



5

REVESTIMENTOS

5.1 REVESTIMENTOS

Os revestimentos são elementos de diferentes tipos e aplicações que conferem protecção eléctrica ou mecânica ao cabo.

Cada um deles tem uma função específica na garantia de que o cabo tenha um bom comportamento na aplicação para a qual foi concebido.

Entre os tipos de revestimentos distinguimos os seguintes:

- ISOLANTES
- SEMI-CONDUTORES
- BLINDAGENS METÁLICAS
- ENCHIMENTOS
- CAMAS DE ARMADURA
- ARMADURAS
- BAINHAS

que adiante analisaremos.

5.2 ISOLANTES

Constituem a camada contígua ao condutor metálico que o protege electricamente de tudo o que o rodeia. São normalmente os elementos mais delicados e a sua deterioração, mais ou menos rápida, é o que limita na maioria das vezes a vida útil do cabo. As condições ambientais e climáticas ou os contactos com agentes agressivos, a par da falta de cuidado na instalação, manuseamento e conservação, são os factores principais que limitam a vida de um cabo.

Do ponto de vista científico o estudo dos isolantes tem um grande interesse dado que as suas propriedades eléctricas fundamentais devem ser equilibradas com outros parâmetros físicos bem como a sua composição química. Os isolantes utilizados não são dieléctricos perfeitos e há sempre a possibilidade de um electrão passar de um átomo para outro contíguo, umas vezes devido à sua própria estrutura atómica e outras devido a impurezas; isto origina uma corrente muito fraca mas mensurável, designada corrente de fuga.



Os isolantes e outros revestimentos poliméricos usados no fabrico de cabos são muito variados. Assim apresentamos apenas os tipos genéricos mais usuais.

Os grandes grupos em que normalmente os classificamos são os TERMOPLÁSTICOS e os TERMOESTÁVEIS.



5.2.1 TERMOPLÁSTICOS

Designam-se assim os materiais poliméricos que por aumento da temperatura se deformam sob pressão por perda das suas propriedades mecânicas. Esta fluência a alta temperatura é aproveitada na sua aplicação em isolamentos ou outros tipos de revestimentos, geralmente por extrusão. Ao arrefecer recuperam as características mecânicas iniciais.

Os mais usados no fabrico de cabos eléctricos são o Poli(Cloreto de Vinilo) (PVC), o Polietileno termoplástico (PE), as poliolefinas ignífugas (Z1), o Poliuretano (PU), os materiais fluorados (Tefzel, Teflon), etc..

5.2.2 PRINCIPAIS MATERIAIS POLIMÉRICOS TERMOPLÁSTICOS

O Poli (Cloro de Vinilo), (PVC), obtém-se a partir do Etileno e do Acetileno por reacção com Ácido Clorídrico ou Cloro, seguida de polimerização por diversos processos. Inicialmente é uma resina de cor clara, dura, rígida e com reduzida estabilidade, pelo que se têm de adicionar produtos estabilizantes. Também se adicionam outros produtos como os plastificantes, que lhe conferem dureza e flexibilidade adequadas, cargas minerais que modificam as suas propriedades físicas e reduzem o custo dos compostos, pigmentos, etc..



Com tudo isto, adaptando as devidas proporções, podem obter-se compostos com propriedades particulares para uso em isolamentos, camadas de armadura e bainhas exteriores, os quais têm de satisfazer as Normas e ensaios especificados bem como as condições particulares a que os cabos estão sujeitos dado o local de instalação, tipo de utilização, etc.(resistência aos óleos, altas ou baixas temperaturas, produtos químicos, reacção ao fogo, etc.).

Actualmente, a sua utilização mais comum é em bainhas interiores e exteriores de cabos. Até ao aparecimento do Polietileno reticulado como isolante, o PVC foi também muito usado como isolamento de cabos de Baixa Tensão mas esta aplicação está a reduzir-se rapidamente.

