

Estágio na Empresa SOLIDAL na área de Produção e Qualidade




Ciência.Inovação
2010

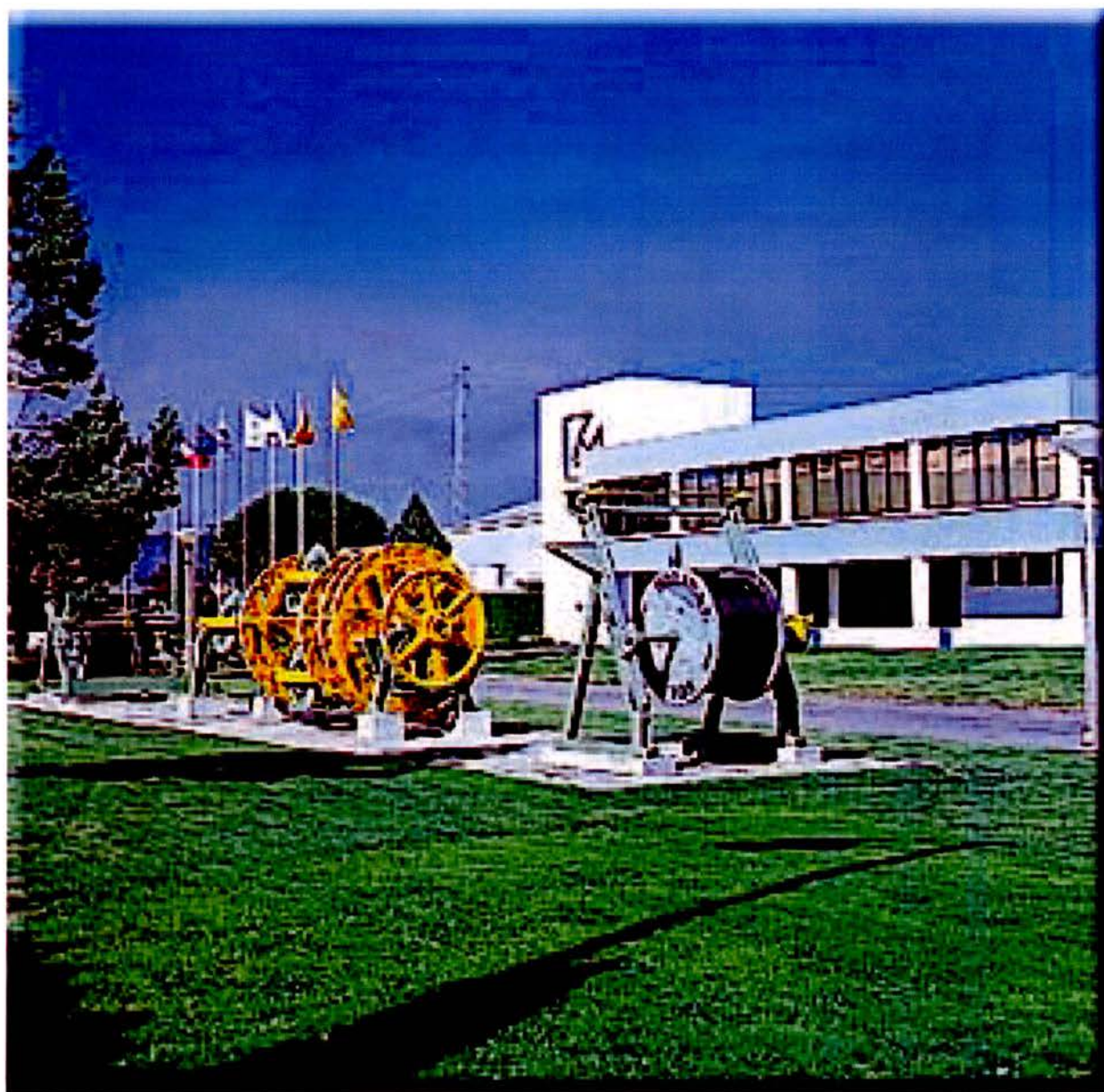
Programa Operacional Ciência e Inovação 2010

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

621.3(047.3)/
LEEC
2006/FLOv



Estágio na Empresa SOLIDAL na área de Produção e Qualidade




Ciência.Inovação
2010

Programa Operacional Ciência e Inovação 2010

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR



FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Estágio na empresa SOLIDAL na área de Produção e Qualidade

Vasco Fernandes Flores

Finalista em Engenharia Electrotécnica
Pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Trabalho realizado sob a supervisão de
Engenheiro José Veiga da SOLIDAL Condutores Eléctricos, S.A. e
Professor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura
do Departamento de Engenharia Electrotécnica e Computadores
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Esposende, Junho de 2006



Programa Operacional Ciência e Inovação 2010
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

621.3(047.3)/LEEC 2006 FLOW

Universitat de Friburg
Faculdade de Engenharia
Biblioteca
Nº 105240
CDU
Data 24 02 2010

Resumo

O presente relatório serve como apresentação do trabalho desenvolvido ao longo do estágio realizado na empresa SOLIDAL Condutores Eléctricos SA, na área de Produção e Qualidade.

O facto de se tratar de uma empresa de média-alta dimensão que centra as suas acções principalmente na produção de cabos eléctricos de energia, mercado esse muito competitivo, implica um esforço contínuo na área de qualidade, pesquisa e desenvolvimento, de forma a não ser ultrapassada pela concorrência do sector.

Assim, no relatório estará patente este esforço e poderá ser subdividido em três grandes capítulos:

- o primeiro corresponde ao desenvolvimento de um novo ensaio de qualificação para um cabo de Alta Tensão segundo a especificação ENDESA KNE 001 00 doc.
- o segundo é relacionado com a pesquisa e planeamento de um novo ensaio de envelhecimento acelerado da vida de um cabo de Média Tensão.
- o terceiro corresponde ao dimensionamento das protecções de Terra do novo laboratório de Alta Tensão da empresa SOLIDAL.

Summary

The present report serves as presentation of the work developed throughout the period of training carried through the company SOLIDAL Condutores Eléctricos SA, in the area of Production and Quality.

The fact of we are dealing with a company of upper middle dimension that mainly points its shares in the production of electric cables of energy, a very competitive market, implies a continuous effort in the quality area, searches and development, of form not to be exceeded by the competition of the sector. Thus, in the report this effort will be clear and could be subdivided in three great chapters, such as:

- first one corresponds to the development of a new qualification test for a high-voltage cable specification ENDESA KNE 001 00 doc.
- second is related with the research and planning of a new assay in order to accelerated aging of the life in a Medium Voltage distribution cable.
- third corresponds to the sizing of the earthing connections of the new high-voltage laboratory in the company SOLIDAL.

Prefácio

“A tradição ainda é o que era”¹

O trabalho realizado ao longo do estágio vem dar continuidade a um projecto desenvolvido há longos anos pela empresa SOLIDAL que procura sistematicamente atingir níveis elevados de modernização e aperfeiçoamento de modo a fazer face aos desafios que o futuro acarreta.

O facto de desde logo ter habituado os seus clientes a padrões elevados de competência e eficácia, obriga a um contínuo esforço, de maneira a dar respostas eficazes e actualizadas a todos os problemas que porventura poderão surgir.

Sendo assim, o primeiro desafio colocado foi o estudo e a planificação para um ensaio de qualificação requerido pelo cliente ENDESA que deveria ser realizado no primeiro semestre do ano 2006.

O ensaio tem o nome de Pressão Lateral².

Foi necessária uma pesquisa atenta uma vez que este ensaio nunca tinha sido realizado e tinha por detrás uma componente teórica vasta, particularmente no domínio da física e em muito particular nas chamadas forças conservativas.

O documento técnico³ normativo aplicado a este ensaio era pouco claro em certos aspectos nomeadamente à disposição, localização e duração do ensaio mas deixava bem claro o objectivos do ensaio.

Segundo o documento IEC 20/740/DTR em particular no ponto 5.2 e também o documento ENDESA KNE 001 secção 10.5.10 em que o ensaio é baseado, a pressão lateral exercida ao cabo tem de ser de 750 kgf/m. O cabo terá de passar pela virola num sentido e depois pelo outro. É também obrigatório que o cabo esteja sempre em contacto com a virola e que o ângulo de contacto seja de 90°.

O segundo desafio apresentado que ocupou todo o estágio foi a pesquisa para a realização de um novo ensaio de envelhecimento acelerado da vida de um cabo de Média Tensão.

Aqui a dificuldade maior a ser vencida foi em termos de pesquisa, uma vez que este tipo de ensaio apenas é realizado pelos melhores laboratórios a nível mundial tais como o KEMA, SINTEF e Hydro-Québec.

O facto de a empresa ter este ensaio a decorrer no SINTEF e de já ter sido realizado um ensaio deste tipo no KEMA foi uma importante ajuda em termos de planeamento e logística.

O último desafio colocado foi o dimensionamento das protecções de Terra do novo laboratório de Alta Tensão a ser construído brevemente na empresa.

O facto de a empresa já ter realizado contactos com diversas entidades especializadas no assunto ajudou e muito ao dimensionamento das protecções apesar de que este novo laboratório de Alta Tensão coloca alguns problemas pouco habituais num dimensionamento “típico”.

Num dimensionamento “típico” o método tradicional consiste em aumentar as secções dos condutores de terra da malha afim de reduzir a resistência e assim baixar o mais possível a impedância de terra já que este é o objectivo maior no projecto de um sistema de protecção.

¹ Prefácio do Guia Técnico da Empresa SOLIDAL condutores eléctricos, SA.

