíduo carbonoso e gases de baixo peso molecular	A gaseificação pode ocorrer na presença de ar, oxigênio, vapor ou CO ₂ enquanto agentes oxidantes	Queima das partículas de resíduo carbonoso formadas durante a pirólise e gaseificação
	Formação de CO e CO ₂ em combustível ricos em oxigênio		

* Combustíveis com teores de umidade, superiores a 60% (m/m) em base úmida, podem comprometer o processo de combustão

Filtração de particulados

Os princípios da filtração de particulados de biomassa são fundamentados em função dos efeitos químicos que os materiais de mangas filtrantes e gaiolas sofrem nos filtros de mangas.

Umidade

Para alguns tipos de elementos filtrantes (poliéster/PE e poliamida aromática/NO) um elevado teor de umidade ou vapor d'água na corrente gasosa, próximo de 10% em volume, acarreta em ataque químico por hidrólise (material rasga facilmente, perde resistência), independente se esta umidade estiver na forma gasosa ou condensada. Contudo, na forma condensada, esta umidade ainda pode aglomerar o particulado resultando em entupimento, independente do tipo de elemento filtrante utilizado.

Por estas razões se faz necessário uma operação em condições secas para obtenção de um mínimo de desempenho no filtro de mangas. Portanto, o controle da condensação de água é realizado pelo ponto de orvalho da água, que é a temperatura acima da qual não é mais possível ocorrer a condensação, conforme figura 3. Recomenda-se manter temperatura mínima de 20°C acima do maior ponto de orvalho calculado, respeitando o limite operacional máximo do elemento filtrante. Por exemplo, se o ponto de orvalho é 72°C, então operar acima de 92°C.

Os efeitos da umidade também ocorrem nas

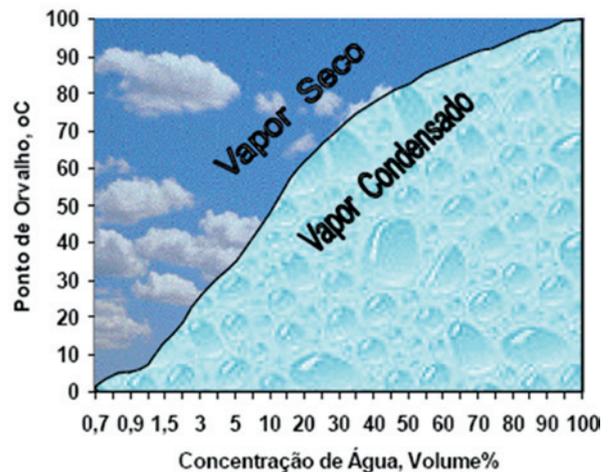
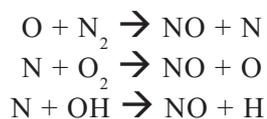


Figura 3 - Curva do ponto de orvalho da água na pressão atmosférica

gaiolas galvanizadas. Estas sofrem processo oxidativo, deixando os anéis e longarinas com superfície áspera, devido à ferrugem. Em geral, os efeitos nos elementos filtrantes é ocorrerem rasgos, devido ao processo abrasivo de contato, diminuindo o tempo de vida útil das mangas.

Nitração

Em relação ao gás produzido na gaseificação, com geração de Nitrogênio em sua molécula ou se a temperatura da caldeira ultrapassar a 800°C haverá a formação do gás NO (óxido de nitrogênio). O NO térmico é proveniente da oxidação do nitrogênio do ar em altas temperaturas. O mecanismo envolve um conjunto de reações químicas, listadas a seguir:



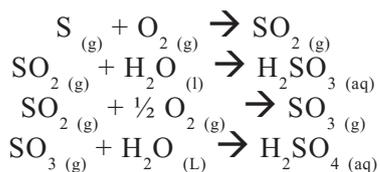
Quando a temperatura dos gases cai para menos de 250°C ocorre reação deste gás NO com o oxigênio residual, gerando então o NO₂ (dióxido de nitrogênio), que ataca pelo mecanismo de Nitração alguns tipos de fibras como polifenilsulfeto/PPS, poliacrilonitrila copolímero/AC e poliacrilonitrila homopolímero/DT. O material da manga perde a resistência mecânica, pela fragilização do não tecido, apresentando rasgos e furos na estrutura do elemento filtrante.

