O USO DE CABOS VERTICAIS NA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

COMPARAÇÃO ENTRE CABOS DE COBRE E ALUMÍNIO

Outubro / 2011

Preparado para:

International Copper Association

Latin America

COPPER
International Copper Association, Ltd.

PROCOBRE
Connects Life.™

MDJ

SUMÁRIO

ITEM	PAGE
1. PREFÁCIO	3
2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE ENERGIA EÓLICA	10
3. REQUISITOS ESPECÍFICOS DE CABOS PARA APLICAÇÕES EM ENERGIA EÓLICA	11
3.1 CONDUTOR	12
3.2 ISOLANTE	13
3.3 CAPA	13
3.4 COBERTURA	13
4. PADRÕES TÉCNICOS DE CABOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA	13
5. FABRICANTES DE CABOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA	15
6. MÉTODOS DE ENSAIO APLICADOS A CABOS PARA ENERGIA EÓLICA	15
6.1 TESTE DE ESFORÇO DE TORÇÃO EM UM ÚNICO CABO SOB BAIXA TEMPERATURA (-40OC)	16
6.2 TESTE DE ESFORÇO DE TORÇÃO DE UM FEIXE DE CABOS	16
6.3 "MODO B", TORÇÃO/ TESTE DE ESFORÇO DE TORÇÃO	16
6.4 BENDING FLEX (TICK-TOCK)	17
6.5 ROLLING FLEX (TWIST-AND-FLEX)	18
6.6 ABRASÃO	18
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	19
7.1 CONCLUSÕES	19
7.2 RECOMENDAÇÕES	20
ANEXO	21

1. PREFÁCIO

Este relatório técnico apresenta o estado atual de aplicações de cabos elétricos isolados para a indústria de geração de energia eólica. São tratados os requisitos especiais para cabos de energia eólica e sua construção e desempenho.

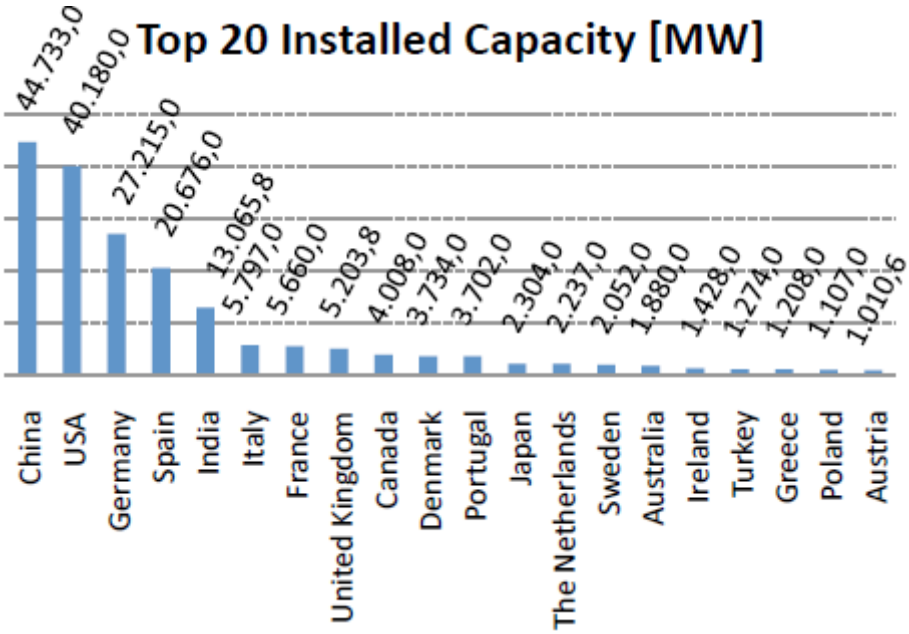
Tem havido um crescente interesse em energias renováveis devido aos recursos energéticos convencionais, enquanto aumenta a demanda de energia. Particularmente, geração de energia eólica entre outros tipos de energia renovável, como energia hidrelétrica, solar, biogás, geotérmica, das marés e energia das ondas do oceano tem participado cada vez mais das iniciativas de investimento.

Embora estas energias renováveis cubram apenas uma pequena parcela da demanda de energia e da participação na matriz energética componente, o futuro destas novas fontes de energia é reconhecido mundialmente.

Segundo o World Wind Energy Report 2010 emitido pela WWEA - World Wind Energy Association, os números atuais do uso e a tendência da energia elétrica produzida a partir de geradores eólicos em todos os países são significativos. Em 2010, de acordo com o WWER-2010 o mundo chegou a 196.630 MW de potência eólica instalada que representa 2,5% da capacidade instalada total de todas as fontes de energia utilizadas hoje e chegou a dobrar nos últimos três anos.

Como a produção de energia eólica é distribuída em torno de diferentes países e regiões? O mesmo relatório mostra que a Dinamarca é o "número um" do Top 20, considerando vários critérios.

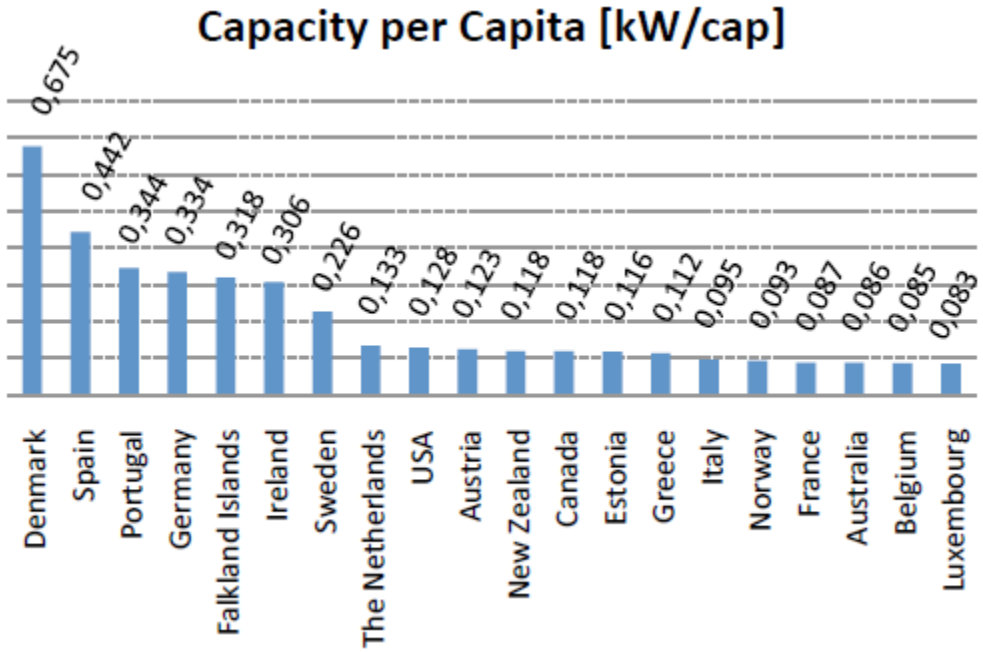
No que diz respeito à capacidade instalada total, os números em energia eólica são apresentados abaixo, com a China na primeira posição (44,7 GW):



Fonte: WWER 2010

Uma imagem diferente pode ser vista quando se olha para as instalações em relação ao tamanho de um país / região: em relação à sua população, a Dinamarca tem a maior quantidade capacidade instalada por pessoa (0,675 kW por pessoa), seguido pela Espanha (0,442 kW / pessoa), Portugal (0,344 kW / pessoa) e Alemanha (0,334 kW / pessoa).