² Sidewall Pressure Test

³ IEC Draft Technical Report 20/740/DTR

Índice

Página

Capítulo I – Ensaio de Pressão Lateral

I 1.1 Fundamentos teóricos:	10
I 1.2.1 Aplicação da norma:	10
I 1.2.2 Escolha do lubrificante:	12
I 1.2.3 Montagem teórica do ensaio:	13
I 2 Data de realização do ensaio:	15
I 2.1 Montagem do ensaio:	15
I 2.2 Realização do ensaio:	19
I 3 Conclusões:	24

Capítulo II - Ensaio de envelhecimento acelerado

II 1.1 Introdução geral:	25
II 1.2 Ensaio normalizado:	26
II 1.3 Definições:	26
II 2.1 Estrutura de Ensaio:	27
II 2.2 Ensaio Prévio (Pré-condicionamento) da amostra:	30
II 2.3 Envelhecimento:	31
II 2.3.1 Procedimento a seguir no envelhecimento:	31
II 2.3.2 Avaliação do envelhecimento:	31
II 2.3.3 Esquemas eléctricos usados:	32
II 3 Weibull:	34
II 3.1 Fundamentos teóricos:	34
II 3.2 Fundamentos práticos:	34
II 4 Temperatura:	36
II 4.1 Temperatura da água:	36
II 4.2 Temperatura ambiente:	36
II 5 Água:	37
II 6 Tensão:	38
II 6.1 Aplicação:	38
II 7 Conclusões:	39

Capítulo III - Terras de Protecção

III 1.1 Fundamentos teóricos:	41
III 1.2.1 Esquemas e ligações a seguir:	42
III 1.2.2 Regras a seguir:	43
III 1.2.3 Outras considerações:	44
III 3 Dimensionamento da malha de terra:	46
III 4 Conclusões:	47

Índice de figuras e tabelas

Fluxograma 1.....	9
Equação 1.....	10
Equação 2.....	11
Equação 3.....	11
Equação 4.....	14
Equação 5.....	19
Equação 6.....	34
Equação 7.....	34
Figura 1: Montagem do ensaio.....	13
Figura 2: Virola única	14
Figura 3: Esferas de suporte.....	14
Figura 4: Montagem inadequada.....	14
Figura 5: Virola utilizada.....	15
Figura 6: Empilhadora utilizada.....	16
Figura 7: Montagem real do ensaio.....	16
Figura 8: Saída do fio.....	17
Figura 9: Máquina TESMEC.....	17
Figura 10: Conexão entre fio e cabo.....	18
Figura 11: Preparação final para o ensaio.....	18
Figura 12: Lubrificante utilizado.....	20
Figura 13: Aplicação do Lubrificante.....	20
Figura 14: Dynablue em acção.....	21
Figura 15: Valores lidos no dinamómetro.....	22
Figura 16: Final de ensaio.....	22
Figura 17: Aplicação contínua de Lubrificante.....	23
Figura 18: Localização das amostras retiradas.....	23
Figura 19: Inspecção Visual.....	24
Figura 20: Instalação típica de um AWTT.....	28
Figura 21: Instalação típica de um ACLT.....	28
Figura 22: Disposição das amostras (vista lateral)	29
Figura 23: Disposição das amostras (vista frente)	29
Figura 24: Esquema Eléctrico típico.....	33
Figura 25: Esquema Eléctrico alternativo.....	33
Figura 26: weibull.....	35
Figura 27: Regressão weibull.....	35
Figura 28: Esquema.....	42
Figura 29: 1º e 10º impulso positivo.....	45
Figura 30: 1º e 10º impulso negativo.....	45
Figura 31: Malha 1; Figura 32: Malha 2; Figura 33: Malha 3; Figura 34: Malha	46
Figura 35: Tanque hermético utilizado.....	56
Figura 36: Tanque utilizado pelo SINTEF.....	57
Figura 37: Acoplador.....	57
Figura 38: Transformador.....	58
Figura 39: Arrumação dos acopladores.....	58
Figura 40: Registo informatizado.....	58
Tabela 1.....	12
Tabela 2.....	12
Tabela 3.....	30

Glossário

ACLT: teste de aceleração da vida do cabo (accelerated cable life testing)

α : ângulo de curvatura ou média estatística de Weibull

β : parâmetro de forma

AWTT: teste de aceleração da formação de arborescência (accelerated water-treeing testing)

d: diâmetro do condutor

D: diâmetro exterior real

DSC: scanner ao diferencial térmico (differential scanning calorimetry)

e: número de Nepper (2,7182818...)

EPR: Borracha etileno-propileno (ethylene propylene rubber)

f : coeficiente de fricção dinâmico entre o cabo e a superfície

Fb: força de reacção medida pelo dinamómetro

g: gradiente máximo (junto ao condutor)

GMTF: Tempo até á ruptura (geometric mean time to failure)

I: Corrente do condutor

L: comprimento do cabo

Θ : Temperatura em Weibull

P: Pressão lateral (sidewall pressure)

PL: polímero

P(t): Probabilidade de um cabo sofrer disrupção ao fim de um determinado tempo t.

r: raio interno da curvatura

R: Resistência do condutor

t: tempo até á disrupção

T: força necessária

To: força exercida na curva

Tan δ : tangente de perdas

THD: distorção harmónica total (total harmonic distortion)

TRXLPE: Polietileno reticulado retardante à arborescência (tree retardant XLPE)

w: peso unitário do cabo

W: $2\pi f$ onde o f é a frequência da tensão aplicada aos terminais

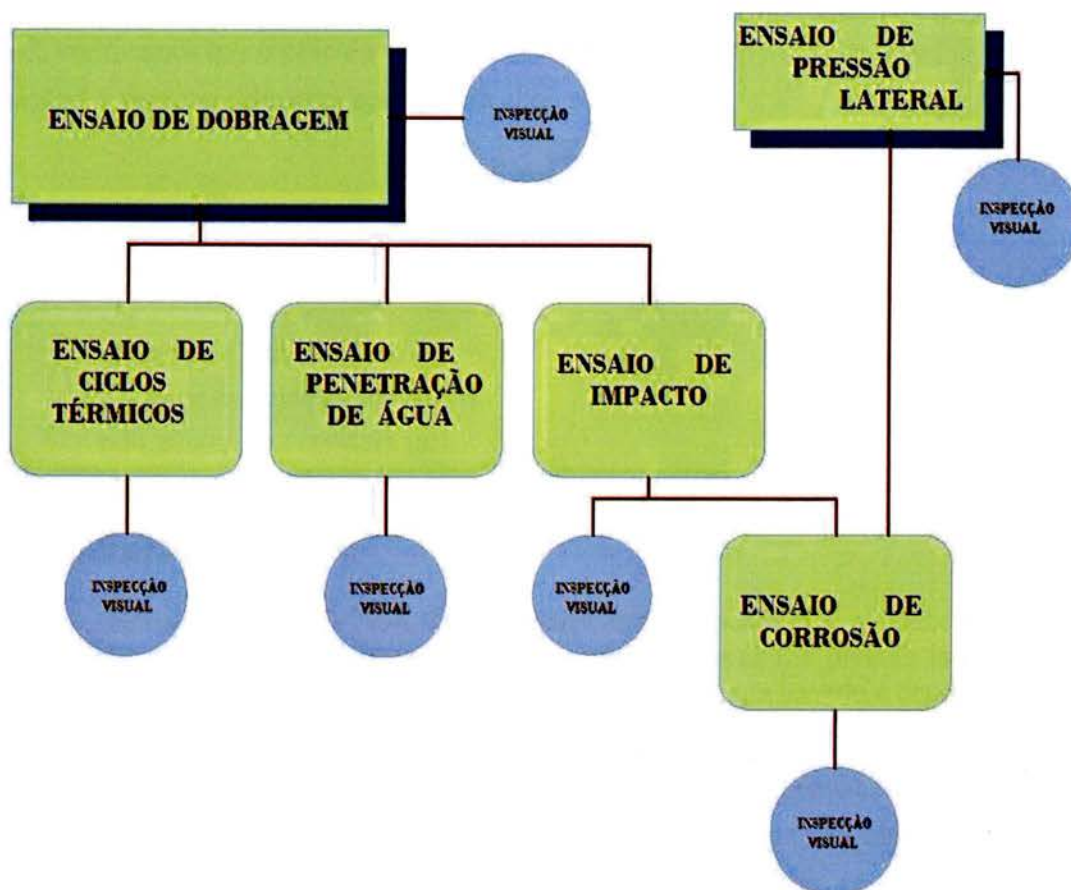
Wc: factor de correcção de peso

XLPE: Polietileno reticulado (cross-linked polyethylene)

Capítulo I - Ensaio de Pressão Lateral

O ensaio de pressão lateral foi requerido à SOLIDAL pelo cliente ENDESA como parte de um conjunto de ensaios de qualificação para o cabo.

O conjunto de ensaios requeridos pela entidade ENDESA pode ser observado no seguinte fluxograma.



Fluxograma 1

O facto de este ensaio nunca ter sido realizado anteriormente, obrigou a uma pesquisa cuidada sobre determinados parâmetros. Foi necessário entrar em contacto com diversas entidades que providenciaram não só os equipamentos que faltavam tais como a máquina de freio mas também valiosos conhecimentos técnicos.

Como se pode observar através do fluxograma 1, o cabo RHZ1-OL 36/66 kV terá de passar 6 ensaios de qualificação e o mesmo troço de cabo poderá ser sujeito a dois ensaios.

Como nota exemplificativa duas amostras do cabo serão retiradas no fim do ensaio de pressão lateral e sujeitas ao ensaio de corrosão. O tanque usado no ensaio de corrosão e a sua capacidade serão apresentados no anexo F.

I 1.1 Fundamentos teóricos:

A pressão lateral é no geral expressa como a força (N) exercida numa zona de curva dividida pelo raio interno da curvatura (m).

Durante a instalação esta força/pressão é exercida num cabo isolado como resultado do facto do cabo estar a ser puxado em torno de uma virola.

Sendo assim o peso do cabo pode ser uma factor importante no cálculo da pressão lateral.

No nosso ensaio, o peso pode ser desprezado no cálculo desta força, uma vez que consultando o anexo C, verificamos que o peso é muito inferior a esta força.

A equação 1 é para um cabo com apenas uma alma condutora.

$$P = \left[\frac{T_o}{r} \right]$$

Equação 1

Onde:

- P : é a pressão lateral (N/m)
- T_o : é a força exercida na curva (N)
- r : raio interno da curvatura (m)

I 1.2.1 Aplicação da norma:

Segundo o documento IEC 20/740/DTR em particular no ponto 5.2 e também o documento ENDESA KNE 001 secção 10.5.10 em que este ensaio é baseado, a pressão lateral exercida ao cabo tem de ser de 750 kgf/m. O cabo terá de passar pela virola num sentido e depois pelo outro.

O cabo deve estar em contacto com a virola, perfazendo um ângulo de 90°, durante o ensaio.

Deve ser aplicado lubrificante na zona de contacto com a virola para reduzir o coeficiente de atrito.

Sendo assim devemos começar por definir o raio da virola, uma vez que este não deve ser maior que o raio usado para o ensaio de dobra (bending test IEC 60840, 12.3.3).

