



3M Ciência.
Aplicada à vida.™

Benefícios da Tecnologia Contrátil a Frio em Comparação com a Tecnologia Termocontrátil

Autor: Bill Taylor, Engenheiro Aposentado de Desenvolvimento de Produtos da 3M
Pessoa de contato: George Fofeldea, Engenheiro de Aplicação da 3M

Outubro de 2022

Breve Histórico

Os acessórios para cabos contráteis a frio e termocontráteis foram desenvolvidos na década de 1960 devido à introdução de cabos com isolamento de borracha e polietileno. As duas tecnologias usam material reticulável que é expandido e vendido no estado expandido. A tecnologia termocontrátil usa calor para contrair sobre o cabo, e a tecnologia contrátil a frio usa as propriedades mecânicas da borracha que permitem que ela contraia sobre o cabo sem calor externo. Como as duas tecnologias contraem sobre o cabo, elas podem parecer semelhantes, mas suas principais características de desempenho são muito diferentes. Antes de analisarmos com mais detalhes como essas tecnologias funcionam, veremos brevemente a história da 3M com produtos contráteis a frio.

Histórico da Tecnologia Contrátil a Frio da 3M

A 3M não apenas inventou a tecnologia contrátil a frio, como também trabalhou continuamente ao longo de muitas décadas para aprimorar essa tecnologia e ampliar suas capacidades. Nos anos que se seguiram ao desenvolvimento da tecnologia contrátil a frio em 1968, a 3M fez avanços em emendas e terminações contrátil a frio para aplicações de média tensão e 69/72,5 kV.

O sucesso evidente da tecnologia contrátil a frio levou muitas outras empresas a oferecer produtos contráteis a frio. Mas a longa história e a experiência da 3M em produtos contráteis a frio conferem à 3M uma especialização em tecnologia contrátil a frio que outras empresas não possuem quando se trata de desenvolver novos produtos contráteis a frio. Na verdade, muitos dos nossos produtos de média tensão contrátil a frio estão em serviço há mais de 40 anos, o que representa um nível de experiência consolidada.

Índice

Explicação sobre como as tecnologias funcionam	4-6
Vantagens da tecnologia contrátil a frio em relação à termocontrátil	7-8
Dicas e truques de instalação	9
Nem todos os produtos contráteis a frio são iguais	10
Resumo	11
Referências	12

Explicação sobre como as tecnologias funcionam

Vamos analisar com mais detalhes como cada tecnologia funciona, para que possamos entender as diferenças entre a tecnologia termocontrátil e a tecnologia contrátil a frio e como essas diferenças se aplicam ao desempenho.

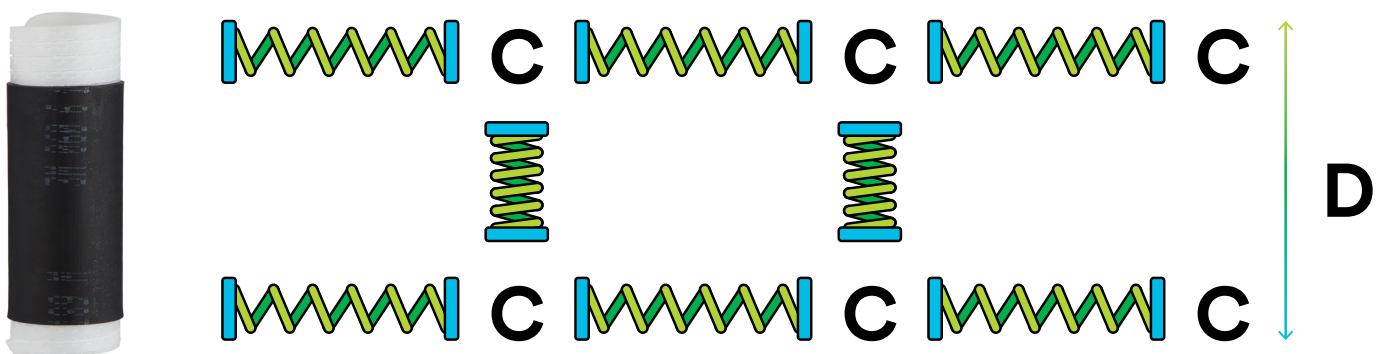
Os produtos contrátil a frio normalmente utilizam materiais de borracha, como silicone ou monômero de etileno-propileno-dieno (EPDM), enquanto os termocontráteis normalmente utilizam materiais mais plásticos, como etileno-acetato de vinila (EVA), fluoreto de polivinilideno Kynar® (PVDF) ou outros tipos de materiais semelhantes. Todos esses materiais são reticuláveis, o que permite que sejam esticados e depois encolhidos de volta ao cabo.