O Polietileno resulta da polimerização do Etileno, obtendo-se uma cadeia longa sem ligações duplas e por isso muito estável. A polimerização foi conseguida durante muito tempo a alta pressão (1500 bar) e temperaturas entre 100 e 250 °C. Mais recentemente é feita a pressões normais e temperaturas entre 20 e 70 °C. Nesta reacção obtêm-se diferentes tipos de material, diferenciados pelo seu Peso Molecular médio e pela viscosidade.

As propriedades eléctricas do Polietileno são realmente excepcionais, o que o torna insubstituível como isolamento de certos tipos de cabo como nas gamas



de telecomunicações. Até ao aparecimento das técnicas para a sua reticulação o Polietileno termoplástico foi também usado no isolamento de cabos de Média Tensão.

Tal como o PVC é usado como isolante e também como bainha exterior de cabos, tanto pela resistência aos impactos e à abrasão como pela baixa absorção de humidade, aplicando-se actualmente em cabos de telecomunicações e de Média e Alta Tensão.

Quando se utiliza em cabos para instalação à intempérie e dado que o Polietileno apresenta uma certa degradação das características mecânicas por acção dos raios UV, é necessário adicionar uma percentagem baixa de Negro de Fumo, que absorve a radiação.

5.2.3 TERMOESTÁVEIS

Designam-se assim os materiais poliméricos aos quais se adicionam peróxidos orgânicos a pressões e temperaturas adequadas no processo de extrusão, conseguindo-se assim a vulcanização ou reticulação por criação de ligações transversais entre as moléculas do polímero, de tal forma que o material resultante não funde nem se deforma com o aumento de temperatura.

Os mais usuais são a Borracha de Etileno-Propileno (EPR), o Polietileno reticulado (PEX), o Hypalon (CSP), o Neopreno (PCP), a Borracha sintética (SBR), o Etileno - Acetato de Vinilo (EVA), a Borracha de Silicone (SI), etc..



5.2.4 PRINCIPAIS MATERIAIS POLIMÉRICOS TERMOESTÁVEIS

O **Polietileno reticulado (PEX)** começou a usar-se nos anos 60 no isolamento de cabos de Baixa Tensão, estendendo-se posteriormente a sua aplicação aos cabos de Média e Alta Tensão. O seu consumo tem tido um aumento constante, inclusive em cabos de Muito Alta Tensão. Em Espanha a General Cable produz e instala cabos de 66 até 220 kV, existindo referências de outros países de aplicações até 525 kV.

O Polietileno Reticulado é um material duro, com elevada resistência à ruptura (superior à borracha e ao Polietileno termoplástico). A sua termoestabilidade permite temperaturas de utilização de 90 °C. Esta propriedade, junto com a sua baixa resistividade térmica (350 °C.cm/W) permite-lhe suportar situações de emergência, com curtos-circuitos até 250 °C. A resistência a baixas temperaturas é também muito boa, chegando a -70 °C.

O **Polietileno** é reticulado pela adição de peróxidos orgânicos, como o dicumilperóxido, o qual quando a temperatura atinge 140 °C se decompõe, capturando átomos de Hidrogénio das cadeias poliméricas (criando ali radicais). Estas espécies vão formar ligações Carbono-Carbono unindo as moléculas

do polímero numa rede tridimensional.

No fabrico de cabos com este tipo de isolamento a extrusão e a reticulação podem ser combinadas num só processo - após a extrusão o cabo entra no tubo de vulcanização onde se aumenta a

temperatura por subida da pressão do vapor de água que enche o tubo ou por equipamentos de Infravermelhos em atmosfera de Azoto no procedimento conhecido como "Dry Curing".



A Borracha de **Etileno-Propileno (EPR)** é um copolímero de Etileno e Propileno. Com a incorporação de outros elementos, tais como plastificantes, antioxidantes, lubrificantes, pigmentos e outros componentes, consegue-se uma mistura crua



que terá de ser vulcanizada por incorporação de peróxidos. Esta vulcanização consegue-se após extrusão, em condições determinadas de pressão e temperatura, seguindo um processo análogo ao descrito para o Polietileno reticulado.