Usando a ficha técnica e boletim de ensaios do cabo RHZ1-OL 36/66 kV, tiramos os seguintes valores:

- Diâmetro do condutor: 39,3 mm
- Secção nominal: 1.000 mm²
- Diâmetro exterior sobre a bainha: 80 mm
- Diâmetro exterior real: 81 mm
- Peso teórico total do cabo: 7.000 g/m
- Peso real do cabo 7.359 g/m

O peso real do cabo foi medido experimentalmente com uma balança de precisão tendo registado o valor de 11.090 gramas num comprimento de 1,507 metros. Podemos imediatamente concluir que o peso real por unidade de comprimento do cabo RHZ1-OL a ensaiar é de:

$$(11.090/1,507) \times (1) = 7358,99 \text{ g/m} \approx 7359 \text{ g/m.}$$

Isto corresponde a um desvio de 5,12% do valor apresentado na ficha técnica.

Aplicando agora requerimentos para o ensaio, obtemos:

1. Comprimento da amostra de cabo: 15 metros
2. Pressão lateral obrigatoriamente exercida ao cabo 750 kgf/m $\approx 7,4$ kN/m
3. Raio de curvatura exigido para este cabo: $12,5 \times (D+d)$ onde:
 - D = diâmetro exterior real e d = diâmetro do condutor

Obtemos assim um raio de curvatura de $12,5 \times (81+39,3) = 1503,75$ mm.

Aplicando um factor admissível de 1,05 (+ 5%) previsto na norma IEC 60840 obtemos 1578,9375 mm.

Foi solicitado ao fabricante do equipamento (virola) um raio de curvatura de 1575mm.

Sendo assim e aplicando a equação 1 obtemos uma força fora da curvatura de:

- $750 \times 1,575 = 1181,25$ kgf aproximadamente 11,575 kN

Esta será a força exercida ao cabo imediatamente a seguir á curvatura da virola.

Agora devemos calcular a força necessária para puxar 15 m de cabo e a força medida no dinamómetro durante o ensaio (Breaking force).

Para calcular a força necessária para puxar 15m de cabo recorreu-se à equação 2.

$$T = LwfW_c$$

Equação 2

Onde:

- T é a força necessária (N)
- L é o comprimento do cabo (m)
- w é o peso unitário do cabo (kg/m)
- f é o coeficiente de fricção dinâmico entre o cabo e a superfície (0,35)
- W_c é o factor de correcção de peso (≈ 1)

Aplicando a equação 2 obtemos uma força de 378,6 N ($15 \times 7,359 \times 0,35 \times 1 = 38,635$ kgf aproximadamente 378,62 newton).

Se estes 15 metros estivessem totalmente na virola, a tensão teria o valor de 480,8 N.

Esta força (apesar de ser muito pequena comparativamente à força exercida na curva) deve ser somada à força de travagem/reacção afim de obter um intervalo de valores de leitura no dinamómetro.

A força medida no dinamómetro (baseada no anexo3) vai ser calculada usando a equação 3.

$$P = (F_b \times e^{fa}) / R$$

Equação 3

Em que:

- $P = \sum$ forças radiais $\approx$ pressão lateral exigida pelo ensaio (N/m)
- F_b = Força de reacção medida pelo dinamómetro (N)
- e = Número de Nepper (2,718281828...)
- f = Coeficiente de fricção entre o cabo e a virola
- a = Ângulo da curvatura (90°)

Uma vez que $P = 7,4 \text{ kN/m}$ (pressão lateral $\approx$ força radial), R é $1,575 \text{ m}$ e $e^{fa} = 1,27$ (tabela 1, $\text{bend} = 90^\circ$ e $f = 0,15$), obtemos para F_b um valor de $9,1772 \text{ kN}$.

$$7,4 = F_b \times 1,27/1,575 \Rightarrow F_b = 7,4/0,80635 \Rightarrow F_b = 9,1772 \text{ kN} \approx 936,5 \text{ kgf}$$

Os valores para o coeficiente de fricção para diversos ângulos são dados na tabela 1.

Ângulo de curvatura em graus (α)	Valores de e^{fa}			
	$f = 0,1$	$f = 0,2$	$f = 0,35$	$f = 0,5$
15	1,03	1,05	1,1	1,14
30	1,05	1,11	1,2	1,3
45	1,08	1,17	1,32	1,48
60	1,11	1,23	1,44	1,69
75	1,14	1,3	1,58	1,92
90	1,17	1,37	1,73	2,19
105	1,2	1,44	1,9	2,5
120	1,23	1,52	2,08	2,85

Tabela 1

Não esquecer que o coeficiente de fricção é uma função inversamente proporcional da pressão lateral da parede ou seja enquanto a pressão (sidewall pressure) aumenta, o coeficiente da fricção diminui.

Os valores da fricção para pressões elevadas da parede podem aproximar-se 0,1.

O uso de lubrificante adequado, admitido pela norma do ensaio, é importante para reduzir e manter constante este valor de fricção, o que se irá traduzir por um intervalo de valores medido no dinamómetro bem mais reduzido.

Assim sendo os valores teóricos que iremos medir no dinamómetro vão estar compreendidos no seguinte intervalo:

$$[9500 - 10300] \text{ N}$$

I 1.2.2 Escolha do lubrificante:

De seguida apresentamos uma tabela com os lubrificantes usados e uma lista com o nome de alguns fabricantes.

Lubrificante	Bainha exterior do cabo				
	PCP	PVC	XLPE	CSPE	CPE
Água ou flocos sabão	X	X	X	N	X
Bentonite (a seco ou água)	X	N	X	X	X
Massa lubrificante	N	N	N	N	X
Lubrificantes Comercializados					
Pasta à base de sabão	X	X	X	X	N
Cera/água líquida	X	N	N	X	X
Soluções aquosas Polímero-baseadas	X	X	X	X	X

X significa normalmente usado

N significa não usado

Tabela 2

Nome do Lubrificante	Nome do Distribuidor
Polywater® A, G and J	American Polywater Corporation, Stillwater, MN
Polywater® Plus Silicone, Types NN, WNN, FS	American Polywater Corporation, Stillwater, MN
Wire Lube® Aqua-Gel®, Yellow 77*	Ideal Industries, Sycamore, IL
Dyna-Blue® Cable Lubricant	American Polywater Corporation, Stillwater, MN
Wirepull	Mac Products, Kearney, NJ
3M™ Wire Pulling Lubricant	3M electrical Products division

Lista 1

Os lubrificantes comerciais aqui apresentados foram projectados afim de serem compatíveis com os diversos tipos de material usado na bainha exterior.

A escolha de um lubrificante comercial específico deve ser coordenada com o fabricante do lubrificante, para assegurar compatibilidade com o material de revestimento do cabo.

As condições extremas de alta ou baixa temperatura afectam, naturalmente, o desempenho do lubrificante.

Alguns lubrificantes terão um impacto negativo na resistência à chama do cabo.

Consulte o fabricante do lubrificante se este for um pormenor importante para o cabo a ensaiar.

I 1.2.3 Montagem teórica do ensaio:

A figura 1 representa uma montagem típica para este ensaio.

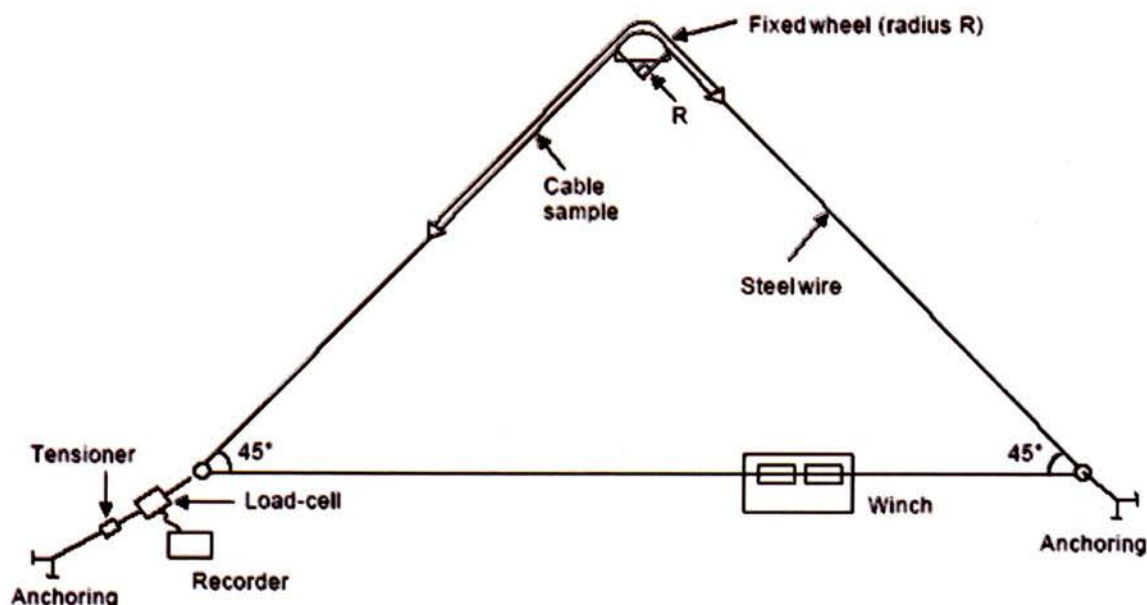


Figura 1: Montagem do ensaio

Tendo atenção que:

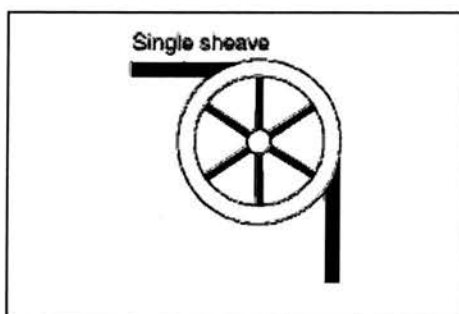


Figura 2: Virola única

A virola é usada para guiar o cabo na direcção desejada. Arranje blocos múltiplos se necessário afim de manter raios de curvatura dentro dos parâmetros desejados para o ensaio.