A reticulação desses materiais forma ligações entre as moléculas de cadeia longa, que agem como molas que tentam contrair o material de volta ao seu diâmetro original (ver Figura 1). Na verdade, nenhum dos materiais realmente retornará ao seu diâmetro original, e a distância que eles contraem (acima do diâmetro original) é chamada de deformação permanente do material. Todos os produtos são projetados levando em consideração esta deformação permanente ao fornecer a faixa de aplicação publicada do produto. Tanto para materiais contráteis a frio quanto para materiais termocontráteis, existe um diâmetro mínimo e um diâmetro máximo para cada acessório. O diâmetro mínimo é baseado na deformação permanente do material e o diâmetro máximo é baseado na porcentagem máxima de expansão em aplicação para minimizar a possibilidade de fissuras.

Os materiais termocontráteis possuem regiões cristalinas que mantêm o material rígido. Para fabricar os produtos, o material no estado final (tubo, cone, etc.) é aquecido acima da temperatura de fusão dessas regiões cristalinas, o que permite que o material seja expandido. Uma vez no estado expandido, o produto é resfriado para que as regiões cristalinas se reformem e mantenham o produto expandido. Para instalar os produtos termocontráteis, o produto é aquecido a uma temperatura que funde as regiões cristalinas para que as fixações das reticulações possam funcionar e contrair o produto. Uma vez que o produto é contraído no lugar, o calor é removido e as regiões cristalinas se formam novamente, fazendo com que o produto permaneça em sua última forma contraída. Normalmente, essas regiões cristalinas derretem entre 90 e 110 graus C. Como esses produtos são instalados na parte externa do isolamento do cabo, eles não devem passar por essas temperaturas durante a operação normal.

Por causa das regiões cristalinas, os produtos termocontráteis não exercem pressão interna, pois são contraídos em sua configuração final, e é por isso que os produtos termocontráteis usam mastique e adesivo para fornecer vedações do ambiente. Isso significa que os produtos termocontráteis não se expandem e contraem com o isolamento do cabo, pois ele passa por ciclos de carga. Com o tempo, isso pode causar problemas com acessórios termo contráteis.

Produtos Contráteis a Frio



- Imagine as ligações cruzadas atuando como “molas”
- Todas as ligações moleculares e atômicas são esticadas