Oxidação

O oxigênio dos gases filtrados pode atacar o elemento filtrante por oxidação dependendo da temperatura de filtração. Por exemplo, mangas com fibras de polifenilsulfeto/PPS apresentam furos e rasgos acima de 10% de oxigênio (em volume) a 180°C, reduzindo 50% da sua vida útil.

Sulfonação e hidrogenação

A queima de biomassa com enxofre (S) resulta na oxidação do mesmo, formando o gás SO₂ (dióxido de enxofre), o qual reage com o oxigênio residual dos gases sujos. Quando a temperatura cai abaixo de 300°C, formado o gás SO₃ (trióxido de enxofre). Devido à forte afinidade por água dos óxidos formados, haverá a formação de ácido sulfuroso (H₂SO₃) e ácido sulfúrico (H₂SO₄). Outra fonte de condensação de ácido é a entrada de ar-falso (ar atmosférico), seja para resfriamento dos gases ou acidental devido a falhas de vedação.



Em presença de SO₃ a pressão de vapor da água é elevada acima da usual, porque há formação de solução de ácido sulfúrico em concentração fumegante. Com isso, a solução assim formada, somente evapora sob temperaturas maiores. Por

esta razão, em presença de SO₃, não existe o ponto de orvalho da água, mas existe somente o ponto de orvalho ácido.

O ponto de orvalho ácido é a temperatura acima da qual não é mais possível a condensação de ácido sulfúrico (H₂SO₄).

Esta névoa de ácido sulfúrico é extremamente danosa, pois ocorre oxidação precoce nas partes metálicas do filtro de mangas, bem como ataca quimicamente todos os materiais de mangas filtrantes por Sulfonação, exceção é a fibra de vidro que resiste quimicamente. A sulfonação reduz drasticamente a resistência mecânica da manga, que apresenta furos e rasgos generalizados quando em operação no equipamento. Geralmente a manga pode ser rasgada com facilidade pelas próprias mãos.

Na figura 4, são apresentadas as curvas do ponto orvalho ácido para três concentrações de água nos gases filtrados, em função da concentração de SO₃ no sistema.

Na prática, recomenda-se uma temperatura

daiwabo
Soluções para filtração líquida que proporciona melhor desempenho e eficiência.

Produtos com tecnologia japonesa

SEKISO
Filtro de dupla camada de filtragem, proporciona maior vida útil dos elementos

MIRACESTER
Filtro de fibras de poliéster resistente a altas temperaturas

WAVESTAR
Filtro absoluto, 99,9% de eficiência e alto desempenho

Yuso
Filtro semi-absoluto, 99% de eficiência com 3 camadas de filtragem

Daiwa do Brasil Ltda
Tel.: (11) 3175-2220
E-mail: contato@daiwabo.com.br
www.daiwabo.com.br

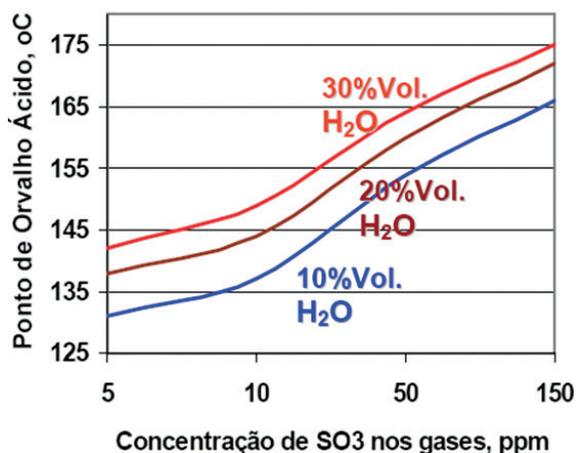


Figura 4 - Curva do ponto de orvalho ácido para concentração de água

mínima operacional de 25°C acima do maior ponto de orvalho ácido calculado ou o suficiente para manter a temperatura na saída do equipamento em 15°C acima deste ponto, respeitando o limite operacional da manga filtrante. Ideal é processo contínuo (sem paradas) em temperatura acima de 145°C, evitando a passagem pela zona de condensação ácida, geralmente entre 115°C a 140°C. Com isso, objetiva-se evitar a condensação não apenas nos gases nas mangas, mas nas chaparias e plenum do filtro.