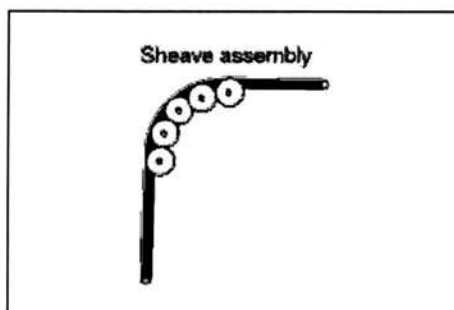


Figura 3: Esferas de suporte

Para puxar em torno das curvaturas, use esferas de transporte de raio apropriado. A distância entre esferas pode ser calculada através da seguinte equação 4:

$$s = \sqrt{\frac{8hT}{w}}$$

Equação 4

Onde:

- **s** é a distância entre as esferas em metros
- **h** é a altura da esfera acima do chão em metros
- **T** é a tensão em kgf
- **w** é o peso do cabo em kg/m

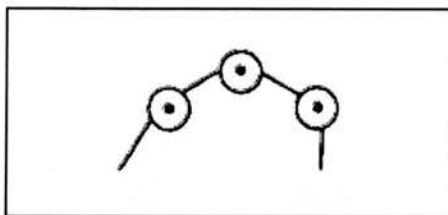


Figura 4: Montagem inadequada

As esferas e também as virolas nunca devem ser posicionadas como a figura acima demonstra, uma vez que devemos permitir uma deflexão uniforme do cabo e não variar bruscamente os ângulos de flexão.

I 2 Data de realização do ensaio:

O ensaio foi realizado no dia 3 de Maio de 2006 às 11:42 e estendeu-se até às 12:13.

A preparação prévia do ensaio ocupou toda a parte da manhã.

I 2.1 Montagem do ensaio:

A figura 5 representa a virola utilizada. É de notar a aplicação dos parafusos no solo devidamente assinalados a vermelho na foto. Futuramente estes parafusos serão substituídos por uns de base fina de maneira a não estorvar nem causar acidentes.

A virola foi colocada no extremo do laboratório de ensaios eléctricos de forma a aproveitar o corredor de saída Este e o corredor de saída Norte assinalados a azul na figura 5.

Este foi o local escolhido por diversas razões. Primeiro era um local controlado onde apenas estaria o pessoal adequado (não era um local de passagem frequente).

Segundo, era um local que tinha boas características físicas para a realização deste ensaio, tinha muito espaço para a empilhadora movimentar-se e com a localização estratégica da virola conseguia-se uma perpendicularidade perfeita.

Por último, era um local abrigado logo não sujeito a condições climáticas adversas para a realização deste ensaio.



Figura 5: Virola utilizada

A máquina usada para tracção do fio de aço (steel wire) foi uma empilhadora da marca Komatsu de tara 8180 kg com uma força de tracção mais que suficiente para a realização deste ensaio.

A empilhadora puxou o cabo e o fio de aço a velocidade constante afim de não introduzir esforços mecânicos extra, nem picos de tensão transitórios ao cabo.
A empilhadora usada é a representada na figura 6.



Figura 6: Empilhadora utilizada

A máquina usada como freio foi uma máquina equipada com dinamómetro fornecida pela empresa X de propósito para a realização deste ensaio.

A máquina foi colocada no extremo Este do corredor para que, juntamente com o empilhador formassem o ângulo de 90° exigido pelo ensaio de pressão lateral.

Um observador atento poderá reparar na própria disposição das linhas amarelas no chão da fábrica e mesmo a olho nu reparará na perpendicularidade da instalação.

De qualquer forma a disposição da montagem é a representada na figura 7.

A seta a vermelho mostra o sentido de deslocamento da empilhadora.

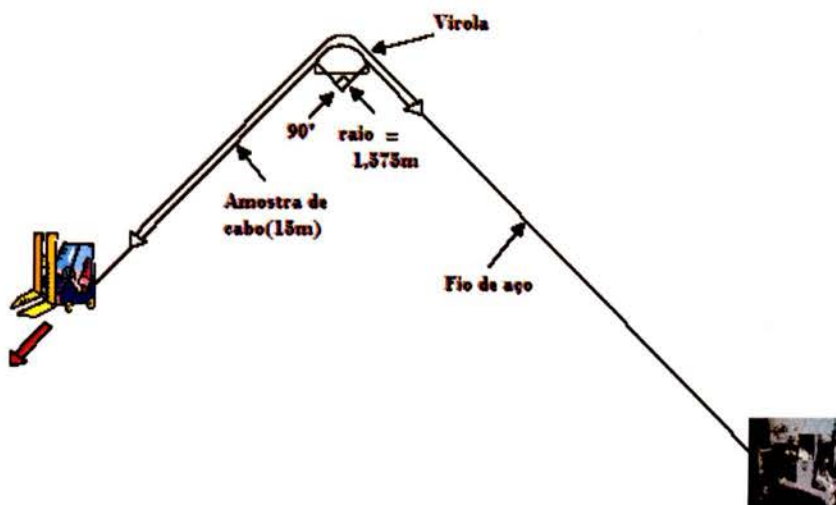


Figura 7: Montagem real do ensaio

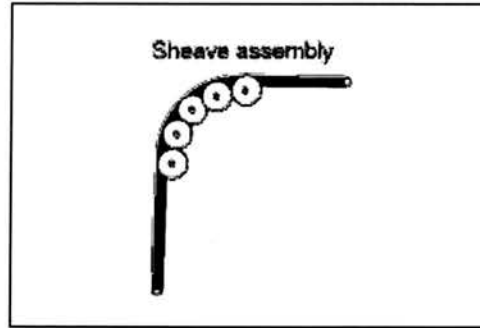


Figura 3: Esferas de suporte

Para puxar em torno das curvaturas, use esferas de transporte de raio apropriado. A distância entre esferas pode ser calculada através da seguinte equação 4:

$$s = \sqrt{\frac{8hT}{w}} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

- s é a distância entre as esferas em metros
- h é a altura da esfera acima do chão em metros
- T é a tensão em kgf
- w é o peso do cabo em kg/m

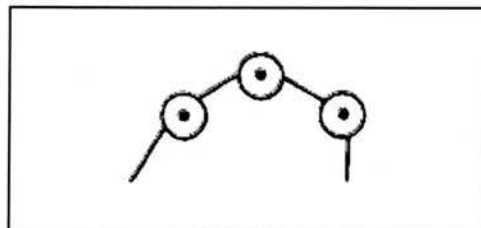


Figura 4: Montagem inadequada

As esferas e também as virolas nunca devem ser posicionadas como a figura acima demonstra, uma vez que devemos permitir uma deflexão uniforme do cabo e não variar bruscamente os ângulos de flexão.

I 2 Data de realização do ensaio:

O ensaio foi realizado no dia 3 de Maio de 2006 às 11:42 e estendeu-se até às 12:13.
A preparação prévia do ensaio ocupou toda a parte da manhã.

I 2.1 Montagem do ensaio:

A figura 5 representa a virola utilizada. É de notar a aplicação dos parafusos no solo devidamente assinalados a vermelho na foto. Futuramente estes parafusos serão substituídos por uns de base fina de maneira a não estorvar nem causar acidentes.

A virola foi colocada no extremo do laboratório de ensaios eléctricos de forma a aproveitar o corredor de saída Este e o corredor de saída Norte assinalados a azul na figura 5.

Este foi o local escolhido por diversas razões. Primeiro era um local controlado onde apenas estaria o pessoal adequado (não era um local de passagem frequente).

Segundo, era um local que tinha boas características físicas para a realização deste ensaio, tinha muito espaço para a empilhadora movimentar-se e com a localização estratégica da virola conseguia-se uma perpendicularidade perfeita.

Por último, era um local abrigado logo não sujeito a condições climáticas adversas para a realização deste ensaio.



Figura 5: Virola utilizada

A máquina usada para tracção do fio de aço (steel wire) foi uma empilhadora da marca Komat'su de tara 8180 kg com uma força de tracção mais que suficiente para a realização deste ensaio.

A empilhadora puxou o cabo e o fio de aço a velocidade constante afim de não introduzir esforços mecânicos extra, nem picos de tensão transitórios ao cabo.

A empilhadora usada é a representada na figura 6.



Figura 6: Empilhadora utilizada

A máquina usada como freio foi uma máquina equipada com dinamómetro fornecida pela empresa X de propósito para a realização deste ensaio.

A máquina foi colocada no extremo Este do corredor para que, juntamente com o empilhador formassem o ângulo de 90° exigido pelo ensaio de pressão lateral.

Um observador atento poderá reparar na própria disposição das linhas amarelas no chão da fábrica e mesmo a olho nu reparará na perpendicularidade da instalação.

De qualquer forma a disposição da montagem é a representada na figura 7.

A seta a vermelho mostra o sentido de deslocamento da empilhadora.

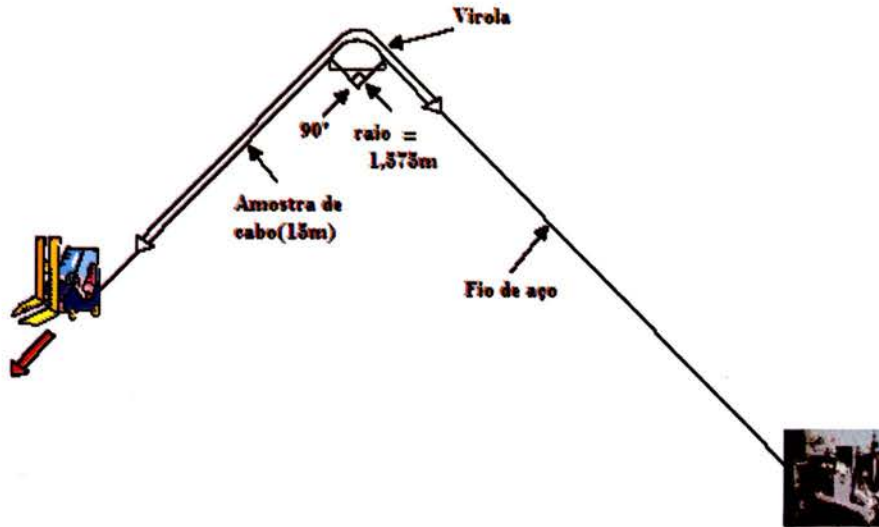


Figura 7: Montagem real do ensaio

A saída do fio da máquina de freio foi realizada ao contrário da disposição habitual isto porque como a montagem do fio de aço ia estar quase ao nível do solo (sensivelmente 30 cm), o objectivo era reduzir ao máximo a flecha e obviamente ter o fio na posição mais horizontal possível.

A figura 8 evidencia a saída do fio de aço da máquina de freio.



Figura 8: Saída do fio

As conexões entre o fio e o cabo a ser ensaio foram realizadas com um equipamento similar ao da Brugg já disponível na empresa e prensada com uma máquina TESMEC de pressão máxima aplicada de 700 bar/150 p.s.i.(per square inch).

Esta máquina permite a escolha de diversos diâmetros como se pode ver pela figura 9.