Figura 1: Representação simbólica de como as ligações cruzadas atuam como molas

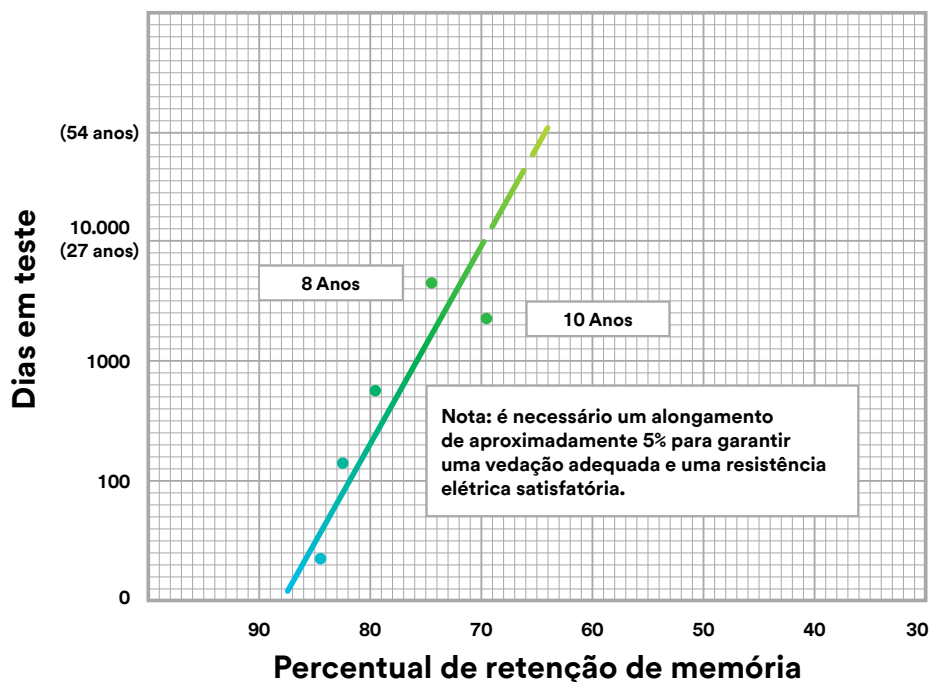


Figura 2: Gráfico do artigo mostrando a projeção da pressão interfacial para Produtos Contráteis a Frio 3M™

Quando um cabo se expande termicamente, o material termocontrátil também se expande, mas devido à rigidez do material termocontrátil e às regiões cristalinas, quando o isolamento do cabo encolhe devido à menor corrente e à temperatura ambiente mais baixa, o material termocontrátil não encolhe junto.

Após aproximadamente 8 a 10 anos, isso pode causar um problema de interface nos acessórios de média tensão. Um cliente utilizou emendas termocontráteis de grande porte em uma aplicação aérea (porque as emendas contráteis a frio não estavam disponíveis em um tamanho que acomodasse seu conector extra longo), mas após 8 anos de serviço, falhas frequentes na forma de descargas elétricas na interface passaram a ocorrer em climas frios.

Os produtos contráteis a frio são diferentes dos produtos termocontráteis, pois os materiais reticulados estão sempre tentando obter um diâmetro menor e, portanto, sempre exercem pressão interna sobre o objeto em que são retraídos. Eles exercem pressão interna sobre o núcleo em que são enviados, de modo que o núcleo deve ser projetado para não colapsar com a pressão interna do produto. Após a remoção do núcleo, o acessório é encaixado no cabo por contração, sem a necessidade de calor ou qualquer outra força externa. Uma vez instalados no cabo, os produtos contráteis a frio são desenvolvidos para fornecer pressão interna por mais de 50 anos, conforme mostrado na Figura 2.

Essa pressão interna permite que os produtos contráteis a frio se expandam e contraíam com o cabo. À medida que o cabo se expande com temperaturas mais altas devido à temperatura ambiente e correntes mais altas, o contrátil a frio se expande para fora, o que aumenta ligeiramente a pressão de interface entre o produto contrátil a frio e o cabo. À medida que o cabo se contraí quando a carga e/ou a temperatura ambiente diminuem, os produtos contráteis a frio também se contraem juntamente com o cabo para manter a alta pressão na interface entre o cabo e o produto. A pressão interna proporciona excelente desempenho elétrico e excelente vedação ambiental, sem o uso de mastiques ou adesivos. Os mastiques podem ser usados para aumentar a faixa de aplicação ou aumentar o diâmetro de um cabo para que fique na faixa de aplicação do produto contrátil a frio, mas não são necessários para obter uma excelente vedação de ambiente.

Todos os motivos mencionados acima explicam por que a 3M recomenda acessórios de cabos contráteis a frio para aplicações de média tensão.



Figura 3: Kit de Terminação 3M™ Contrátil a Frio QT-III Série 7673-S para 69/72,5 kV

Vantagens da Tecnologia Contrátil a Frio em Relação à Tecnologia Termocontrátil

Além do fato de a tecnologia contrátil a frio proporcionar excelente pressão na interface e uma “vedação viva” em comparação com a tecnologia termocontrátil, que não oferece pressão na interface e precisa usar mastique e/ou adesivos para vedação, os produtos contráteis a frio oferecem muitas outras vantagens.

Após a instalação dos produtos termocontráteis, eles não devem ser movidos ou dobrados, pois isso pode comprometer a vedação de ambiente ou a interface isolamento-isolamento dos produtos. As regiões cristalinas no material termocontrátil o tornam muito rígido e duro e impedem que ele retraia no cabo ou exerça qualquer pressão interna. Os produtos contráteis a frio, no entanto, podem ser dobrados até o raio máximo de curvatura do cabo e continuarão a exercer pressão interna no cabo e continuarão a funcionar. A Figura 3 mostra as terminações de 69 kV que estão na posição dobrada e funcionando.