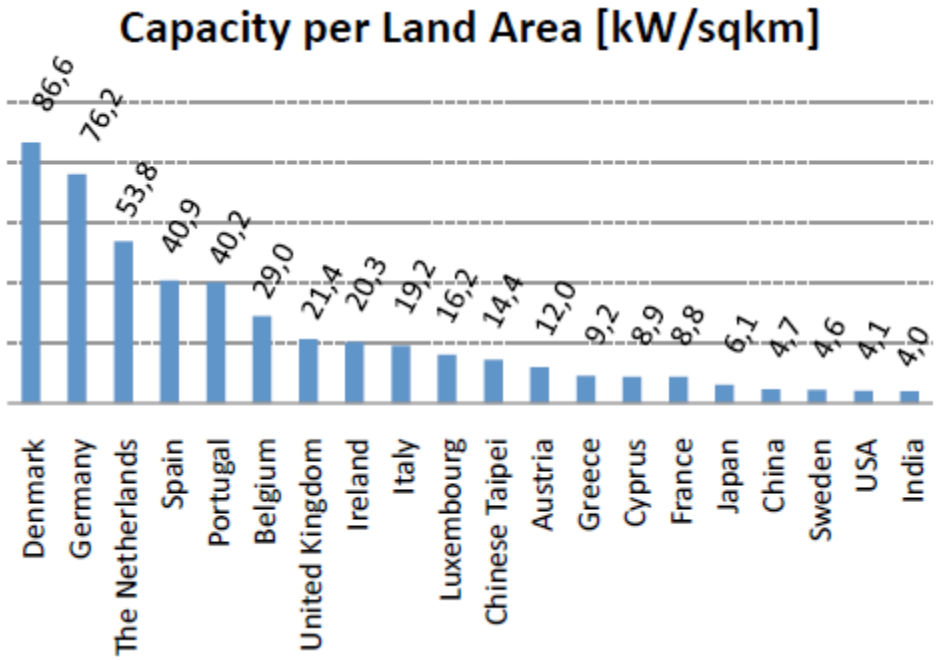
Nesta perspectiva, a líder mundial China não é mais o primeiro, mas aparece no 27º lugar (0,033 kW / pessoa), os EUA alcançam a nona posição (0,128 kW / pessoa) e a Índia atinge a posição de número 39 (0,011 kW / pessoa).



Source: WWER 2010

Também por área de terra, a Dinamarca é o país número um em energia eólica do mundo, com 86,6 kW por quilômetro quadrado, seguido pela Alemanha (76,2 kW/km^2), Holanda (53,8 kW/km^2), Espanha (40,9 kW/km^2) e Portugal (40,2kW/km^2).

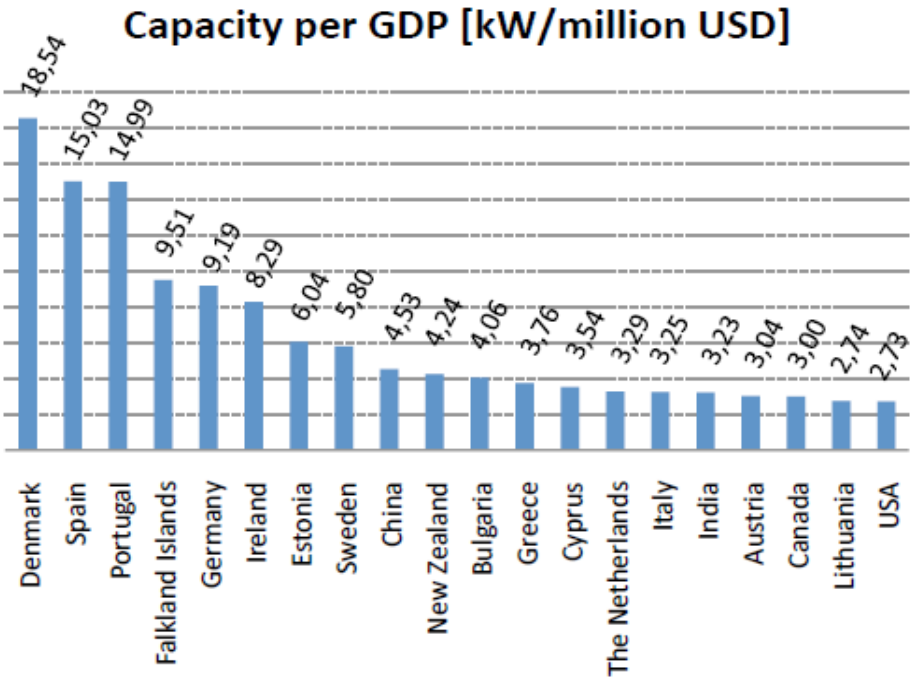
A China (4,7 kW / /km^2) atinge a posição número 17 e os EUA (4,1 kW/km^2) a posição de número 19.



Fonte: WWER 2010

A Dinamarca também é líder em termos de capacidade eólica instalada por unidade de seu produto interno bruto (PIB): o país tem uma capacidade instalada de 18,5 kW por milhão de US$ do seu PIB, seguido pela Espanha (15 kW/milhão US$), Portugal (15 kW/milhão US$), as Ilhas Falkland (9,5 kW/milhão US$) e Alemanha (9,2 kW/milhão US$).

China pode ser encontrada na nona colocação com 4,5 kW/milhão US$, os EUA chegam a posição de número 20, com 2,7 kW/milhão de US$.



Source: WWER 2010

Considerando a geração de energia eólica no Brasil, de acordo com o WWER-2010, o Brasil chegou no ano de 2010 com uma capacidade instalada de energia eólica de 920 MW, sendo classificado em 21º lugar geral. Nesse mesmo ano, o Brasil foi responsável por mais de 320 MW de capacidade instalada, ou 53,3% a mais que o ano de 2009, ranking do 6º lugar tendo em conta a taxa de crescimento deste mercado em outros países. Apesar de tudo isso, em 2009, quando o Brasil tinha 600 MW de capacidade eólica instalada, a energia gerada por energia eólica representou apenas 0,2% da capacidade total instalada no país, segundo o Balanço Energético Nacional 2010 - Ano Base 2009.

Portanto, pode-se ver que o Brasil tem uma grande taxa de crescimento deste mercado, mas ainda não representa 1% da capacidade instalada de todas as fontes de energia. No entanto, um fato importante, de acordo com WWER-2010, é que o Brasil, no ano de 2010, representou 46% do total de energia eólica na América Latina, sendo líder absoluto no segmento de geração. México segue em segundo com 26% do total.

No Brasil, as empresas interessadas em produzir energia eólica e distribuí-la usando o Sistema Elétrico Brasileiro, devem participar de um processo de venda pública que começou a ocorrer em 2009. O empresário que quer entrar no negócio de produção de energia deve competir nos processos pelo menor preço oferecido por MWh, ou seja, uma licitação com todos os stakeholders dos lotes de energia (cada lote considera 0,1 MW médios) comparando o seu valor por MWh. Ao final do processo, não é a quantidade de MW que foram contratados para ser produzido, geralmente três anos antes, isto é, todos os leilões de energia contratados em dezembro de 2009, devem ser oferecidos pelos vencedores no ano 2012-2032 (os contratos de energia eólica tem um

prazo de 20 anos). Nos últimos três processos, 9966 lotes foram contratados, representando quase 1 GW de energia média.

Existem dois principais tipos de processos. O A-3 (potência contratada por três anos a partir da data do processo) e A-5 (de 5 anos).

Em agosto/2011 três vendas públicas foram realizadas com a participação de 78 parques eólicos, totalizando 1.928,7 MW de potência instalada. Ou seja, apenas com estes processos, em 2014 haverá um aumento de mais do que o dobro da capacidade instalada de 2010.