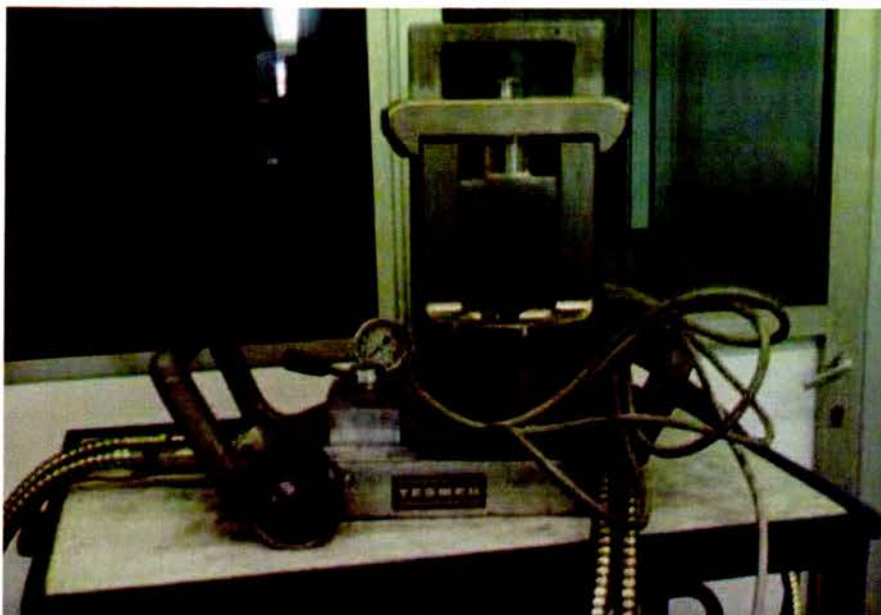


Figura 9: Máquina TESMEC

A aplicação deste equipamento que resumidamente faz a ligação entre o fio de aço e o cabo é demonstrada na figura 10.



Figura 10: Conexão entre fio e cabo

Depois das conexões feitas, da empilhadora e da máquina de freio dispostas na posição correcta era tempo de colocar o cabo na posição adequada ao começo da realização do ensaio, isto porque não convém esquecer que o cabo RHZ1-OL tem de percorrer os seus 15 metros pela virola, num sentido e no outro totalmente.

Assim a disposição antes da empilhadora arrancar era a representada pela figura seguinte.



Figura 11: Preparação final para o ensaio

I 2.2 Realização do ensaio:

Assim que o cabo RHZ1-OL ficou em posição, a empilhadora pronta a arrancar e a máquina de freio na posição neutra com o dinamómetro a postos, era tempo de realizar o ensaio e verificar se os valores teóricos para as forças a medir estavam correctos. Obviamente que o mais importante era verificar se o cabo satisfazia os requisitos do ensaio, isto é se o cabo RHZ1-OL suporta os 750 kgf/m de pressão lateral exigidos pelo documento IEC 20/740/DTR o ponto 5.2 e também o documento ENDESA KNE 001 secção 10.5.10.

Era sabido pelo relatório teórico prévio que a aplicação de um bom lubrificante iria conseguir reduzir drasticamente o coeficiente de atrito entre o cabo e a virola e assim submeter o cabo a uma pressão mais reduzida durante um espaço de tempo mais curto. Como as normas permitem o uso de lubrificante (até o recomendam), entrou-se em contacto com alguns dos fornecedores previstos e conseguiu-se vários tipos de lubrificante entre os quais:

- **Polywater G.** Este é o lubrificante que mostrou o melhor desempenho de compatibilidade com o revestimento, mas seria o menos eficaz na redução da fricção.
- **DynaBlue.** Este é um dos lubrificantes mais geralmente usados e conhecidos. Tem uma performance moderada em termos de redução da fricção, e também para a compatibilidade com o revestimento.
- **Polywater Plus Silicone NN.** Este lubrificante certamente faria o melhor trabalho em reduzir a fricção, mas não teria boa compatibilidade a longo prazo com o revestimento do cabo.
- **Yellow 77.** Este lubrificante conseguiria uma redução da fricção média, mas deixaria uma película fina de cor amarela sobre o revestimento do cabo, película essa que depois de seca é de difícil remoção.

O lubrificante escolhido foi o DynaBlue pelas razões acima demonstradas. A figura 12 representa a embalagem utilizada. A quantidade de lubrificante aplicada pode ser determinada aplicando a equação 5 do estudo do IEEE 1185 em que:

$$Q = 0.00116 \times CL \times D$$

equação 5

onde:

- Q é a quantidade de lubrificante a utilizar expressa em litros
- CL é o comprimento do cabo a ensaiar expresso em metros
- D é o diâmetro do cabo a ensaiar expresso em centímetros

Na prática a aplicação do lubrificante foi realizada manualmente, tendo o cuidado de o aplicar mais substancialmente entre os pontos de contacto entre a virola e o cabo. As figuras 13 (aplicação) e 14 (dynablue em acção) demonstram o efeito do lubrificante, uma vez que permitiu, como já disse anteriormente, a aplicação de uma tensão 20% superior à realizada sem lubrificante.



Figura 12: Lubrificante utilizado



Figura 13: aplicação do Lubrificante



Figura 14: Dynablue em acção

De acordo com o estudo teórico prévio, sabíamos que a força a ser medida no dinamómetro estaria entre os valores:

[9500 - 10300] N

O facto foi que não entramos neste cálculo teórico com o peso do fio de aço usado na tracção entre cabo e máquina de freio, peso esse que têm alguma influência na própria pressão lateral, uma vez que vai reduzir o nível de tensão imediatamente antes da curva da virola (visto do lado do freio). Sendo assim, e uma vez que o comprimento deste fio não era desprezável foi necessário voltar a aplicar a equação 2 do estudo prévio entrando agora com o peso do fio de aço e verificar se a flecha do fio de aço também se iria reduzir.

Perante a impossibilidade de cortar um metro de fio de aço e pesá-lo, foi estimado um valor fornecido pelo fabricante e chegou-se à conclusão que os novos níveis de valor da força lidos pelo dinamómetro teriam de ser aumentados em pelo menos 20%.

Assim no ensaio a força medida no dinamómetro estaria entre os valores:

[11400 - 12630] N

A figura 15 mostra o valor real lido pelo dinamómetro.

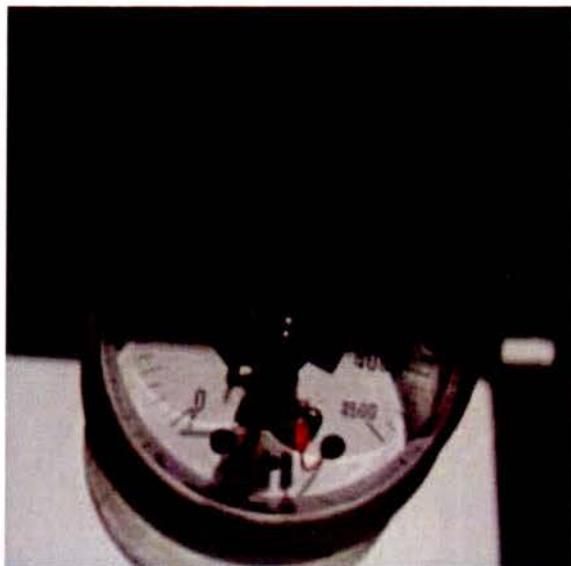


Figura 15: Valores lidos no dinamómetro

Como podemos ver o valor lido foi de sensivelmente 12000 N (não esquecer que a escala do dinamómetro está expressa em daN).

As figuras seguintes demonstram a parte final do ensaio. Não convém esquecer que o documento IEC 20/740/DTR exigia que o cabo fosse submetido à pressão lateral de 750 kgf/m num sentido e no outro. Isto foi resolvido, não trocando a posição das máquinas, mas sim invertendo o sentido do cabo.



Figura 16: Final de ensaio



Figura 17: Aplicação contínua de Lubrificante

Por fim era necessário cortar uma amostra de cabo e realizar uma inspecção visual. As amostras retiradas para inspecção visual localizavam-se sensivelmente a meio do comprimento do cabo RHZ1-OL e para o ensaio de corrosão como demonstra a figura 18 apesar de um pouco desfocada.



Figura 18: Localização das amostras retiradas

I 3 Conclusões:

Conforme poderemos verificar pela figura 19, o cabo RHZ1-OL teve um comportamento excelente durante a realização deste ensaio e não apresenta deformações visíveis a nível da alma nem na camada isolante.

A deformação em relevo é feita pelo aparelho de corte mas é facilmente observável que não houve deslocamento da alma condutora, nem rompimento da bainha exterior.

O facto de ser um cabo robusto e ter muito boas características mecânicas entre as quais o seu peso molecular elevado, o que lhe confere uma boa resistência a choques e fissurações, e uma densidade que lhe permite obter raios de curvatura normais muito importantes na realização deste ensaio.

Em anexo serão apresentadas as características do cabo (anexo A) assim como os contactos e a informação disponibilizada aos fabricantes de lubrificantes (anexo B e anexo D respectivamente). O anexo C é meramente informativo.

Ainda relativamente a este ensaio, o anexo E é a ficha técnica do cabo RHZ1-OL do laboratório de ensaios da SOLIDAL.

Este ensaio de qualificação segue a especificação da ENDESA KNE 001 00.doc e foi realizado na presença de Ricardo Martín da L.C.O.E.

O cabo passou na inspecção visual.



Figura 19: Inspeção Visual

Capítulo II - Ensaio de envelhecimento acelerado

O presente capítulo tem como objectivo ser uma espécie de guia ao longo do qual vão ser realizados todos os parâmetros relacionados com o ensaio de envelhecimento acelerado para cabos de média tensão.

O relatório identifica e classifica todos os parâmetros críticos do ensaio, tais como:

- Equipamento utilizado
- Esquema eléctrico utilizado
- Tratamento dado às amostras de cabo
- Técnicas de medida e controlo
- Tempo requerido para o teste
- Resultados esperados

II 1.1 Introdução geral:

O polietileno reticulado (XLPE) é o isolante mais comum em cabos eléctricos de média tensão. A reticulação permite criar uma nova ligação entre as cadeias de moléculas de polietileno após a extrusão e obter assim uma estrutura tridimensional com características mecânicas e melhor estabilidade térmica.

Apesar de tudo este material é conhecido por sofrer uma degradação gradual com o tempo devido à acção da humidade e dos fenómenos relacionados com o stress eléctrico.