A formação de ácido sulfúrico tem outro agravante, pois ao reagir com o metal da gaiola há liberação do gás hidrogênio, que, por sua vez, também ataca a manga filtrante por fusão da fibra. Em geral, os efeitos as sulfonação, sendo que, no ataque por hidrogenação é possível rasgar o elemento filtrante somente nas marcas da gaiola, mas não em outras regiões fora destas marcas. Neste tipo de ataque, na maioria dos casos, a manga gruda na gaiola de tal forma que é preciso despedaçá-la para promover a separação.

Neste sentido, na queima de biomassa em caldeiras para alta temperatura é recomendado proteger a gaiola contra a oxidação excessiva usando uma pintura antiácida, tipo epóxi, combinada ou não com o uso de aço-inox 304L ou 316L. As vantagens técnicas são:

Resistência química a ácidos e álcalis;

- Pintura epóxi anti-trinca;
- Impede a oxidação metálica nas gaiolas;
- Melhor performance do meio filtrante (evita rasgos pela oxidação de gaiolas).

Limite térmico de operação

Para cada tipo de manga filtrante existe um limite de temperatura de trabalho e pequenos picos associados. A temperatura de trabalho é a máxima permitida continuamente para a operação no filtro de mangas. Já a temperatura de pico é um desvio térmico permitido, sem afetar a estrutura têxtil da fibra. Por exemplo a fibra de poliacrilonitrila homopolímero/DT, que possui temperatura contínua até 125°C e picos até 140°C. Cada pico poderá ter uma duração máxima de 1 minuto cada, totalizando 15 minutos semanais e/ou 60 minutos mensais.

Na filtração em condições normais até o limite da temperatura contínua de trabalho, a máxima alteração dimensional do não tecido (NBR 14356) pode variar até 1% no encolhimento. Acima disso a manga encolhe e resseca, podendo grudar nas gaiolas, perdendo a condição de filtração. O não cuidado do controle térmico em filtros de mangas causa os seguintes efeitos nas fibras dos não tecidos, identificados na figura 5, bem como a variação da capacidade calorífica da reação.

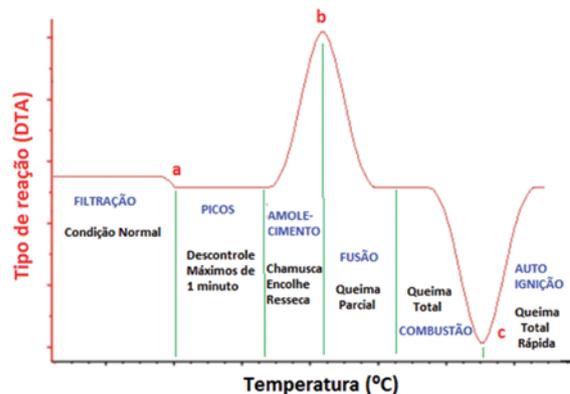


Figura 5 - Curva típica de uma análise térmica diferencial (DTA) em não tecido convencional

Onde: a) Variação da capacidade calorífica; b) Reação exotérmica; c) Reação endotérmica.