Outro fato que mostra as perspectivas de crescimento neste setor é o valor do desconto do último processo. Exemplos: na A-3, processo de 17 de agosto, o desconto máximo foi fixado em 139 US$/MWh e o médio , para a energia eólica, foi 99,57 US$/MWh, com desconto de 28,4%, abaixo do valor médio contratado por fontes hidrelétricas, que atingiu o recorde de US$ 102 / MWh.

Os atores principais no Brasil sobre parques eólicos e equipamentos estão listados e comentados a seguir.

Renova Energy

A Renova Energia possui sua maior área de projetos para fontes eólicas. Hoje, a empresa possui 20 parques com PPA (contrato de compra de energia eólica) que apresentam 423 MW de capacidade instalada e estão em fase de implantação. Possui, também, um potencial portfolio de projetos para 77 parques que, juntos, apresentam 2205,7 MW.

A empresa tem um projeto que reúne 14 parques eólicos com 184 aerogeradores produzidos pela GE na sua nova planta de produção em Campinas/SP. Cada aerogerador possui 1,5 MW de capacidade de produção. Para este projeto, a Renova precisou de R$ 1,17 bilhões, sendo que conseguiu um financiamento do BNDES de R$ 904,6 milhões.

Iberdrola Renovables

A Iberdrola Renovables é uma empresa de capital espanhol que realiza diversos projetos em energias renováveis pelo mundo. Já possuem um parque em Rio do Fogo/RN, com capacidade instalada de 49 MW.

Em agosto de 2010, a Iberdrola fechou contrato para vender 109,5 megawatts de energia, que será gerada em nove parques eólicos no Nordeste. A espanhola Gamesa fornecerá os geradores que a Iberdrola Renováveis utilizará nos nove parques eólicos, fornecendo 129 aerogeradores, com potência total de 258 MW.

A Iberdrola está presente no mercado nacional desde o final dos anos 1990 e detém 44% do mercado de distribuição de energia elétrica na

região Nordeste, com participação na Cosern (RN), Celpe (PE) e Coelba (BA)

Dobrev Energia SA (DESA)

A Dobrevê Energia atua principalmente no ramo de PCH`s, porém possui dois parques eólicos, sendo um em construção que começa as operações em 2012 e um em fase de contratações para construção, que deve começar a operar em 2013.

Os dois parques apresentam 205,2 MW de capacidade instalada, sendo que no menor deles (60 MW) serão utilizados aerogeradores da GE da planta de Campinas/SP.

O capital do grupo é dividido entre os acionistas da empresa têxtil Malwee e da empresa Natura Cosméticos.

Fabricantes de aerogeradores

General Electric

A GE deve produzir 401,8 MW em aerogeradores na sua nova planta em Campinas/SP. Nesta nova fábrica no Brasil, a empresa espera produzir 2 tipos de aerogeradores, sendo um de 1.5 MW e um de 1.6 MW de capacidade.

Wobben

A Wobben, subsidiária da Enercon GmbH, líder mundial em tecnologia eólica, é fabricante de aerogeradores que possui 4 tipos de produto, desde 0,8 MW até 3 MW de capacidade de produção.

Impsa

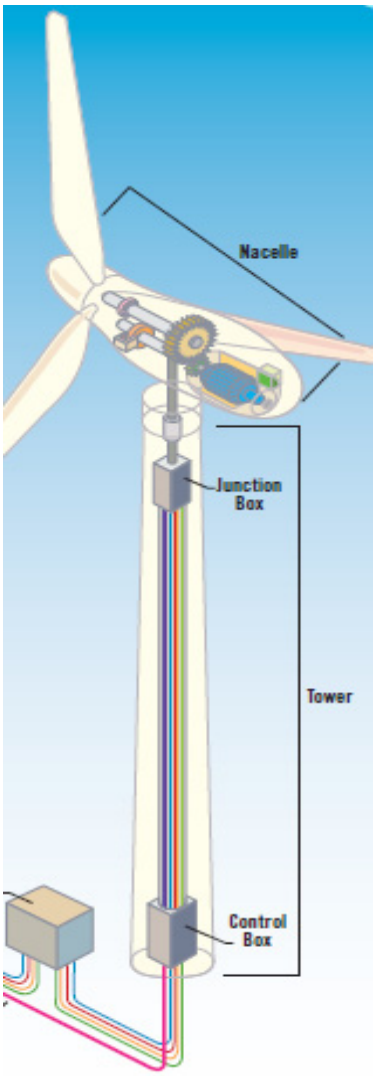
Impsa é uma empresa argentina que abriu sua primeira fábrica em Porto de Suape/PE. A empresa espera produzir cerca de 200 aerogeradores por ano, podendo expandir sua produção anual para 300 unidades.

Gamesa

Empresa espanhola que inaugurou em julho de 2011 sua primeira fábrica no Brasil, em Camaçari/BA. Inicialmente irá produzir 150 aerogeradores com 2 MW de capacidade por unidade.

2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE ENERGIA EÓLICA

Este relatório discute a aplicação de cabos elétricos isolados nos dois principais pontos, considerando-se a figura abaixo: dentro da nacele (onde o gerador se localiza) e entre a caixa de conexão e caixa de controle, pouco antes da principal transformador.



Esquema geral de um típico aerogerador

Fonte: Siemens

Sobre a manutenção das turbinas eólicas existentes e construção de novos complexos eólicos, as características corretas dos cabos tem que ser cuidadosamente definidas, a fim de evitar problemas futuros com tais aplicações.

Diferentes partes da unidade de geração demandam diferentes desempenhos. Dentro da nacele da turbina eólica, devem ser utilizados cabos de controle e de dados sujeitos a flexão contínua e cabos de força resistentes a torção e flexão devem ser usados na torre da turbina eólica.

Além da exigência de flexibilidade, também deve ser consideradas resistência térmica, resistência à abrasão, resistência a óleo e outros componentes químicos.

De modo geral, instalações de energia eólica requerem simultaneamente alta flexibilidade e resistência à torção para os cabos utilizados.

Cabos de alimentação especial, de dados, de controle e cabos de comunicação precisam ser considerados para a manutenção de parques eólicos existentes e em novos parques eólicos de grande escala, para garantir a qualidade de interconexão para a rede elétrica e sistema de comunicação.

A quantidade total de cabo necessário para apenas um gerador de energia eólica não é o mínimo que se poderia imaginar. De acordo com informações da indústria posteriormente descritas, por exemplo, uma torre de 90m com um aerogerador de 1,25 MW requer aproximadamente 1 km de cabo de alimentação. Sendo assim, 40 quilômetros seriam considerados necessários para um parque eólico com capacidade de 50MW.

3. Requisitos específicos de cabos para aplicações em geração eólica

Geradores eólicos construídos em "fazendas" estão localizados em ambientes com variação muito grande de condições meteorológicas, incluindo o próprio vento, radiação ultravioleta e névoa salina, quando perto do mar ou no mar. Como consequência natural, o desempenho do cabo em aplicações de energia eólica também é crítica.

As partes móveis da turbina eólica também aumentam a importância de uma seleção do cabo adequado.

Geradores eólicos trabalham em uma ampla faixa de temperatura (em torno de -40°C a 60°C) e grandes quantidades de exposição à radiação UV, devido à sua localização.

Como consequência, os diferentes tipos de cabos tem que suportar a mesma gama de variações. Para as partes móveis do gerador eólico, o cabo deverá ter boa flexibilidade de torção e flexão com um raio de curvatura pequeno devido a limitações de espaço.

Requisitos especiais de retardância à chama, baixa emissão de fumaça, uso de materiais livres de halogêneos (LSZH) e proteção eletromagnética também são necessários devido às considerações de segurança.