As propriedades dieléctricas são muito boas, o que o torna um isolante adequado para Média Tensão. No campo da Alta Tensão a sua aplicação é limitada por ter uma resistência térmica considerável ($500\text{ }^{\circ}\text{C.cm/W}$) e pelos valores dieléctricos ($\text{tg } \delta$) mais elevados que o PEX. A sua alta flexibilidade aconselha o seu uso em instalações móveis de Baixa ou Média Tensão - equipamentos de movimentação, cabos para navios, cabos de minas, etc..



5.3 RESISTÊNCIA A PRODUTOS QUÍMICOS

PRODUTOS	POLICLOROPRENO	PVC / NBR	PEX	PVC
Ácidos				
ACÉTICO 50%	-	-	+	+
CLORÍDRICO 10%	+	-	+	+
NÍTRICO 10%	-	-	+	+
SULFÚRICO 10%	+	+	+	+
Bases				
AMONÍACO	+	+	+	+
SODA C. 10%	+	+	+	+
SODA C. 70%	-	-	+	+
Sais				
CLORETO DE ALUMÍNIO	+	+	+	+
CLORETO FÉRRICO	+	+	+	+
CLORETO DE BÁRIO	+	+	+	+
DICROMATO DE POTÁSSIO	+	+	+	+
DICROMATO DE SÓDIO	-	+	+	+
SULFATO DE COBRE	+	+	+	+
CLORETO DE MERCÚRIO	+	+	+	+
Solventes				
ÁLCOOL ETÍLICO	+	-	+	-
ÁLCOOL METÍLICO	+	-	+	-
ÁGUA A 100 °C	-	-	+	+
ETILENO GLICOL	+	+	+	+
ÓLEO DE LINHO	+	+	+	+
FENOL	0	0	-	0
CICLOHEXANONA	0	0	-	0
BENZENO	0	0	0	0
TOLUENO	0	0	0	0
CICLOHEXANOL	0	-	-	0
BUTANOL	+	-	+	-
TETRACLORETO DE CARBONO	0	0	0	0
TRICLOROETILENO	0	0	0	0
TETRACLOROETANO	0	0	-	0
DICLOROETANO	0	0	-	0
SULFURETO DE CARBONO	0	0	0	0
"WHITE SPIRIT"	-	+	-	-
ESSÊNCIA DE TEREBENTINA	0	0	0	0
ÓLEO GORDO A 70 °C	-	+	0	-
PETRÓLEO	-	+	-	-
ACETONA	-	0	-	0
ACETATO DE ETILO	0	0	-	0
ACETATO DE BUTILO	0	0	-	0
CLOROFÓRMIO	0	0	0	0
ÓLEO DE TRANSFORMADOR	-	-	0	-
PIRALENO	0	0	0	0

(+) = BOA

(-) = FRACA

(0) = NULA



5.4 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS POLIMÉRICOS

TABELA 5

CARACTERÍSTICAS	PVC	PE	PEX	EPR	BORRACHA SINTÉTICA	POLICLORO-PRENO	HYPALON	PVC / NBR
MECÂNICAS	MB	B	B	A	A-MB	B-MB	MB	B
RESISTIVIDADE ELÉCTRICA	B	EX	EX	MB	B	R	A	R
PERDAS DIELECTRICAS	A	EX	MB	B	B	R	R	R
RESISTÊNCIA À INTEMPÉRIE	B	R-B	MB	B	R	B	MB	B
RESISTÊNCIA À PROPAGAÇÃO DA CHAMA	B	N	R	N	N	B	B	B
RESISTÊNCIA AO OZONO	EX	EX	EX	EX	N	B	EX	EX
RESISTÊNCIA AO ENVELHECIMENTO E AO CALOR	B	B	MB	MB	A	B	MB	B
TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO PERMANENTE	70	65	90	90	60	75	85	75
RESISTÊNCIA AOS ÓLEOS MINERAIS	B	A	A	R	R	MB	MB	EX
FRAGILIDADE A BAIXA TEMPERATURA	A	EX	MB	EX	MB	MB	B	B

EX: EXCELENTE

MB: MUITO BOA

B: BOA

A: ACEITÁVEL

R: REGULAR

N: NULA

5.5 SEMI-CONDUTORES

Consistem em camadas extrudidas de resistência eléctrica reduzida de materiais compatíveis com os isolamentos.