A Auto Ignição é a propagação da combustão ao ar atmosférico, em função do LOI (índice limite de oxigênio, % volume O₂) para cada tipo elemento filtrante. O LOI indica a mínima concentração de oxigênio para manter o material queimando após ignição. Para fibra de vidro é praticamente impossível propagar chama ao ar atmosférico, pois tem LOI de 95% (necessita de alta pureza de oxigênio

Propriedades Térmicas	PP	AC	DT	PE	PPS	NO	PI	FV
Filtração (°C)	90	115	125	150	190	200	240	260
Picos (°C)	95	120	140	150	200	220	250	280
Amolecimento (°C)	152	140	149	235	261	252	265	500-700
Fusão (°C)	167	185	190	256	288	260	315	700-900
Combustão (°C)	242	240	245	372	383	370	605	900-1300
Auto Ignição (°C)	420	515	465	508	550	675	760	-
LOI (Vol % O ₂)	19	18	18	21	34	28	36	95

Onde: PP= Polipropileno ; AC= Poliacrilonitrila Copolímero; DT= Poliacrilonitrila Homopolímero; PE= Poliéster; PPS= Polifenilsulfeto; NO= Poliamida Aromática; PI= Poliimida Aromática; FV= Fibra de Vidro.

para continuar queimando após ignição), além de possuir maior temperatura de operação até 260°C e picos de 280°C, comparado com os outros tipos de fibras, conforme tabela acima:

Quadro resumo de aplicações

Mangas de não tecido com fibras convencionais (polipropileno, poliacrilonitrila, poliéster, poli-

fenilsulfeto, poliamida aromática e poliimida aromática) não resistem determinadas condições na filtração de particulados de biomassa. Os principais efeitos na aplicação em filtros de mangas são apresentados conforme os tipos de materiais. A especificação correta é utilizar manga de tecido de Fibra de Vidro com suporte de Membrana PTFE Expandida.

POLIFILTRO, a maior distribuidora com a mais completa linha de filtros do país!



APLICAÇÕES:

- CAMINHÕES
- COLHEITADEIRAS
- MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS
- ÔNIBUS
- TRATORES AGRÍCOLAS
- VEÍCULOS LEVES E UTILITÁRIOS
- CONSTRUÇÃO
- INDUSTRIAL
- GERADORES
- MARÍTIMA
- FERROVIÁRIA



www.polifiltro.com.br - Tel.: 11 2188 5499



Tipo de Manga	Efeitos para Biomassa
Polipropileno/PP	Baixa temperatura de operação
Poliacrilonitrila Copolímero//AC	Baixa temperatura de operação. Sofre nitração e sulfonação
Poliacrilonitrila Homopolímero/DT	Baixa temperatura de operação. Sofre nitração e sulfonação
Poliéster/PE	Sofre hidrólise, sulfonação e hidrogenação
Polifenilsulfeto/PPS	Sofre nitração e oxidação
Poliamida Aromática/NO	Sofre hidrólise e sulfonação
Poliimida Aromática/PI	Sofre hidrólise, oxidação, nitração e sulfonação
Fibra de Vidro/FV	Aplicação ideal = Alta resistência na aplicação

Manga de tecido de fibra de vidro com membrana PTFE expandida

A fibra de vidro é muito resistente quimicamente, mas frágil ao ácido fluorídrico (HF). Como tecido na filtração tem alta resistência à hidrólise, oxidação, aos ácidos e álcalis, portanto, ideal para a filtração de particulados de biomassa.

A laminação da Membrana PTFE Expandida sobre o tecido de fibra de vidro proporciona uma filtração superficial, altamente eficiente na superfície da manga, que suspende a poeira e umidade muito bem, principalmente, para particulados de baixa granulometria. Esta característica impede a eventual migração na profundidade, evitando a subida gradual na resistência através dos filtros, que resultaria em aumento da



Figura 6 - Fibra de vidro com membrana PTFE expandida

pressão diferencial ao longo do tempo.

Os princípios cuidados com mangas de fibra de vidro com membrana PTFE expandida são comentados no manuseio, instalação e controles de operação.