O cabo também precisa ser resistente a produtos de refrigeração, óleo, produtos químicos corrosivos e à abrasão. Sempre que o parque eólico estiver localizado perto do mar ou no próprio mar, o cabo deve também ser resistente à água salgada.

Os seguintes critérios tem de ser cumpridos, considerando a flexibilidade necessária em plantas de energia eólica.

Típica construção de cabo de força

São necessários cabos de baixa tensão com maior tolerância ao esforço de torção, alta performance contra a abrasão e faixa mais ampliada de temperatura de operação (de -40°C a +90°C), resistência a UV e ozônio, alto esforço mecânico, na condição de cabos móveis, suspensão livre ou instalação fixa.

Os cabos podem ser usados internamente, externamente e estão dimensionados para uso até 1000 V AC ou 750 V DC.

A estrutura do cabo completo também é crucial para a flexibilidade do cabo. Condutor simétrico, com uma estrutura equilibrada, normalmente proporciona um alto grau de flexibilidade.

3.1 Condutor

Considerando-se os materiais metálicos do condutor, a fim de maximizar a flexibilidade, é recomendável especificar condutores de cobre recozido com características de encordoamento com:

- Construções concêntricas com passos menores para aplicações mais flexíveis a curvas;
- Construções concêntricas com passos longos, para aplicações sujeitas a torção.

Basicamente, são especificados condutores nus flexíveis de classe 5 de acordo com as Normas DIN VDE 0295/HD 383 ou IEC 60228.

O uso de condutores de alumínio não é recomendado devido a tais condições especiais aplicadas a flexibilidade e torção, não havendo garantia de desempenho quando condutores de alumínio são usados. Os resultados do teste de performance dos cabos recomenda usar o Cobre.

3.2 Isolação

Para aumentar a flexibilidade em baixas temperaturas, polietileno termoplástico (TPE), borracha etileno-propileno (EPR, EPM ou EPDM) ou borracha de silicone (SIR) são escolhas comuns para material de isolamento para resistir à corrosão e ozônio e ao envelhecimento devido ao calor. PVC / nylon como isolação também é amplamente utilizado devido à sua alta rigidez dielétrica.

3.3 Capa

Capa com materiais resistentes ao ozônio, a UV e a óleo e resistentes ao frio, composto especial baseado em CM (polietileno clorado) ou CR (borracha de cloropreno).

3.4 Cobertura

Cobertura do cabo pode ser em compostos termofixos como polietileno clorado (CPE), policloropreno (neoprene), polietileno clorossulfonado (CSPE), borracha sintética (SR) ou compostos termoplásticos como TPE, TPE-PVC e poliuretano

(TPU). Estes materiais são resistentes a petróleo, combustíveis e solventes com flexibilidade superior sob baixas temperaturas. Tais propriedades tornam materiais de revestimento ideais para cabos de energia eólica.

4. PADRÕES TÉCNICOS PARA CABOS DE ENERGIA EÓLICA

Não há ainda normalização técnica específica para cabos em utilizados em geradores de energia eólica. As mesmas condições gerais são aplicadas aos usos similares, onde as exigências ambientais são exatamente as mesmas.

Muitos fabricantes de cabos seguem a Norma IEC 60228 classe 5 ou 6 (semelhante à DIN VDE 0295 classe 5 ou 6, HD 383, GB / T 3956 Classe 5 ou 6) para uso de cobre recozido nu ou revestido como condutor para atender a necessária flexibilidade.

A Norma Técnica IEC 60228 especifica somente as áreas transversais nominais do condutor e o número e diâmetro dos fios do condutor utilizados nos cabos elétricos.

A Especificação UL 62 refere-se a várias normas ASTM, especifica não apenas o diâmetro e a quantidade de fios do condutor, mas também as construções do condutor, como encordoamento concêntrico, condutores múltiplos e construções encordoadas gerais que são críticas para as características de flexão do cabo.

Para o isolamento e cobertura, muitos fabricantes consultados seguem a norma DIN VDE 0207-20 e DIN VDE 0207-21. HD 22.1, HD 22.4.

As Especificações UL 44 e UL 62 também são usadas como normas gerais para a produção de cabos, principalmente nos Estados Unidos.

Outras normas, como a UL 758, UL 1581, UL 1277, UL 2277, IEC 60332 são frequentemente utilizadas para dar suporte a recursos extras e avaliações de inflamabilidade.

A Especificação UL 1741:2005 - Inversores, conversores, controladores e equipamentos do sistema de interconexão para uso em fontes distribuídas de energia define requisitos para os componentes destinados ao uso em modo stand-alone (não conectadas à rede) ou no modo de conectado à rede (grid-connected) de sistemas de energia. A seção 21 desta Especificação abrange fiação interna que consiste dos cabos internos gerais ou cabos especiais para a temperatura, tensão e as condições de serviço a que o cabeamento é submetido.

Um requisito importante é definido em 21.1.3, onde:

> *"wiring extends to a hinged door or other part that is subject to movement in use, stranded conductors shall be employed and the arrangement shall preclude twisting or stressing the conductors as a*

result of movement. The wiring shall be routed or protected against damage to the insulation. The conductors shall be secured so that stress is not transmitted to terminals or splices".

Todas as partes desta Norma aplicadas a características de cabo consideram fios de cobre em construções flexíveis ou extra-flexíveis devido às limitações de condutores de alumínio. As características de flexibilidade são as exigências limitantes que não recomendam o uso de alumínio.

5. FABRICANTES DE CABOS PARA ENERGIA EÓLICA

Muitos fabricantes de cabos têm desenvolvido produtos específicos para serem usados em âmbitos de geração de energia eólica com características especiais, a fim de atender aos requisitos de desempenho quanto à flexibilidade, resistência à abrasão e flexão. Os atores principais estão listados no anexo deste relatório.

6. MÉTODOS DE ENSAIO APLICADOS PARA CABOS DE ENERGIA EÓLICA

Em ambientes automatizados atuais, uma simples falha de cabo significa desligar o sistema, ou seja, prejuízo financeiro. É recomendado que um cabo deva ser testado e garantido não só para atender as aplicações pretendidas, mas também testados e comprovados para ir além dessas aplicações.

Outro ponto fora as aplicações prováveis é a gravidade de condições. Não é suficiente simplesmente flexionar o cabo repetidamente. O cabo deve ser submetido a esforços de várias maneiras no processo não só para representar, mas para superar as condições mais abusivas.

Quando o comportamento do sistema depende da confiabilidade absoluta dos componentes, um cabo que atenda aos padrões mínimos ou simplificado de ensaios é insuficiente.

Máxima proteção contra resultados de falhas relacionadas a cabos pode ser obtida a partir de métodos rigorosos de testes que prevejam condições extremas e minimizam a probabilidade de falha.

Cabos não devem ser projetados e testados para garantir que eles possam resistir a condições prováveis. Em vez disso, as mais extremas condições devem ser antecipadas, desenvolvendo testes para simular e superá-las, assim, selecionando os materiais e desenvolvendo o cabo para se ter comportamento adequado no mais severo dos casos.

Apesar de todas as condições severas não poderem ser duplicadas exatamente, os testes podem ser padronizados para simular as reais condições e criar métodos de ensaio definidos e replicáveis.

Os métodos de teste a seguir descritos representam o know-how de vários fabricantes diferentes e foram desenvolvidos para avaliar o comportamento do cabo completo o mais próximo possível da realidade.

Um fabricante deve fornecer relatórios de ensaio. Simplesmente afirmando que o cabo é testado não é suficiente. É muito importante perguntar ao fornecedor de cabos sobre as especificações de teste e dados de desempenho, incluindo ciclos completos e não apenas uma fotografia de um processo de teste.