Os acessórios termocontráteis de média tensão normalmente podem ser instalados em muito mais peças do que os acessórios contráteis a frio comparáveis. Isso pode levar a mais erros de instalação, pois há mais peças que podem ser perdidas ou esquecidas de instalar. Além disso, essas peças adicionais aumentam o tempo de instalação, que é consideravelmente mais longo para produtos termocontráteis do que para produtos contráteis a frio. A Figura 4 mostra os componentes termocontráteis necessários para uma terminação externa de duas saias, e a Figura 5 mostra que, para obter o mesmo resultado, é necessário instalar apenas um componente contrátil a frio. A Figura 6 mostra os componentes de um kit de emenda termocontrátil de média tensão, e a Figura 7 mostra os componentes de um kit de emenda contrátil a frio de média tensão correspondente.



Figura 4: Terminação 3M™ Termocontrátil de Média Tensão

*Produtos termocontráteis 3M não disponíveis no Brasil, imagem a fim de comparação das tecnologias



Figura 5: Terminação de Borracha de Silicone 3M™ Contrátil a Frio QT-III 7642-S-2



Figura 6: Kit de Emenda 3M™ Termocontrátil para Média Tensão

*Produtos termocontráteis 3M não disponíveis no Brasil, imagem a fim de comparação das tecnologias



Figura 7: Kit de Emendas 3M™ Contrátil a Frio QS-III 5467A

Vantagens da Tecnologia Contrátil a Frio em Relação à Tecnologia Termocontrátil

Tecnologia Contrátil a Frio

Tecnologia Termocontrátil



Confiabilidade

Proporciona excelente pressão de interface e uma “vedação viva” com pressão de interface muito superior à de qualquer outro acessório, o que contribui significativamente para garantir uma longa vida útil ao acessório

Não oferece pressão interfacial e requer o uso de mastique e/ou adesivos para vedação, podendo falhar com o tempo devido à expansão e contração térmica do cabo



Funcionalidade

- O tubo contrátil a frio pode ser dobrado até o raio de curvatura máximo do cabo e continuar a exercer pressão interna sobre ele, mantendo seu desempenho
- Disponível para cabos de transmissão até 245 kV
- O material utilizado na parte externa das terminações contráteis a frio, a borracha de silicone, é inerentemente hidrofóbico e resistente ao rastreamento elétrico

- Não pode ser movido ou dobrado, pois isso pode comprometer a vedação ambiental ou a interface entre os isolantes em produtos de média tensão
- Limitado a um máximo de 72 kV
- Os materiais das terminações termocontráteis devem conter aditivos que os tornem hidrofóbicos e resistentes ao rastreamento elétrico



Instalação

- Instalação em uma única peça; pode ser feita de forma rápida e eficiente (estudos cronometrados em laboratório confirmam a vantagem em termos de velocidade)
- Não é necessária nenhuma fonte de calor
- Não é necessária permissão para trabalhos a quente ou com chama aberta
- Não são necessários ventiladores de exaustão em contêineres subterrâneos
- Tempo de instalação mais curto
- As emendas ou terminações contráteis a frio encolhem uniformemente por si só ao remover o núcleo e são facilmente posicionadas
- Sem emissões de gases

- A instalação envolve muitas peças, o que pode contribuir para erros dependendo da experiência do técnico e demandar mais tempo
- É necessário um cilindro de gás pesado ou uma fonte de calor, fazendo com que os trabalhadores, outros acessórios e cabos correm o risco de sofrer ferimentos e danos
- É necessário obter autorização para trabalhos com chama aberta
- Pode ser necessário o uso de exaustores para garantir que gases combustíveis não se acumulem durante a instalação, e Equipamentos de Proteção Individual (EPI) adicionais adequados podem ser necessários, dependendo das práticas da sua empresa
- Tempo de instalação mais longo
- A uniformidade da forma e da espessura da parede depende da aplicação correta de calor radial em condições de trabalho severas



Custo

- Mais econômico no geral: mais econômico e mais rápido de instalar, melhor desempenho elétrico e maior confiabilidade

- Mais caro: tempo de instalação mais longo, licenças, tempo de licenciamento, manutenção e produtos adicionais, como mastiques termofusíveis e adesivos



Dicas e truques de instalação

Os produtos termocontráteis devem ser aquecidos uniformemente em toda a sua extensão para garantir uma boa instalação e que toda a massa de vedação flua adequadamente, proporcionando uma vedação perfeita. Quando é aplicado calor a materiais termocontráteis, eles podem ser aquecidos de forma desigual, como na parte frontal ou apenas na parte superior, devido a condições de trabalho difíceis, experiência do instalador, compartimento de cabos apertado ou outras construções e cabos que estão no caminho da tocha. Isso resulta em marcas de queimadura, diferenças significativas na espessura da parede de isolamento, além de adesivos termofusíveis e mastiques que não são ativados devido à falta de calor no material termocontrátil. Uma vez que um acessório termocontrátil é instalado, ele não deve ser dobrado porque a vedação pode ser comprometida.