São usados principalmente em cabos de Média e Alta Tensão, em duas camadas:

A primeira é aplicada directamente sobre o condutor e tem por função conter o campo eléctrico dentro de uma superfície cilíndrica e o mais equipotencial possível, com uma espessura adequada à eliminação das irregularidades dos fios que formam o condutor. Sem esta blindagem, o isolamento ficaria sujeito a gradientes de potencial variáveis. Estes materiais são desenvolvidos de modo a garantir a sua compatibilidade com o isolamento.

A segunda camada semi-condutora tem uma função análoga à anterior, entre o isolamento e a blindagem.

Na GENERAL CABLE o fabrico dos cabos de Média e Alta Tensão, no que se refere à aplicação das camadas semi-condutoras e de isolamento, é feito pelo processo de “**Tripla Extrusão Simultânea**”, que consiste em fazer confluir os três materiais fundidos por canais distintos numa única cabeça, em simultâneo e sem presença de atmosfera contaminante, como poderia suceder nos processos convencionais de extrusão.

As blindagens semi-condutoras também têm aplicação em cabos de Baixa Tensão para a indústria mineira e para a utilização de equipamentos móveis. Esta camada permite captar qualquer corrente de defeito radial entre o condutor e o isolamento e transferi-la para um condutor auxiliar de drenagem ligado a um detector de defeitos, que permite desligar de imediato o circuito em causa.





Assim, ao mesmo tempo que se evita a possibilidade de um curto-circuito importante que destrua o cabo, elimina-se a possibilidade de a energia libertada na falha ser causa de incêndio ou deflagração.



5.6 BLINDAGENS METÁLICAS

São elementos condutores, geralmente de Cobre ou Alumínio, que podem ter várias funções:

- Protecção da influência de induções exteriores
- Escoamento de correntes de defeito
- Regularização do campo eléctrico
- Blindagem de sinais externos ou internos
- Etc.

Nos cabos de Média e Alta Tensão empregam-se basicamente 3 tipos:

- Fitas de Cobre aplicadas em hélice com sobreposição sobre a camada semi-condutora extrudida (H1)
- Fios de Cobre aplicados em hélice sobre a camada semi-condutora (H16, H28, H35, etc.).
- Bainha de Chumbo (Pb) usada em cabos de isolamento de papel (são instalados cada vez menos).

Utilizam-se outros tipos de blindagem para cabos de controle, instrumentação, telecomunicações, etc., cuja função é apenas evitar que as correntes muito fracas que circulam nos condutores sejam afectadas por sinais nos condutores contíguos ou efeitos electrostáticos exteriores.

É usual em cabos de instrumentação a aplicação de blindagens individuais em cada par além de uma colectiva sobre o conjunto de pares cableados. Estas

blindagens são normalmente constituídas por uma fita-complexo de Alumínio (poucos micra de espessura) e poliéster - Polietilenotereftalato (PETP), que lhe confere resistência mecânica. A fita é aplicada em hélice sobre o cabo a proteger, sendo a continuidade assegurada pela inclusão de um condutor de baixa secção (fio de continuidade ou drenagem).

5.7 ENCHIMENTOS

O enchimento é o material que tem por função ocupar os espaços vazios resultantes da cableagem dos condutores isolados, de modo a resultar uma envolvente cilíndrica e lisa. Os enchimentos podem ser têxteis ou de material plástico.