A degradação aqui considerada causa uma redução da vida e provoca um aumento das perdas dieléctricas no isolante.

A degradação do material isolante pode ser tão severa que poderá ocorrer uma falha no serviço mesmo à tensão nominal.

De momento, são vários os estudos a realizar-se para conseguir um total conhecimento do fenómeno de degradação por influência directa da humidade.

Sendo assim os mecanismos de induzir humidade para causar degradação nos cabos eléctricos têm vindo a ser extensamente estudados e testados de forma a prolongar a vida útil do cabo.

O conhecimento deste fenómeno de degradação e dos mecanismos associados ao seu estudo irá permitir uma escolha optimizada de todos os parâmetros do ensaio a realizar; isto resultará num ensaio de envelhecimento acelerado em tanques de água.

Devido à urgência e exigência de desenvolver ensaios de envelhecimento acelerado em materiais e cabos eléctricos fez resultar o aparecimento de diversas propostas alternativas, propostas essas, umas ainda em estado de estudo, outras mais próximas da conclusão.

O problema inerente em todos estes ensaios e testes de envelhecimento acelerado é a escolha dos parâmetros do ensaio em si uma vez que as normas não são muito explícitas em alguns pontos.

De qualquer forma estes parâmetros deverão conter todos os factores de deterioração que causam envelhecimento quando o cabo se encontra em serviço e não introduzir mecanismos de envelhecimento que não ocorram normalmente na situação normal de serviço.

O ensaio diagnóstico deverá medir uma parte representativa do envelhecimento em serviço.

Diversas pesquisas demonstraram que os parâmetros mais importantes no ensaio de envelhecimento são o stress eléctrico, a temperatura, as características da água e por fim o tempo de ensaio.

Um ensaio de envelhecimento acelerado que evoluiu na América do Norte até se tornar num ensaio de qualificação, é o ensaio de aceleração da formação de arborescência (accelerated water treeing test) em que comprimentos de cabo são envelhecidos em tubos com água durante 4, 6 e 12 meses, e depois submetidos a um teste por patamares em que a voltagem é aumentada progressivamente até à ruptura (step ac breakdown test).

Outro ensaio que vem ganhando força é o ensaio em que os cabos são envelhecidos em tanques de água por um período relativamente longo, 2 anos completos, ensaio que tem o nome de ensaio ou teste de aceleração da vida do cabo (accelerated cable life test ACLT).

O ensaio até à situação de ruptura tem a vantagem de incluir todo o processo de envelhecimento, iniciação, crescimento e ruptura final. A principal desvantagem é que a duração para tal teste é desconhecida e poderá existir uma diferença considerável entre a primeira e a última ruptura.

Diversos laboratórios realizaram e continuam a realizar este ensaio em tanques de água usando diferentes condições de envelhecimento: voltagem, temperatura, características da água, etc.

Isto faz com que a comparação de resultados entre diversos laboratórios seja extremamente difícil.

A situação ainda se complica mais porque os métodos de medida para alguns parâmetros críticos diferem significativamente. Como resultado disto, ensaios com condições aparentemente iguais podem, de facto, ser inteiramente diferentes e conduzir a resultados errados.

Um exemplo desta ambiguidade é a temperatura medida. Apesar de a temperatura nominal de 60 °C ser algumas vezes usada como a máxima temperatura de medida durante o ciclo de aquecimento, o local onde deverá ser medida pode variar.

A temperatura pode ser medida ao longo do comprimento do cabo fora da água ou ao longo do comprimento do cabo dentro de água. Mesmo que a temperatura da água não seja controlada, a temperatura do cabo dentro de água depende do seguinte:

1. Dimensões do tanque
2. Forma e material
3. Volume de água
4. Número de cabos no tanque
5. Isolamento térmico do tanque

Sendo assim é necessário ter um espírito crítico dos resultados obtidos durante o ensaio e verificar se não fogem à gama de valores esperada.

II 1.2 Ensaio normalizado:

O ensaio de envelhecimento acelerado deverá ser realizado de acordo com norma HD 605 S1 (5.4.15 Harmonised long duration test) e terá a duração de dois anos.

II 1.3 Definições:

Anormalidade: Qualquer desvio das condições preestabelecidas para o teste, isto se ultrapassar a tolerância limite dada, uma vez que irá afectar o resultado final.

Falha no ar: Uma falha ou ruptura do cabo acima da linha de água e abaixo da terminação.

Falha na Terminação: Uma falha na junta de terminação do cabo, não ficando este com um escudo metálico a proteger.

Falha na água: Uma falha ou ruptura ocorrida abaixo da linha de água e que não resulta de danos mecânicos.

Falha na linha de água: Uma falha na interface entre a água do tanque e o ar.

II 2.1 Estrutura de Ensaio:

A forma do tanque, o seu tamanho, material de que é construído, o volume, as características da água e o número de cabos no tanque terá, obviamente, uma influência directa em parâmetros importantes, tais como os valores obtidos no cabo e a temperaturas da água.

Sendo assim não é difícil de perceber que uma escolha errada em qualquer um destes parâmetros irá influenciar de sobremaneira os resultados do ensaio.

Devemos sim estudar e analisar todas as combinações possíveis destes parâmetros de forma a obter a solução mais praticável e rentável. É, no entanto, importante analisar e estudar exaustivamente o esquema que se irá optar e sugerir os dados relacionados que facilitarão a comparação entre os dados gerados por métodos diferentes de teste, e fornecer valores típicos para aqueles parâmetros considerados críticos.

O esquema adoptado terá uma forma rectangular para o reservatório (poderá ser cilíndrico mas construtivamente é mais simples rectangular).

O tanque usado deverá ser suficientemente grande para acomodar a montagem da amostra de cabo sendo ela no mínimo de 60 metros.

Deverá haver uma distância suficiente entre a amostra do cabo e os lados e fundo do tanque para impedir um aquecimento desigual da superfície da amostra e para permitir uma circulação adequada da água.

No geral, a superfície interna do tanque, as montagens das amostras, e todos os outros materiais que fazem o contacto com água no tanque deverão ser construídos por materiais inertes apropriados e que não se corroerão na presença da água.

Em particular, é necessário ter atenção de que a superfície interna do tanque não deverá causar a introdução de um nível significativo de contaminação de iões na água, que possam conduzir aos resultados erróneos.

Também, todos os materiais usados para isolar os tanques e para isolar ou retardar a evaporação na superfície da água, deverão ter as suas espessuras devidamente medidas para permitir a determinação do seu impacto na temperatura da água e da qualidade desta.

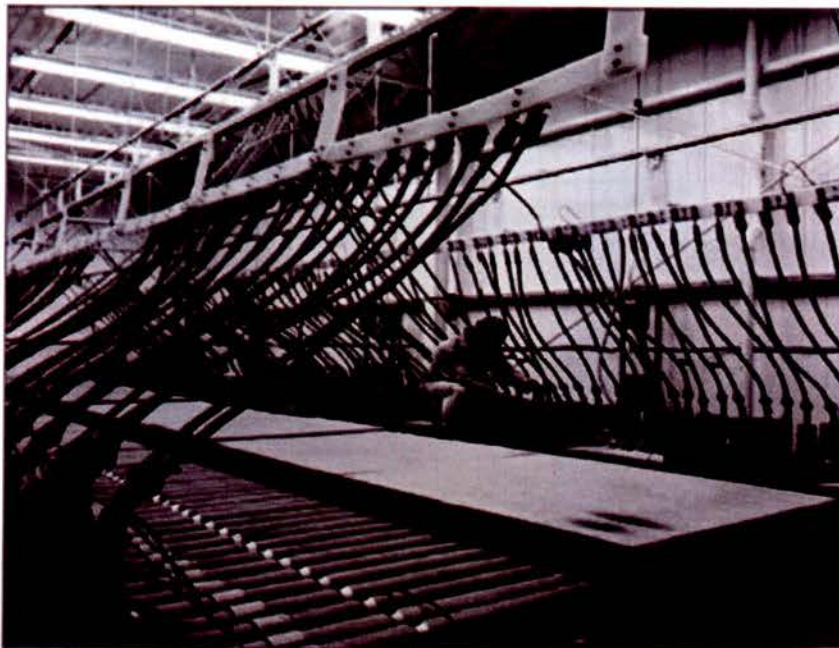


Figura 20: Instalação típica de um AWTT

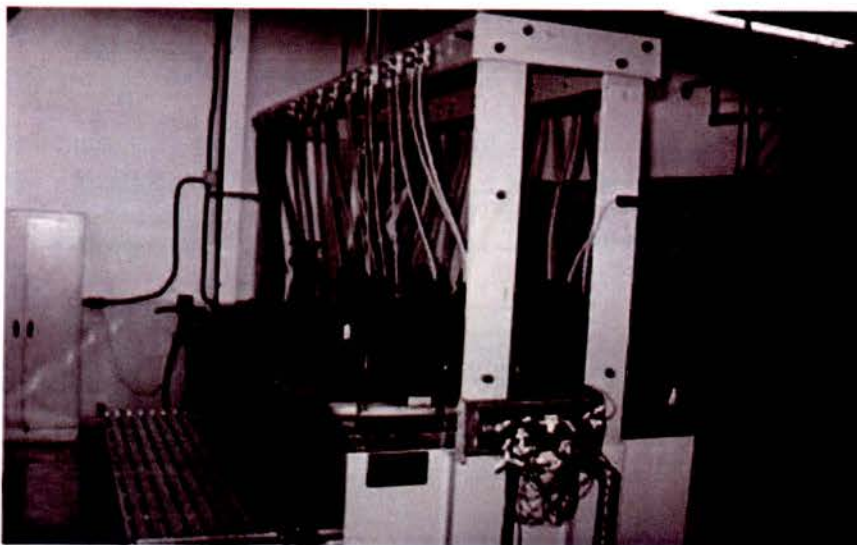


Figura 21: Instalação típica de um ACLT

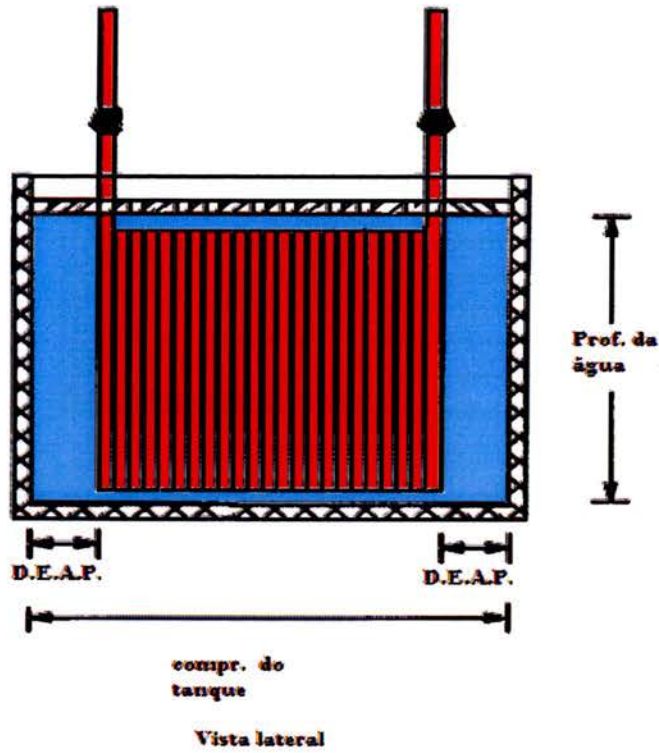


Figura 22: Disposição das amostras (vista lateral)