Os acessórios contráteis a frio geralmente são um design de borracha de peça única que contrai sobre o cabo quando o núcleo de suporte é removido. A instalação é fácil e simples, pois basta alinhar o acessório na posição correta e retirar o núcleo de suporte. Houve algumas reclamações de que, às vezes, o núcleo de suporte trava. As dicas e truques a seguir evitarão que o núcleo fique preso e permitirão uma instalação fácil e bem-sucedida. Primeiro, faça com que o acessório contrátil a frio encolha lentamente até que esteja apenas tocando o cabo. O acessório pode então ser girado para alinhá-lo com o marcador de fita. Quando o acessório estiver posicionado, a remoção de algumas voltas adicionais do núcleo de suporte irá prender o acessório. A melhor maneira de remover o núcleo de suporte é girar a extremidade do núcleo ao redor do cabo no sentido anti-horário e, em seguida, aplicar um puxão curto. Este método mantém o núcleo de suporte longe do cabo e do conector ou terminal. Tenha cuidado, se você puxar muito o núcleo, poderá fazer com que o núcleo se prenda ao cabo. Caso isso ocorra, enrole a fita principal ao redor do cabo no sentido anti-horário para evitar que a fita de suporte fique presa. Além disso, ao remover o núcleo de suporte, toque apenas na fita do núcleo e não no próprio acessório, pois isso permitirá que o acessório seja instalado no local correto.

Nem todos os produtos Contráteis a Frio são iguais (vantagens da 3M)

Como a 3M inventou a tecnologia contrátil a frio e atua nesse mercado há mais de 50 anos, temos mais experiência do que a maioria, o que é extremamente valioso no desenvolvimento de produtos contráteis a frio. A tecnologia preferida da 3M para acessórios de cabos de média tensão é a contrátil a frio, pois acreditamos que seja a melhor tecnologia para essa aplicação.

Todas as terminações de média tensão contráteis a frio da 3M utilizam alto controle de tensão dielétrica, pois este é um dos melhores métodos de controle de estresse. A maioria das terminações contráteis a frio vendida por outros fabricantes usam controle de estresse geométrico para terminações de média tensão, por ser mais fácil de desenvolver e fabricar. Os gráficos de estresse elétrico a seguir mostram terminações usando controle geométrico de estresse na Figura 8 e controle de alto estresse dielétrico na Figura 9.

Figura 8: Controle de Estresse Geométrico

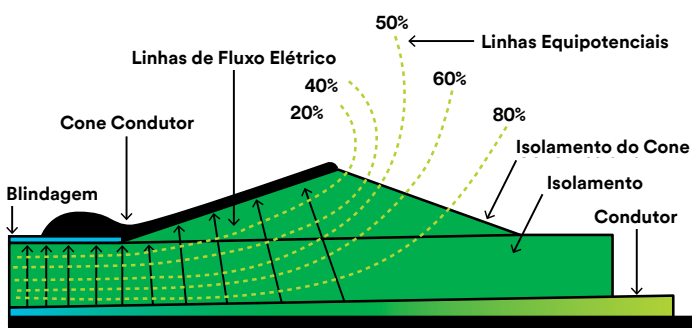
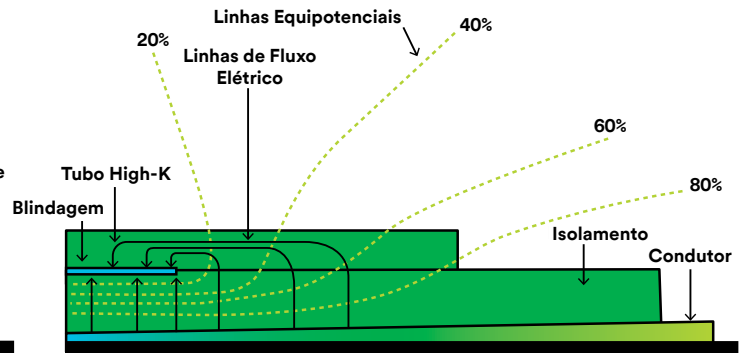