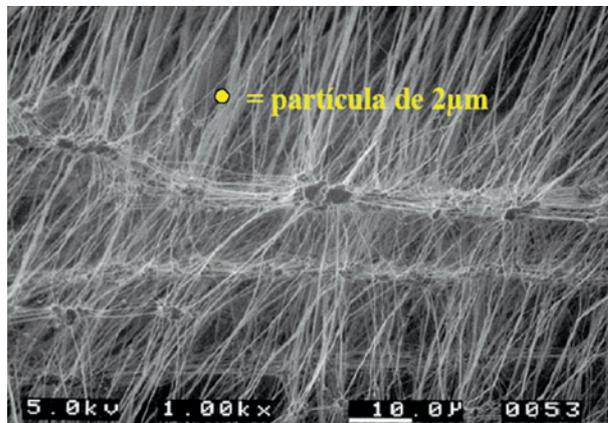


Figura 7 - Estrutura da membrana PTFE

Manuseio das mangas

As mangas de fibra de vidro com membrana PTFE expandida devem ser transportadas e armazenadas nas embalagens originais. Ao serem movimentadas em campo para instalação, devem permanecer nas embalagens originais até o ponto onde serão instaladas. Nunca amarrar as caixas para içamento.

A membrana de PTFE não reflete em impermeabilização de 100% na superfície da manga, pois em poros de fibra de vidro pode ocorrer processo abrasivo, criando aberturas. Porém, visto que a fibra de vidro resiste plenamente a ácidos e hidrólise (é imune à ação da água), não ocorre problema para líquidos da corrente gasosa.

Instalação das mangas

Antes de iniciar a instalação das mangas de fibra de vidro com membrana PTFE expandida é importante que sejam localizadas as luvas de instalação. Uma das embalagens de cada lote de mangas, que é identificada com a palavra “LUVAS” contém luvas de instalação. Esta luva é fabricada com um tecido macio e uma argola de aço que evita a queda pelos orifícios da chapa do espelho. A luva deve ser introduzida no furo da chapa, para proteger a superfície externa da manga do contato direto com as bordas do

furo, no momento da instalação das mangas. Após a introdução completa da manga no furo, a luva deve ser retirada para que seja realizado o devido encaixe do colarinho aço mola à chapa espelho do equipamento.

Instalação das gaiolas

A aplicação de fibra de vidro requer a utilização de gaiolas com 20 longarinas longitudinais, devido ao processo de flexão no momento de limpeza. Assim o maior número de longarinas minimiza o movimento do tecido sobre o metal, evitando a quebra do tecido.

As gaiolas devem ser introduzidas com cuidado nas mangas, evitando movimentos bruscos. As gaiolas não podem estar empenadas, pois podem provocar rasgos. Mangas de fibra de vidro com membrana PTFE devem ficar praticamente justas nas gaiolas, com folga máxima de 0,3 mm para o diâmetro e 0,5 mm no comprimento. A folga excessiva entre manga e gaiola pode acarretar efeito abrasivo pelo contato das longarinas e anéis na manga, originando rompimento do tecido (rasgos e furos).

Pressão, válvulas, ciclo de limpeza

A pressão do ar comprimido de limpeza das mangas de fibra de vidro com membrana de PTFE deve estar entre 4,0 e 4,5 bar. Para válvula de 1" o tempo de abertura deve ser de 120 a 140 milissegundos e para válvula de 1½" de 140 a 160 milissegundos. O tempo entre os pulsos de limpeza devem ser adequados, para proporcionar uma correta perda de carga no sistema. Normalmente para manga de fibra de vidro com membrana PTFE expandia o ciclo de limpeza não é temporizado e sim por demanda de perda de carga, pois os pulsos desnecessários que a manga deixa de receber refletem diretamente no aumento de vida útil. Normalmente, as mangas resistem entre 80.000 a 100.000 pulsos de limpeza. 



Dr. Luciano Peske Ceron

Doutor em Engenharia de Materiais (Filtração/Particulados), Mestre em Polímeros (Não tecidos), Engenheiro Químico, Especialista em Gestão Ambiental. Professor na PUCRS / Engenharia Química.
Tel.: (51) 9972-6534
Email.: luciano.ceron@pucrs.br



Soluções em Filtração Industrial

Filtros para a Indústria Química, Petroquímica, Siderúrgica, Bebidas, Alimentícia, Automobilística, Tratamento de Gases e outras.

Vasos de pressão



Recheios Plásticos



Recheios Metálicos



Filtros Duplex



e-mail: apexfil@apexfil.com.br - PABX (11) 4414-7055

www.apexfil.com.br