A fim de avaliar diferentes métodos é importante compreender os fenômenos físicos que ocorrem durante uma operação de turbinas eólicas.

Dependendo da direção do vento, o ângulo de turbinas eólicas precisa ser ajustado pelo controle de oscilação. Os cabos de energia, controle e comunicação tanto dobram ao longo do eixo horizontal como giram ao longo do eixo vertical. Esforço de torção é mais grave e exige maior atenção.

Mesmo atualmente não existe um padrão ou regulamentação para esforço de torção. Empresas operadoras das centrais eólicas normalmente preferem que os cabos sejam testados por algum método reconhecido antes de serem colocados em serviço.

De acordo com a Alpha Wire, o método seguinte é comumente adotado por usuários de cabos:

6.1 TESTE DE ESFORÇO DE TORÇÃO DE UM ÚNICO CABO SOB A BAIXA TEMPERATURA (-40°C):

- Uma amostra de 10m de cabo suspenso verticalmente é fixado no topo; fixando a extremidade inferior a um mecanismo de rotação.
- Em primeiro lugar, torcer o cabo quatro voltas no sentido horário (+1440º) e, em seguida, destorcer quatro voltas anti-horário de volta para sua posição original.
- Em seguida, torcer o cabo quatro voltas anti-horário (-1440 º) e depois no sentido horário destorcer quatro voltas de volta para sua posição original.
- Repetir o procedimento anterior para 5000 ciclos completos, para simular o uso por 20 anos. O cabo é considerado aprovado se, após passar pelos ciclos do teste, não apresentar quebra abaixo de 2,5 U0 após 5 minutos e sem rachaduras mostradas na cobertura.

Note: U0 é 600, 1000 ou 2000 V de acordo com a classe de tensão do cabo.

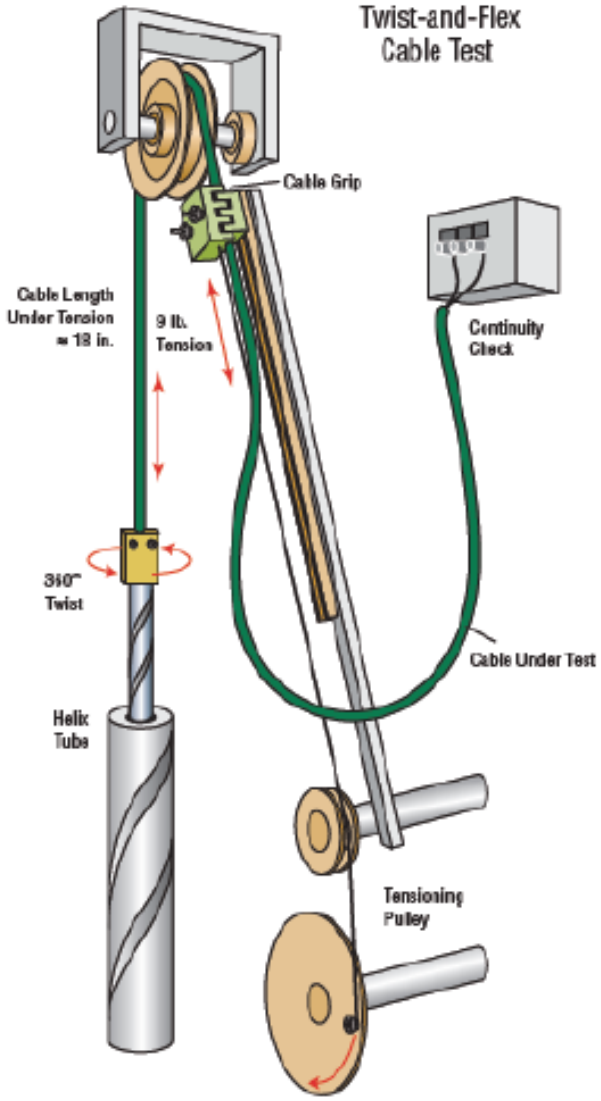
6.2 TESTE DE ESFORÇO DE TORÇÃO DE UM FEIXE DE CABOS

O procedimento de teste é o mesmo que o anterior, mas por feixe de cabos.

De acordo com Northwire, há mais quatro métodos aplicados para condições especiais:

6.3 "MODO B", ROLLING/TORSION FLEX TEST (VEJA FIGURA ABAIXO)

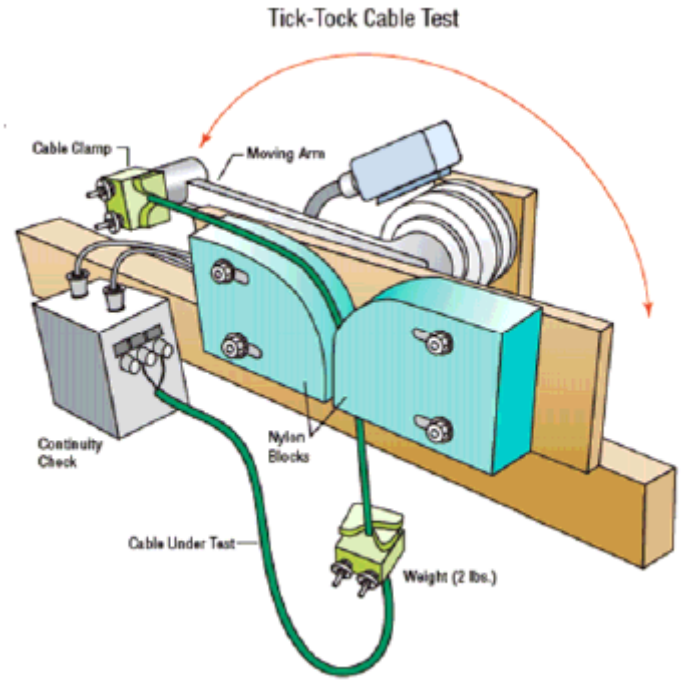
- O cabo é puxado cerca de 18" ao longo de uma roda de 3" de raio e torcido em 360°.
- Todo o processo de torção é aplicado no trecho de 18”.
- É aplicada uma força-peso de 9 libras no cabo enquanto é torcido. O valor de peso é determinado pelo tamanho do cabo e condutores internos. (A máquina o puxa para cima e gravidade o puxa de volta para baixo)
- Como acima, os condutores são encadeados e são continuamente monitorados. A velocidade é a mesma que acima. (Um ciclo é um esforço para cima e um para baixo, resultando em duas voltas de 360°)



Northwire *Rolling/Torsion Flex Test*

6.4 Esforço de curvatura (tick-tock) – (veja figura abaixo)

- Ela ocorre quando uma extremidade do cabo está parada enquanto um movimento de flexão em torno de um objeto fixo existe em outro ponto do comprimento do cabo.
- O cabo é flexionado em 90^{o} sobre um bloco de nylon, de volta à posição neutra e para trás 90^{o} sobre o outro bloco de nylon.
- Um peso de duas libras é aplicado ao cabo enquanto ele é flexionado. Um ciclo é uma curva de 90 graus em ambas as direções.
- Um ciclo é completado a cada dois segundos e o cabo é testado até a falha - se passado 1 milhão, 2 milhões, 10 milhões, 20 milhões ou mesmo 30 milhões de ciclos.



Northwire Flexão de curvatura (tick-tock)

6.5 Rolling flex (torcer e flexionar)

- É comumente aplicado em sistemas de instalação em calhas.
- Adicionalmente a esforços provocados por rolling flex, cabos em calhas também podem ser submetidos a abrasão, comprimindo e torcendo em múltiplos eixos de direção.
- Não há testes padronizados que levem em conta todos os tipos de cabos e modos de instalação.