Figura 9: Controle de Alto Estresse Dielétrico



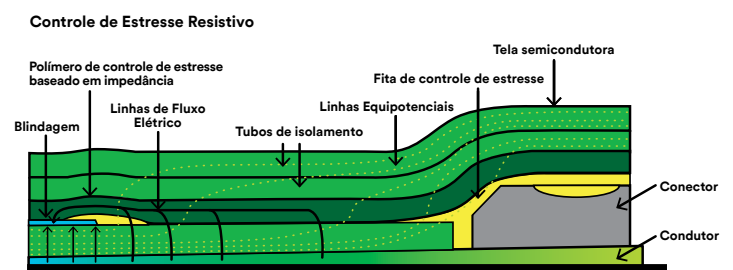
Como sabemos, em gráficos de tensão elétrica, quanto mais próximas as linhas equipotenciais estiverem, maior será a tensão elétrica, pois a tensão é simplesmente a voltagem dividida pela distância. Quanto mais próximas as linhas estiverem, maior diferença de tensão você terá em uma distância menor e, portanto, maior estresse. A partir dos gráficos, é óbvio que o controle de alto estresse dielétrico espalha as linhas equipotenciais de modo que o estresse na superfície na terminação seja significativamente menor. O gráfico de controle geométrico de estresse mostra como esse tipo de controle de estresse controla o estresse elétrico com isolamento extra, mas as linhas equipotenciais ainda estão muito próximas, então o estresse na superfície da terminação é muito maior, o que pode levar ao trilhamento em áreas altamente contaminadas e requer uma terminação mais longa para atender aos requisitos elétricos. Um artigo da 3M chamado [“Controle de estresse geométrico vs capacitivo: como escolher acessórios de terminação para cabo para ajudar a reduzir o estresse elétrico”](#),² fornece dados de teste comparando terminações com controle geométrico em relação a terminações com controle de alto estresse dielétrico.

Os dados mostram que as terminações de alta constante dielétrica funcionam melhor. Outro tipo de controle de estresse elétrico é o resistivo. O controle resistivo de estresse depende muito do instalador e é usado em alguns acessórios termocontráteis. Este tipo de controle de estresse usa uma fita sensível à direção que deve ser instalada de forma que não haja espaços com ar no degrau da semicondutora do cabo. O controle resistivo de estresse também requer um comprimento maior para funcionar adequadamente, portanto, os acessórios geralmente são mais longos. Como acontece com a maioria dos acessórios termocontráteis, a aplicação correta da fita é uma parte muito importante do processo de instalação.

A 3M oferece várias opções de emendas contráteis a frio para que os clientes possam escolher a melhor para sua aplicação. As emendas podem usar controle geométrico de estresse elétrico ou controle de alto estresse dielétrico. Em comparação com

os concorrentes, a 3M oferece opções de baixo custo com mais componentes ou opções totalmente integradas com menos peças. Mais peças oferecem mais oportunidades para erros do instalador. Além disso, as emendas 3M têm mais tolerâncias de instalação e fornecem bom desempenho elétrico e térmico. Todas as emendas 3M têm histórias longas e confiáveis. A 3M inventou a primeira emenda contrátil a frio e desenvolveu emendas adicionais conforme exigido pela indústria. Com a 3M, você pode escolher a emenda, ou emendas, que melhor se adequam às suas aplicações e ter a certeza de que serão fáceis de instalar e confiáveis.

Figura 10: Controle de Estresse de Resistência



Resumo

A tecnologia contrátil a frio apresenta muitas vantagens em relação à tecnologia termocontrátil, desde a facilidade e rapidez de instalação até o desempenho e a confiabilidade. Essas vantagens vêm do design do acessório e das propriedades do material. Pela nossa experiência e pela experiência de muitos usuários finais que usam exclusivamente acessórios de média tensão contráteis a frio, os acessórios contráteis a frio são a melhor opção para todos os cabos de média tensão. Junte-se ao futuro. Descubra o que a tecnologia contrátil a frio pode fazer por você.