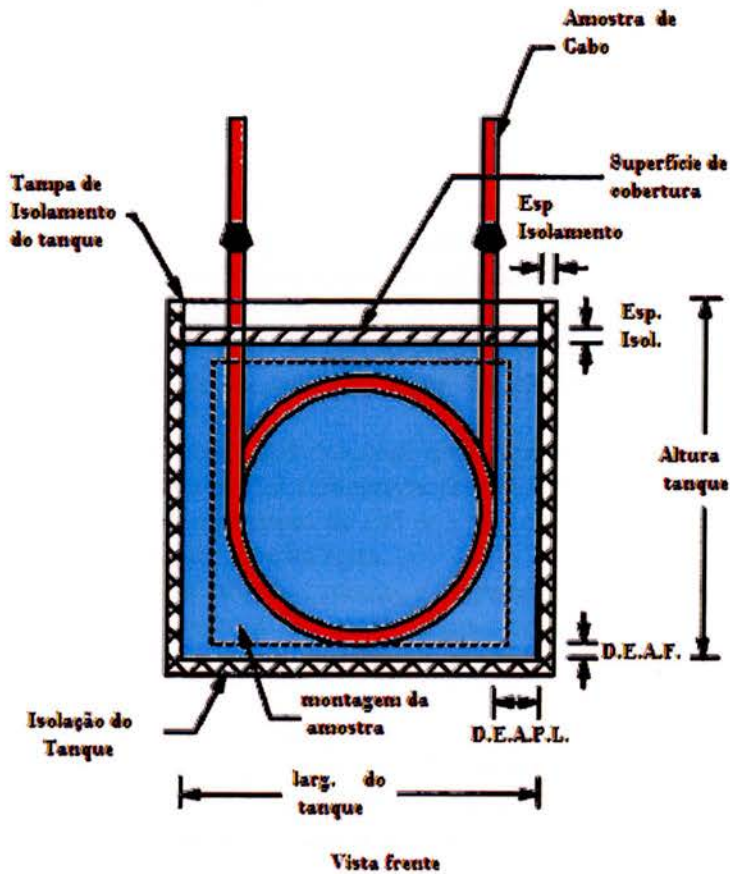


Figura 23: Disposição das amostras (vista frente)

Detalhes do tanque	Dimensões (mm)
Comprimento	≥1050
Largura	≥910
Altura	≥1050
D.E.A.P.L.	≥50
D.E.A.P.	≥75
D.E.A.F	≥50
Prof. da água	≥925
Esp. Isolamento	≥25

Tabela 3

II 2.2 Ensaio Prévio (Pré-condicionamento) da amostra:

O ensaio de descargas parciais deve ser executado em cada condutor isolado do ensaio para assegurar-se de que o condutor e as terminações estejam livres de descargas antes do ensaio de envelhecimento.

O objectivo do pré-condicionamento é remover do condutor isolado (alma, isolamento e semicondutores interno e externo) todos os produtos restantes do processo de reticulação e ao mesmo tempo permitir que a isolação do condutor e os ecrãs absorvam a humidade.

Isto porque no caso de o envelhecimento acelerado durar mais de um ano, se a temperatura não conseguir remover os produtos resultantes da reticulação, obteríamos uma resistência melhorada aparente da isolação à água.

Assim o comportamento a longo prazo, determinado pela isolação com uma concentração baixa dos produtos resultantes do processo de fabrico, não pode ser tão bom quanto aquele preditos pelos resultados do ensaio de envelhecimento acelerado. Para reduzir esta possibilidade os cabos são sujeitos a este ensaio prévio a fim reduzir a concentração destes produtos na isolação antes de serem sujeitos ao ensaio de envelhecimento.

Segundo a norma, os condutores isolados com uma espessura nominal de isolação de 3,4 milímetros, 4,5 milímetros ou 5,5 milímetros deverão ser condicionadas num banho de água da torneira a uma temperatura de $(55 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C})$ durante pelo menos 500 horas, com as terminações do condutor fora da água.

Antes de começar o ensaio de envelhecimento, e respeitando a nova norma em vigor, o condutor isolado deve ser sujeito a um ensaio a uma tensão de $(120 \pm 5) \text{ kV}$ durante pelo menos 1 minuto uma vez que, neste caso, a espessura nominal da isolação do condutor é de 5,5 milímetros.

No caso de ocorrência de uma ruptura, a amostra deve ser substituída a fim excluir as rupturas não relacionadas com a água e o ensaio deverá ser repetido.

Durante o pré-condicionamento a água poderá conter um número de legionella por unidade de volume devendo ser esta concentração medida e controlada de maneira a não afectar os resultados do ensaio.

O procedimento a seguir para este controlo será fornecido no anexo I.

II 2.3 Envelhecimento

II 2.3.1 Procedimento a seguir no envelhecimento:

O condutor isolado (alma, camada semicondutora interna, isolante e camada semicondutora externa) será colocado num tanque com água a uma temperatura de 40 ± 5 °C com os seus terminais fora tal como no ensaio prévio.

A água no tanque será água da torneira e o seu nível deverá ser mantido, se necessário, sempre com água da torneira.

Os condutores isolados podem ser envelhecidos num único comprimento ou serem divididos em comprimentos múltiplos.

Uma área mínima de $0,5 \text{ m}^2$ por cada metro cúbico de água terá de ser aberta à atmosfera na superfície do tanque para assegurar a oxigenação da água.

As terminações do condutor isolado serão percorridas por uma tensão $36 \pm 3 \text{ kV}$ continuamente.

A água no tanque será ligada à terra por meio de um eléctrodo metálico.

Os fios de cobre podem ser envolvidos em torno do condutor isolado (no cabo RHZ1-OL temos fios de cobre e uma fita de cobre a envolver o condutor isolado) ou então pode ser adicionado cloreto de sódio (NaCl) com uma concentração de 0,05 M à água para fornecer a condutividade adequada.

A tensão e a temperatura deverão ser monitorizadas e controladas diariamente, deverá ser possível a sua gravação ao longo do envelhecimento.

Os primeiros 60 metros do condutor isolado serão sujeitos a este envelhecimento durante no mínimo 8 750 horas (um ano) e os outros 60 metros durante pelo menos 17 500 horas (dois anos).

O condutor isolado nunca deverá perder o contacto com a água durante mais de 24 h em nenhuma ocasião.

Devido à manutenção e recolha de amostras de água o condutor isolado não deverá perder o contacto com a água no total de 60 horas durante o primeiro ano e um total de 120 horas durante os dois anos.

II 2.3.2 Avaliação do envelhecimento:

1º Preparação da amostra

No fim de cada um dos períodos de envelhecimento, o condutor será removido da água e cortado em comprimentos activos de 6 x 10 m (comprimento adicional de condutor pode ser requerido devido às terminações) que serão armazenados sob a água temporariamente.

As terminações apropriadas serão usadas para testar individualmente cada amostra a uma temperatura 20 ± 15 °C.

Os fios ou as fitas adesivas metálicas serão colocadas sobre os condutores para fornecer um eléctrodo para o teste.

A preparação do condutor deverá estar terminada dentro de 72 horas.

No caso de o condutor não for testado num prazo máximo de 48 horas, o condutor deverá voltar ao banho de água.

Não deveremos incluir no comprimento activo (10 m) porções de cabo que não estiveram em contacto com a água durante o envelhecimento, uma vez que não foram sujeitos ao mesmo stress eléctrico.

2º Teste por patamares de tensão (power-frequency voltage step test)

Um regime de teste por patamares de tensão será usado para obter o nível de tensão de ruptura ou de avaria.

A tensão será progressivamente aumentada por patamares de 6 kV, de 9 kV e de 12 kV a cada cinco minutos, tendo como partida uma tensão de 18 kV, 27 kV e 36 kV para espessuras nominais de isolamento de 3.4 milímetros, de 4.5 milímetros e de 5.5 milímetros respectivamente, isto até que a avaria ocorra.

Os valores da tensão de avaria serão anotados e registados.

A distribuição que melhor simula os tempos de avaria e a probabilidade de ocorrência de avarias é uma distribuição Weibull que será abordada no ponto 3.

Se a falha ocorrer entre patamares, o valor do nível de tensão acima do patamar será considerado como a tensão de avaria.

As dimensões do condutor de cada comprimento testado serão medidas de acordo com o ponto 2.1.11 da norma HD 605 S2.

Os valores médios das dimensões do condutor e os valores respectivos da tensão de avaria serão usados para calcular os stresses de avaria do ecrã do condutor (conductor screen breakdown stresses).

3º Falhas de terminação (termination failures)

Uma falha num comprimento activo do condutor pode ser aceite durante a avaliação envelhecimento.

As terminações, que falham durante o envelhecimento ou no teste por patamares de tensão, podem ser redimensionadas e novamente testadas.

Será necessário para obter aprovação, o fornecimento dos resultados obtidos de pelo menos cinco amostras envelhecidas com um comprimento activo total mínimo de 40 metros de ambos os períodos de envelhecimento.

II 2.3.3 Esquemas eléctricos usados:

Os ensaios de envelhecimento acelerado são realizados numa área de teste totalmente equipada de forma a providenciar um ciclo de aquecimento às amostras, equipamento de envelhecimento através da aplicação de tensão aos terminais das amostras, e tanques com água. Os tanques são construídos ou em madeira compressa ou em inox com os forros em fibra de vidro e cobertos com uma isolamento térmica para minimizar a perda de calor.