- Fornecedores de cabos também tem pouco ou nenhum controle sobre como os cabos são instalados em calhas. Na melhor das hipóteses, um fabricante de cabos pode submeter o cabo às condições mais esperadas de severidade nesta condição de instalação

6.6 Abrasão

O teste padrão da indústria para resistência à abrasão é a Especificação UL 1585 (parte da Especificação 1510) - teste de abrasão.

7. Conclusões e recomendações

7.1 Conlusões

Este relatório técnico apresenta o estado atual de cabos elétricos isolados em aplicações verticais para a indústria de energia eólica. São mostrados os requisitos especiais para cabos de energia eólica, sua construção e desempenho.

Os dados do mercado de energia eólica e a tendência de crescimento no Brasil e no mundo justificam a preocupação com os requisitos exatos para cabos isolados devido às condições especiais aplicadas durante a operação regular, principalmente em esforços de flexão e torção simultâneos.

O uso de cabos comuns não especificamente projetados para suportar as condições ambientais da geração de energia eólica (terrestres ou marítimas) pode constituir um risco, por causa da probabilidade considerável de falha, uma vez que não são projetados e construídos com projetos e materiais adequados.

O status de fabricação de cabos especiais é bem desenvolvido e os produtos são fornecidos regularmente por empresas multinacionais com grande tradição no desenvolvimento de produtos e materiais.

Como pode ser visto neste relatório, com base em todos os dados técnicos disponíveis a adoção de condutores de alumínio mesmo com características melhores do que poderia ser obtido em condutores regulares (por exemplo, para uso em cabos nus e cabos isolados regulares) é um risco grave para o comportamento da unidade de geração, porque:

- Fios de alumínio submetidos a esforço contínuo, devido à flexão e à torção, podem apresentar ruptura por fadiga e deformação;
- Como consequência, o isolamento, a capa interna e a cobertura podem ser danificadas como resultado de problemas do condutor;
- Métodos de ensaio e equipamentos especiais estão bem disponíveis para dar ao projetista todos os dados técnicos necessários para a garantia de execução;
- Não há dados disponíveis sobre o desempenho de cabos de alumínio testados de acordo com os métodos aqui descritos;

- A mesma falta de informação se aplica ao desempenho dos cabos de alumínio submetidos a agentes químicos e ambientes offshore e do impacto nas conexões, corrosão e fragilidade;
- Falha em um gerador de energia eólica significa longos períodos sem geração de energia, manutenção complicada e os custos relacionados altos. Economizando em custos iniciais pode ser perigoso, considerando investimentos de longo prazo;

O resumo das consequências devido à falha de cabos de alumínio é uma perda significativa de lucros porque qualquer manutenção é complexa e pode levar um longo tempo.

7.2 RECOMENDAÇÕES

A primeira recomendação para trabalho futuro é analisar o impacto dos custos de cabos verticais no valor total da unidade geradora, de modo que pudesse ser determinado se a economia inicial usando cabos de alumínio em vez de cobre compensa os riscos discutidos no item 7.1.

Além disso, uma análise do ciclo de vida completo deve ser realizada considerando também eventual perda de rendimentos devido à falha de cabos.

É uma recomendação ainda mais forte a partir deste relatório, desenvolver um programa de testes especial para ser aplicado aos cabos utilizado em projetos brasileiros, a fim de comparar o comportamento diferente de cabos submetidos a condições adversas de geradores de energia eólica durante a operação normal e anormal.

Em relação a laboratórios no Brasil, os fabricantes de cabos principais podem também realizar testes em suas empresas no exterior ou adaptando suas instalações existentes no próprio país.

Em um prazo relativamente curto (6 meses), pelo menos um laboratório tradicional no Brasil (IEE / USP) pode desenvolver o equipamento e dispositivos para realizar os testes especiais discutidos neste relatório.

ANEXO

FABRICANTES DE CABOS PARA GERAÇÃO EÓLICA

Este Anexo mostra os principais fabricantes de cabos utilizados nas unidades de geração eólica, transcrevendo a descrição resumida original obtida de suas especificações emitidas. Para manter as informações originais das fontes dos fabricantes, está sendo mantido o idioma original.

ALLIED WIRE AND CABLE

WIND FARM CABLE

Wind farm cables are environmentally friendly cables used in wind turbine cable applications. All of Allied's wind farm cables are rated WTTC cable. Wind farm cables are designed to endure challenging wind farm cable environments, flexible and easy to install, also resistant to oils, chemicals, fuels, solvents, and abrasion.

Wind power cable, including WTTC cables such as Megaflex Wind Turbine Cable, Servo Wind Farm Cable, MSI Wind Power Cable, and VFD Wind Turbine Cable are part of Allied's inventory of green energy cables.

Wind turbine cable requires quality, durability and performance to withstand the rigors of wind power cable environments, so wind turbine cable is oil, solvent, chemical and fuel resistant. The MSI wind power cable is also abrasion resistant. The families are:

- Standard Flex Wind Power Cable (WTTC Rated)
- Megaflex Wind Turbine Energy Cables (WTTC Rated)
- Premium Flex Wind Power Cable (WTTC Rated)
- Servo Cable (WTTC Rated)
- VFD Cable (WTTC Rated)

Allied carries five different types of wind turbine cable and MSI wind power cable. All wind cables are WTTC cables, 1000 volt rated, with bare copper conductors. Standard Flex Wind Power Cable and Megaflex Wind Turbine Cables have solid PVC fillers, while VFD Wind Power Cable and Premium Flex Wind Power Cable have FR-Fibrillated Polypropylene filler. While Standard Flex Wind Power Cable has nylon tape insulation, Megaflex Wind Turbine Cable and Premium Flex Wind Turbine Cable have expanded PTFE tape insulation. WTTC Cable - Servo Wind Farm Cable does not have taped insulation or fillers.

The UL requirements indicate WTTC cable for use as wind turbine cable. The WTTC cable rating is relatively new for wind farm cable. In the past, any cable could be used as wind farm cable, but that led to costly maintenance and repairs. Using WTTC cable helps save on repair costs, and ensures you get the most out of your wind power cable application. WTTC cable, including wind

turbine cable, MSI wind power cable, and wind farm cable, is flexible, easy to install, and can be used in tight spaces.

STANDARD FLEX WIND POWER CABLE (TESTED TO 1 MILLION CYCLES)

Standards:

- UL Dual Listed: WTTC Cable and TC-ER
- c(UL) CIC
- DRY FT4
- RoHS Compliant

Ratings:

- Voltage:
  - WTTC 1000 Volts
  - TC-ER 600 Volts
- Temperature:
  - Max. Temperature: 90°C

Applications:

- Wind Power Cable is used in wind turbine applications.

Construction:

- Conductor: 4 Bare Copper Conductors
- Insulation (Inner): PVC
- Insulation (Outer): Nylon
- Color Code: Black with White Numbers and a Green/Yellow Ground
- Fillers: Solid PVC Filler
- Wrap: Nylon Spun Tape, 25% overlap
- Shield: Tinned Copper Braid, 85% Coverage (parts AWC-59978 to AWC-55986 are shielded)
- Jacket: PVC with Separator Tape
- Jacket Color: Black
- Print Legend (Green Ink): GreenLINX E329622xx AWG 4/C (UL) Type WTTC 1000V 90°C FT4 OR TC-ER 600V 90°C FT4 OR c(UL) CIC 90°C DRY FT4 OR AWM 2587 --- STANDARD FLEX RoHS

Characteristics:

- Recyclable
- Resists oils, solvents, chemicals, and fuels
- Abrasion resistant

- Flexible, easy to install
- Suitable for tight spaces
- Designed for light to moderate flexing applications

PREMIUM FLEX WIND POWER CABLE (WTTC RATED) (TESTED TO 20 MILLION CYCLES)

Standards:

- UL Dual Listed:
  - WTTC Cable 1000 Volts
  - TC-ER 600 Volts
- DRY FT4
- 90°C
- RoHS Compliant

Applications:

- Wind turbine cable is used in renewable energy applications.