As condições fundamentais a exigir aos materiais de enchimento são:

- NÃO HIGROSCÓPICOS (não absorvem ou libertam humidade)
- COMPATIBILIDADE COM OS MATERIAIS ADJACENTES



5.8 BAINHAS DE CAMA DE ARMADURA

Os cabos concebidos com armaduras metálicas possuem uma camada extrudida que, aplicada sobre os enchimentos referidos, serve de cama à armadura e como tal protege os isolamentos de possíveis acções das massas metálicas.



A bainha de cama será, regra geral, de PVC nos cabos com bainha exterior deste material. Em certos países se a composição da bainha se reflecte na designação do cabo (ex.: VVRV) a qualidade e características do composto usado devem ser as mesmas da bainha exterior. Nos casos em que a designação não refere o material da bainha de cama (ex.: VRV) isso significa que o material desta camada não corresponde à exigência da Norma de suporte.

Nos cabos armados com bainha exterior elastomérica (Policloropreno, Hypalon, etc.) a bainha de cama da armadura será em material elastomérico.

As Normas podem exigir para as bainhas de cama:

- ESPESSURAS
- CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS
- ESTANQUIDADE
- NÃO HIGROSCOPICIDADE
- COMPATIBILIDADE COM OS MATERIAIS ADJACENTES.



5.9 ARMADURA

São elementos metálicos para protecção mecânica do cabo. Geralmente são de Aço, simples ou com oxidação azul. Nalgumas aplicações especiais aplicam-se fitas de Aço galvanizado. Para evitar perdas por indução nos cabos monopolares as armaduras respectivas são constituídas por metais não magnéticos (Alumínio, Cobre, Bronze, etc).

Os tipos de armadura mais utilizados são a ARMADURA DE FITAS, a ARMADURA DE FIOS e a ARMADURA DE FITA CORRUGADA.

5.9.1 ARMADURA DE FITAS

Constituída por 2 fitas aplicadas em hélice, de modo que a exterior cobre os espaços livres deixados pela interior, permitindo que o conjunto evidencie um certo grau de flexibilidade durante a instalação, bem como o deslizamento das próprias espiras da armadura.

5.9.2 ARMADURA DE FIOS

Constituída por fios de Aço galvanizado ou fios de Alumínio no caso de cabos monopolares, aplicados por cableagem em hélice sobre a cama da armadura, cobrindo a totalidade da periferia do cabo. Os fios de Aço têm uma carga de ruptura mínima de 35 kg/mm² e os de Alumínio de 16 kg/mm².

As armaduras de fios são particularmente adequadas para suportar esforços de tracção durante a instalação do cabo ou suportar o seu peso em condutas muito inclinadas ou mesmo em instalação vertical (ex.: minas). É frequente nos cabos de minas incorporar na armadura fios de Cobre do mesmo diâmetro dos de Aço, com o objectivo de aumentar a condutância da armadura e poder utilizá-la como condutor de protecção.

Os cabos com armaduras de fios de Aço são utilizados nos sectores industriais e petroquímico, em minas e também em instalações em locais com risco de incêndio e/ou explosão. Correspondem na gama da General Cable aos tipos RVhMVh 0,6/1 kV.

Uma variante da armadura de fios é a trança metálica. Constituída por fios de Aço galvanizado ou Bronze, de diâmetro reduzido (0,2 a 0,5 mm), forma uma cobertura que pode atingir até 100% da superfície a proteger. A sua utilização restringe-se a



cabos flexíveis para equipamentos móveis, cabos para navios, cabos de minas ou simplesmente como protecção anti-roedores em diferentes tipos de cabos.