Informações técnicas: as informações técnicas, orientações e outras declarações contidas neste documento ou de outra forma fornecidas pela 3M são baseadas em registros, testes ou experiência que a 3M acredita serem confiáveis, mas a precisão, integridade e natureza representativa de tais informações não são garantidas. Essas informações são destinadas a pessoas com conhecimento e habilidades técnicas suficientes para avaliar e aplicar seu próprio julgamento às informações. Nenhuma licença sob quaisquer direitos de propriedade intelectual da 3M ou de terceiros é concedida ou implícita a essas informações.

Seleção e uso do produto: muitos fatores além do controle da 3M e somente dentro do conhecimento e controle do usuário podem afetar o uso e o desempenho de um produto 3M em uma determinada aplicação. Assim, o cliente é o único responsável pela avaliação adequada (incluindo, mas não se limitando à adequação à finalidade e adequação à aplicação), seleção e utilização dos produtos 3M. Os produtos de segurança devem sempre ser selecionados e utilizados de acordo com todos os regulamentos e normas aplicáveis (por exemplo IEEE), após uma avaliação de risco adequada ter sido conduzida. A falha em avaliar, selecionar e usar corretamente um produto 3M pode resultar em ferimentos, doenças, morte e/ou danos materiais.

Garantia, recurso limitado e isenção de responsabilidade: a menos que uma garantia diferente seja especificamente declarada na embalagem do produto 3M ou na documentação do produto (nesse caso, tal garantia rege), a 3M garante que cada produto 3M está em conformidade com a especificação do produto 3M aplicável no momento em que a 3M envia o produto. A 3M não oferece outra garantia ou condição, expressa ou implícitas, incluindo, mas não limitado a qualquer garantia ou condição implícita de comercialização, adequação a uma finalidade específica, ou decorrente de um curso de negociação, costume ou uso de comércio. Se um produto 3M não estiver em conformidade com esta garantia, a única e exclusiva solução é, por opção da 3M, a substituição ou reparo do produto 3M ou o reembolso do preço de compra. As reclamações de garantia devem ser feitas dentro de um (1) ano a partir da data de embarque da 3M.

Limitação de responsabilidade: exceto pelo recurso limitado estabelecido acima, e exceto na medida proibida por lei, a 3M não será responsável por qualquer perda ou dano decorrente do produto 3M, seja direto, indireto, especial, incidental ou consequente (incluindo, mas não limitado a, perda de lucros ou oportunidade de negócios), independentemente da teoria legal ou equitativa afirmada, incluindo, mas não limitado a, garantia, contrato, negligência ou responsabilidade estrita.

Isenção de responsabilidade: os produtos industriais e ocupacionais 3M são destinados, rotulados e embalados para venda a clientes industriais e ocupacionais treinados para uso no local de trabalho. A menos que especificado de outra forma na embalagem ou literatura do produto, estes produtos não são destinados, rotulados ou embalados para venda ou uso pelos consumidores (por exemplo, para uso doméstico, pessoal, escola primária ou secundária, recreativo/esportivo ou outros usos não descritos na embalagem ou literatura do produto), e deve ser selecionado e utilizado de acordo com as normas e regulamentos de saúde e segurança aplicáveis (por exemplo IEEE), bem como toda a literatura do produto, instruções de uso, avisos e limitações, e o usuário deve tomar qualquer ação exigida sob qualquer recall, ação de campo ou outro aviso de uso do produto. O uso inadequado de produtos industriais e ocupacionais 3M pode resultar em ferimentos, doenças ou morte. Para assistência na seleção e utilização do produto, consulte seu profissional de segurança no trabalho, higienista industrial ou outro especialista no assunto. Para obter informações adicionais sobre o produto, visite: www.3M.com

Isenção de responsabilidade de conteúdo: Bill Taylor, ex-3Mer e membro ou oficial do IEEE/PES/ICC, participou e forneceu informações neste artigo. Bill também recebeu compensação da 3M em conexão com sua participação e as informações que ele forneceu aqui.

Referências

- 1 “Experiência de teste e campo com terminações elastoméricas” por H. C Hervig, 3M
- 2 “Controle de estresse geométrico vs capacitivo: escolhendo acessórios de terminação de cabos para ajudar a reduzir a tensão elétrica”, por George Fofeldea