Construction:

- Conductor: 4 Bare Copper Conductors
- Insulation (Inner): Polyester Elastomer
- Color Code: Black with white numbers, Green/Yellow Ground
- Fillers: Fibrillated Polypropylene Filler
- Wrap: Expanded PTFE Tape, 50% overlap
- Jacket: Black C&M Duralon (Thermoplastic Rubber Blend with 15 year proven durability in chemical and abrasion resistance from high abuse and continuous flex applications) with Separator Tape
- Print Legend (Green Ink): GreenLINX E329622xx AWG 4/C (UL) Type WTTC 1000V 90°C FT4 OR TC-ER 600V 90°C FT4 OR c(UL) CIC 90°C DRY FT4 OR AWM 2587 --- CONTINUOUS FLEX RoHS

Characteristics:

Recyclable

- Resists oils, solvents, chemicals, and fuels
- Abrasion resistant
- Flexible, easy to install
- Suitable for tight spaces
- Designed for light to moderate flexing applications

SERVO CABLE (WTTC RATED) (TESTED TO 20 MILLION CYCLES)

Standards:

- UL Dual Listed Wind Cable:
  - WTTC 1000 Volts
  - TC-ER 600 Volts
- c(UL) CIC
- DRY FT4
- 90°C
- RoHS Compliant

Construction:

- Construction of Wind Cable Inners:
  - Wind Cable Element #1 (4 Conductors):
    - Conductor: Bare Copper
    - Insulation: Polyester Elastomer
    - Color Code: Black with white printed numbers
    - See chart for more information
  - Wind Cable Element #2 (Twisted Pair):
    - Conductor: 18 AWG (41/34) Bare Copper
    - Number of Pairs: 1
    - Insulation:
      - Material: Polyester Elastomer
      - Nom. O.D.: 0.067" ± 0.002"
      - Color Code: Black with white printed numbers
    - Shield:
      - Tape Shield: Aluminum/Polyester Tape with 25% overlap
      - Braid Shield: 36 AWG Tinned Copper Braid with 65% Coverage, 85% Overlap
    - Jacket:
      - Material: Polyester Elastomer
      - Wall Thickness: 0.012"
      - Final O.D.: 0.184" ± 0.005"
      - Color: White
  - Wind Cable Element #3 (Optional 2nd Twisted Pair):
    - Conductor: 18 AWG (41/34) Bare Copper

- Number of Pairs: 1
- Insulation:
  - Material: Polyester Elastomer
  - Nom. O.D.: 0.067" ± 0.002"
  - Color Code: Black with white printed numbers
- Shield:
  - Tape Shield: Aluminum/Polyester Tape with 25% overlap
  - Braid Shield: 36 AWG Tinned Copper Braid with 65% Coverage, 85% Overlap

- Jacket:
  - Material: Polyester Elastomer
  - Wall Thickness: 0.012"
  - Final O.D.: 0.184" ± 0.005"
  - Color: Black
- Wind Cable Jacket Construction:
  - Jacket Material: C&M Duralon (Thermoplastic Rubber Blend with 15 year proven durability in chemical and abrasion resistance experienced during high abuse and continuous flex applications) with Separator Tape
  - Jacket Color: Black

Characteristics:

- Recyclable wind cable
- Resistant to oils, solvents, chemicals, fuels, abrasion
- Flexible and easy to install
- Suitable for tight spaces
- Designed for light to moderate flexing wind cable applications

MEGAFLEX WIND TURBINE ENERGY CABLES (WTTC RATED) (TESTED TO 10 MILLION CYCLES)

Industry Standards:

- UL Dual Listed:
  - WTTC 1000 Volts
  - TC-ER 600 Volts
- c(UL) CIC
- DRY FT4

- 90°C
- RoHS Compliant

Construction:

- Conductor: Bare Copper
- Insulation (Inner): PVC
- Insulation (Outer): Nylon
- Color Code: Black, Brown, Blue, Green/Yellow Ground
- Number of Conductors: 4
- Fillers: Solid PVC Filler
- Wrap: Expanded PTFE Tape with 50% overlap
- Jacket: C&M Duralon (Thermoplastic Rubber Blend with 15 year proven durability in chemical and abrasion resistance experienced during high abuse and continuous flex applications) with Separator Tape
- Jacket Color: Black

Characteristics

- Recyclable
- Resists oils, solvents, chemicals, and fuels
- Abrasion resistant
- Flexible, easy to install
- Suitable for tight spaces
- Designed for light to moderate flexing applications

VFD CABLE (WTTC RATED) (TESTED TO 20 MILLION CYCLES)

Standards:

- UL Dual Listed:
  - WTTC Cable 1000 Volts
  - TC-ER 600 Volts
- c(UL) CIC
- DRY FT4
- 90°C
- RoHS Compliant

Applications:

- WTTC VFD Cable is used in wind turbine cable applications.

Construction:

- Conductor: 4 Bare Copper Conductors
- Insulation (Inner): Polyester Elastomer
- Color Code: Black with white printed numbers, Green/Yellow Ground
- Fillers: Fibrillated Polypropylene Filler
- Wrap: Aluminum (Out)/Polyester Tape, 25% overlap
- Shield: Tinned Copper Braid Shield, 85% Coverage
- Jacket: Black C&M Duralon (Thermoplastic Rubber Blend with 15 year proven durability - chemical and abrasion resistant for high abuse and continuous flex applications) with Separator Tape

Characteristics

- Recyclable
- Resists oils, solvents, chemicals, and fuels
- Abrasion resistant
- Flexible, easy to install
- Suitable for tight spaces
- Designed for light to moderate flexing applications

NEXANS

WINDLINK (N)TSCGEHXOE

Torsion resistant medium-voltage trailing cable for free hanging of max. 100 m Resistance against: - permanent movement - permanent vibrations - compressive stress - temporary influence of seawater - suitable for torsion of max. +/- 100°/m

Application

Medium-voltage trailing cable WINDLINK® MV-RS (N)TSCGEHXOE in two sheath design was developed for special application condition in wind turbines

The construction is torsion resistance by free hanging max. 100 m.

These cables are specified for medium mechanical stress and for operation under permanent influence of seawater and usage outdoor.

Conductor:

Copper, plain, flexible concentrically stranded circular, class 5 according to IEC 60228

Insulation:

All three layers are extruded in one extrusion process and free of hollow space

- Inner semi-conductive stress control layer, fixed with insulation

- Elastomeric extruded special rubber compound RHEYCLEAN HV-EPR, quality better than 3GI3 acc. to DIN VDE 0207 part 20, based on EPDM, optimized wall thickness

- Outer semi-conductive insulation shield layer, easy strip (Thermostrip), compound basis EVA.

Protective-core

Conductor screen: extruded semi-conductive rubber

Inner Sheath

Extruded special rubber compound:

Quality better than GM1b, acc. to DIN VDE 0207 part 21, fulfill the requirements of EM1, nature colour, the filling of the interstices is integral part of the inner sheath and out of the same material, produced in same process with outer sheath.