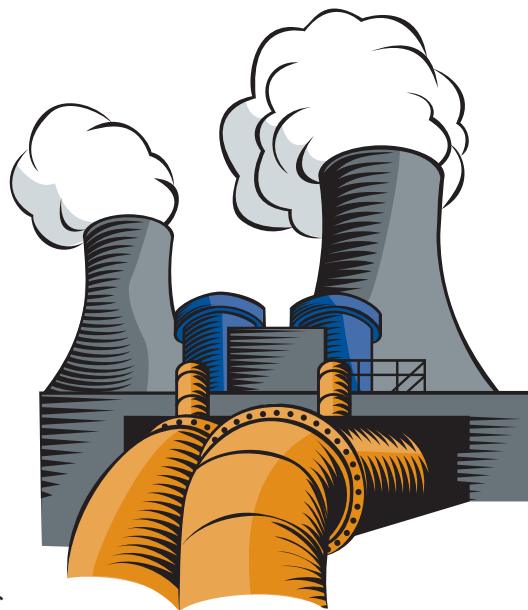
5.9.3 ARMADURA DE FITA CORRUGADA

É constituída por uma fita longitudinal envolvente, com sobreposição, com as marcas da corrugação transversais ao eixo do cabo, permitindo um certo grau de flexibilidade em simultâneo com uma boa protecção mecânica e anti-roedores.



5.10 BAINHAS EXTERIORES

São as camadas ou revestimentos exteriores que actuam como protecção dos cabos eléctricos, estando a sua aplicação justificada por muitas razões, sendo a mais comum suportar durante a instalação e ao longo da vida útil do cabo os efeitos mecânicos de choques, escorregamentos e apertos. Dependendo da localização, condições ambiente, tipo de instalação e serviço, bem como por razões de segurança, as bainhas devem também ser adequadas a cada uma das solicitações que se prevejam. É comum que para cabos a instalar dentro de refinarias e instalações petroquímicas a bainha de PVC



deva suportar a acção de contactos accidentais com hidrocarbonetos e solventes, existindo para a sua avaliação normas que especificam os ensaios a satisfazer e os limites de aceitação. Para centrais nucleares as bainhas devem responder, entre outros requisitos, a uma particular resistência aos efeitos das radiações por se destinarem a funcionar num meio onde existe a possibilidade de fugas radioactivas. Para as instalações eléctricas em locais com acesso de público, e dada a possibilidade de ocorrerem incêndios apesar das medidas de segurança, os cabos e em particular as



bainhas devem ter um certo tipo de comportamento em caso de incêndio: exigem-se cabos **NÃO PROPAGADORES DO INCÊNDIO**, sem componentes halogenados que possam gerar gases tóxicos, e que não emitam fumos densos em presença de fogo.

Podem definir-se muitas situações particulares que, pela experiência da General Cable, já foram estudadas e encontrada para cada caso a solução mais adequada que corresponda às condições definidas.

A bainha dos cabos eléctricos comporta-se como uma protecção global do cabo, não devendo esquecer-se que a vida útil do cabo diminui rapidamente com bainhas deterioradas por pancadas, perfurações, etc..

Esta circunstância faz que em certos tipos de cabos como os de Média e Alta Tensão seja extremamente importante a utilização de meios de adequados no lançamento dos cabos em condutas subterrâneas com o objectivo de não os danificar. Um pequeno orifício, por imperceptível que seja, é suficiente para a entrada de água ou pelo menos de humidade, que se propagará ao longo do cabo, produzindo-se fenómenos electroquímicos que provocam o aparecimento e crescimento de arborescências, o que significa uma degradação constante dos materiais isolantes até ocorrer a perfuração do dieléctrico.



Tal como os isolamentos que referimos anteriormente, as bainhas podem ser classificadas em dois grandes grupos: **TERMOPLÁSTICAS**, como o PVC, Polietileno e Poliuretano nas suas diferentes variedades, e **TERMOESTÁVEIS**, como o Policloropreno, Hypalon, Borracha sintética, Borracha de Silicone, NBR, etc..



5.11 CABLEAGEM

Consiste no enrolamento de dois ou mais condutores entre si, sobre um eixo imaginário, formando uma hélice visível. A distância mais curta entre dois pontos do mesmo condutor na mesma geratriz, depois de dar uma volta completa ao eixo de cableagem, designa-se por **PASSO DE CABLEAGEM**.



Os cabos utilizados em instalações móveis (gruas, enroladores, minas, etc.) têm passos de cableagem mais curtos que os cabos convencionais.