Outer Sheath

Extruded special rubber compound:quality better than EM8 acc. DIN EN 50363-6, based on EVA, water and oil resistant, flame retardant, abrasion and notch-resistant

WINDLINK® H07 BN4-F & UL/CSA 1000V 90°C

CENELEC HD 22-12; EN draft 50525.2Appliance Wiring Material UL 758 standard certified

1000 V – 90°C

Style 3850 for single cores & Style 4558 for multi-cores

Application

This cable is specially designed for Wind Turbines.

The quality of material used for insulation and sheathing and high quality copper conductors make the cables both flexible, durable, resistant to torsion and to high temperatures.

Main characteristics

- Frequent torsion: Excellent torsion behavior
- Industrial cables resistant to high temperatures
- Heavy duty
- Temperature on core: 90°C in normal use; 250°C in short circuit
- Water resistance: AD2, AD6
- Corrosive and polluting substances resistance: AF3
- Outdoor use : temporary and permanent
- Impact resistance: AG2
- Oil resistant ASTM/IRM 902 - Tribol 1710/320 - Mobil DTE 13
- UV resistant for external application
- Ozone resistant

- Flame retardant (IEC/EN 60332-1)

Design

1. Conductor :

- Flexible (fine wire class 5 of IEC/EN 60228)
- Annealed plain copper - Optional PET separator

2. Insulation :

- Special cross-linked EI7 rubber for high temperatures (EPDM class 28)
- Special thermoset EPR for high temperature
- Optional PET tape on insulation or assembling

3. Sheath:

- High mechanical performance
- Special cross-linked EM7 rubber (CPE class 42)
- Special thermoset CPE improved for low temperature behaviour (-40°C)
- Oil ,Ozone and flame retardant.
- Colour :black

Usage characteristics:

Mechanical stress : (on the whole cable, per mm² of a cross section of plain copper core): In normal use 15 N/mm²

Mechanical characteristics:

Bending Radius:

- Mobile use = 6 x External diameter.
- Static use = 3 x External diameter , if the external diameter < 12mm, 4 x if the external diameter >12 mm.

Electrical characteristics:

Permissible current rating:

- Permanent temperature of operation on the core 90°C
- Ambient temperature for an outdoor installation 30°C

NORTH WIRE INC.

WIND TURBINE TRAY CABLE

- WTTC Rated 1000V
- Plain copper conductor
- UL/CSA
- Hi-flex cables designed to handle torsional bend, heat, oil and vibration typically found in the nacelle

ENDUROFLEX® XM & CRXM

- Hi-flex, low-voltage control cable for the nacelle of wind turbines
- Plain copper conductor
- Rated for 20+ million flex cycles
- Highly oil, chemical and abrasion resistant

ENDUROFLEX ERP

- Flexible power cables for wind turbines
- Plain copper conductor
- UL/CSA – highly oil resistant

RIG 300

- Cable for offshore wind turbines
- THHN/THWN -25°C
- UV rated, water resistant

ITC/PLTC CABLE

- Low voltage instrumentation tray cable and power limited tray cable
- Exposed run (ER) rated for use in wind turbines

RESILIENCE™ WIND TURBINE TRAY CABLE

Resilience Cables are engineered and constructed with high-performance stranding that is rated for constant flex per NFPA 79 (12.2.2). Resilience is assurance of ultrareliable results in the wind turbine nacelle for low-voltage control, data, communication and exposed-run and power applications.

- • Outstanding torsional and bend high-flex-life
- • Proven to exceed Northwire's cold-bend test as low as -40ºC

- • Highly oil resistant (Oil Res I and II) and FT4 flame rated
- • Performance tested for exceptional flexibility
- • Available in 300V, 600V and WTTC-rated 1000V standard configurations
- • Numerous options for customization to support evolving technology
- • TC-ER (tray cable, exposed-run) rated and WTTC UL 2277 compliant

PRYSMIAN

Low Voltage cables with increased tolerance to torsional stress, improved behavior against abrasion and extended temperature range (from -40° C to +90°C) UV - and ozone resistant for use and installation in wind turbines at high mechanical stress as free movable, free hanging or fixed wiring.

In the case of free-hanging operation the cables are twistable.

The cables can be used indoor, outdoor, in industrial plants and are allowed for use up to 1000 V AC or 750 V DC.

In other respects DIN VDE 0298-300 (HD 516) applies.

Design

According to DIN VDE 0282-12/HD 22.12

Conductor

Flexible bare copper conductor, finely stranded, class 5 according to DIN VDE 0295/HD 383/IEC 60228

Insulation

Cold and heat-resistant insulation, based on EPR (ethylene-propylene-rubber)

Cores identification

Core colors according to DIN VIDE 0293/HD 308

Sheath

Sheath made of ozone + UV-resistant oil and cold-resistant special compound based on CM (chlorinated polyethylene) or CR (chloroprene rubber)

Color of outer sheath

Black

Construction

Maximum permissible operating voltage U_b max

- Single-phase and three-phase AC operation Line-Earth/Line-Line 476/825 V

- DC-operation Line-Earth/Line-Line 619/1238 V

AC test voltage

2.5 kV (test duration 15 min.)

Electrical parameters

- Max permissible operation temperature at conductor +90 °C

- Max permissible short circuit temperature at conductor +250 °C (max. 5 s)

- Min permissible temperatures (operation, installation, transportation and storage) when in motion and stationary -40 °C

Tensile parameters

- Max permissible tensile load 15 N/mm2 taking into account the entire copper cross-section

- Min bending radii

- Torsional stress for free hanging ±150 °/m

Mechanical parameters

> Oil resistance test according to DIN EN 60811-2-1

> Fire behavior test according to IEC 60332-1-1

> Ozone resistant test according to DIN EN 50396

> UV resistant test according to ISO 4982-2, method A

MDJ

REFERÊNCIAS

Aluminum Association – Aluminum Conductors Handbook – 1997, New York

Aeris Energy, em http://www.aerisenergy.com.br

Allied Wire and Cable, General Catalogue - 2010

Alpha Wire Company em http://www.alphawire.com

Asea Brown Boveri – ABB – Product Development Department

Associação Brasileira de Energia Eólica – Abeeolica, em http://www.abeeolica.org.br

Associação Brasileira de Energias Renováveis e Meio Ambiente – Abeama

Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – Abinee – AbineeTec reports em http://www.tec.abinee.org.br/2009/

Centrais Elétricas Brasileiras – Eletrobrás - Programa Procel. http://www.eletrobras.gov.br

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Balanço Energético Nacional BEN-2008, Rio de Janeiro.

IEA (International Energy Agency), 2007. Energy Balances of OECD Countries, 2004-2005. IEA/OECD, Paris.

Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo - IEE/USP, Laboratório de Ata Tensão

LM Wind Power em http://www.lmwindpower.com

PNE-2030, 2007. Planejamento e Desenvolvimento Energético. MME. http://www.mme.gov.br em 09/08/2011

WWEA – World Wind Energy Association - World Wind Energy Report 2010 em http://www.wwindea.org

Nexans e-catalogue em http://www.nexans.com

North Wire Inc., em http://www.northwire.com

Prysmian Brasil – Departamento Técnico – Cabos de Energia, Santo André - Brasil

Prysmian Cables and Systems – special cables (wind power lines) em http:www.prysmian.com

Iberdrola Renovables, em http:// www.iberdrolarenewables.us

Renova Energia, Departamento de Projetos e em http:// www.renovaenergia.com.br

DESA – Dobrevê Energia em http:// www.desa.com.br

General Electric Company em http:// www.ge-energy.com/wind

Wobben Wind Power – Plant em Sorocaba e http:// www.wobben.com.br

Impsa Sauipe e http:// www.impsa.com/pt/produtos/impsawind

Gamesa Corporación Tecnológica em http:// www.gamesa.es