A maioria dos ensaios de envelhecimento acelerados a água é injectada na alma condutora (strand) do cabo onde se acredita ser o sítio mais prejudicial para o cabo.

A figura seguinte mostra o esquema/diagrama eléctrico de um ensaio de envelhecimento.

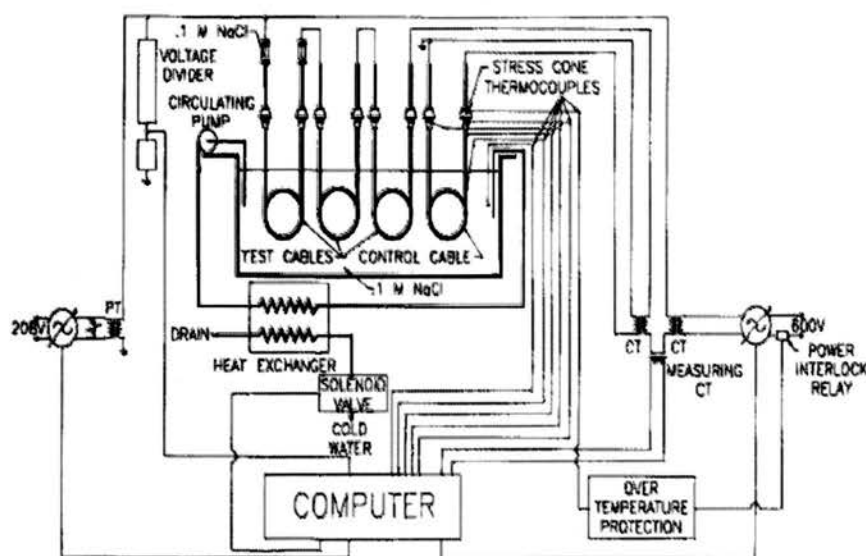


Figura 24: Esquema Eléctrico típico

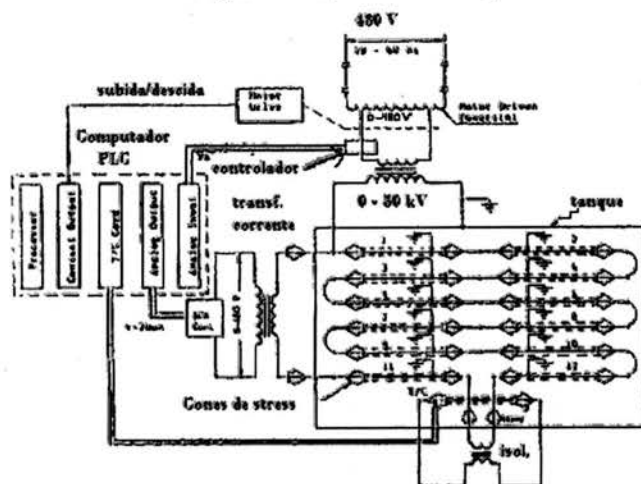


Figura 25: Esquema Eléctrico alternativo

II 3 Weibull

II 3.1 Fundamentos teóricos:

A distribuição Weibull é comum a um pequeno número de outras distribuições tais como; a distribuição Gamma e a distribuição Lognormal, e por esta razão **não tem uma forma específica**.

Na verdade, pode representar muitas distribuições e, em fiabilidade, tem a vantagem de ser ajustar a dados experimentais.

A sua aplicação em estudos de fiabilidade e em particular à probabilidade de um cabo eléctrico sofrer disrupções internas foi já amplamente provada e pode ser expressa segundo uma lei de Weibull da forma:

$$P(t) = 1 - e^{-k \cdot t^a \cdot g^b \cdot \Theta^c}$$

Equação 6

Onde:

- $P(t)$ - Probabilidade de um cabo sofrer disrupção ao fim de um determinado tempo t .
- t - tempo até à disrupção
- g - gradiente máximo (junto ao condutor)
- Θ - temperatura
- k, a, b, c - constantes
- e - constante de Nepper

Assim podemos simular o comportamento durante a vida útil do cabo eléctrico em condições normais, num tempo muito mais reduzido elevando os valores de campo eléctrico e da temperatura, desde que, obviamente, se verifique uma igualdade entre os valores de $t^a g^b \Theta^c$ normais e os valores $t^a g^b \Theta^c$ do ensaio.

II 3.2 Fundamentos práticos:

Vários métodos estatísticos foram usados para analisar os resultados experimentais obtidos de tempos de avaria e valores de tensão de avaria e chegou-se à conclusão que a distribuição que melhor simulava o tempo de avaria e a probabilidade de ocorrência de avarias era uma distribuição de Weibull.

A média estatística de Weibull, α , foi obtida da função de distribuição de Weibull de dois parâmetros dada pela equação 7:

$$F(x) = 1 - \exp[-(x/\alpha)^\beta]$$

Equação 7

onde x é a variável aleatória tal como a tensão do tempo ou de avaria do envelhecimento e o β é o parâmetro da inclinação ou de forma.

Beta é um parâmetro importante que fornece ou uma medida da propagação ou relaciona a escala dos dados - menor o beta, maior a propagação.

A análise estatística pode ser realizada usando WinSMITH Weibull™ 2.0Y, (este programa é o usado pelo SINTEF) através de um computador com Windows.

O software fornece métodos diferentes de estimar o α e o β .

Para uma melhor compreensão deste software existem diversos tutoriais disponíveis na rede entre os quais o playTIME que é usado nas aulas de análise da função weibull na faculdade de Helsínquia e também o tutorial do WinSMITH Visual Training Manual.

A figura 26 e a figura 27 mostram dois gráficos típicos obtidos para uma simulação tipo.

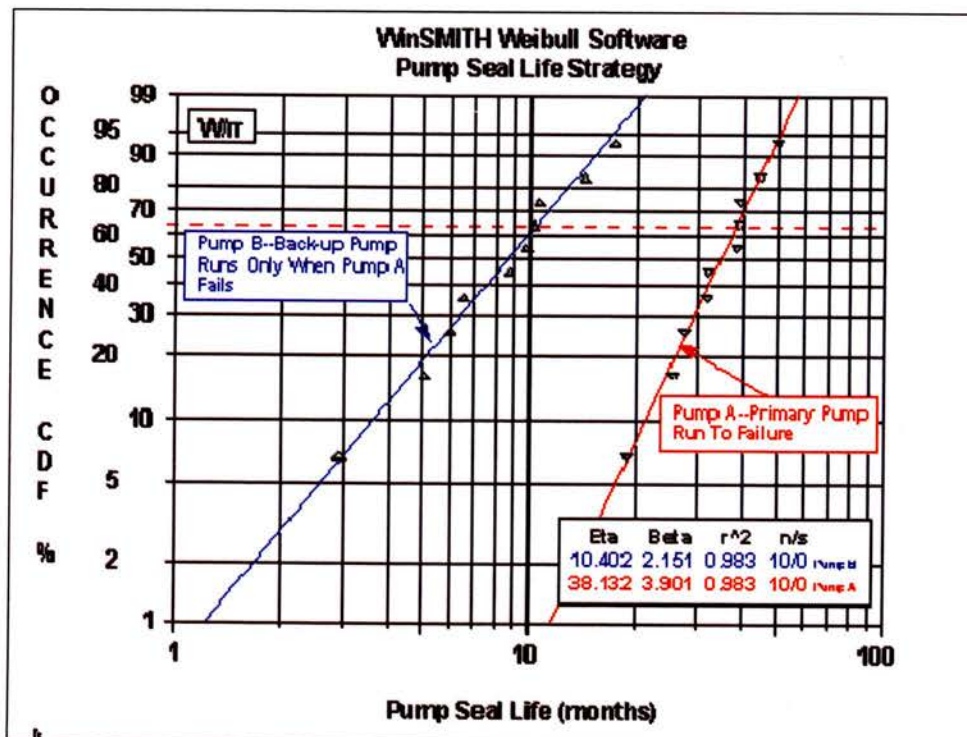


Figura 26: weibull

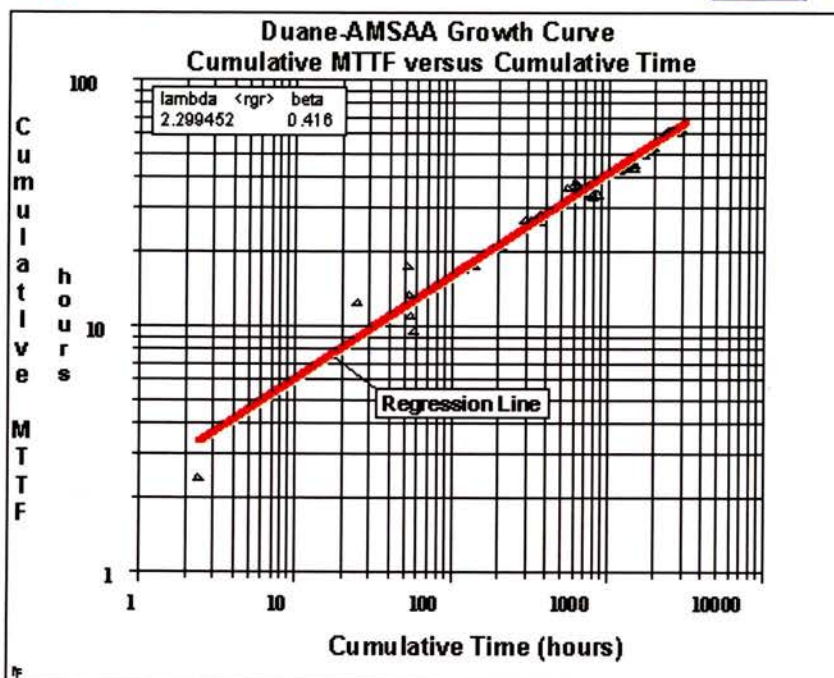


Figura 27: regressão weibull



II 4 Temperatura:

A temperatura, como já foi dito anteriormente, tem um papel muito importante como um parâmetro de envelhecimento para cabos de média tensão testados em tanques com água.

A fim de elevar a temperatura do condutor aos níveis requeridos para o envelhecimento acelerado do cabo, a corrente é induzida geralmente no condutor usando um transformador de corrente ou intensidade.

O aquecimento do cabo ocorre devido às perdas resistivas no condutor.

Este método de aquecimento é a prática comum, podendo ser cíclico ou contínuo.

A prática usual é realizar um aquecimento cíclico, isto porque este tipo de aquecimento simula a situação mais próxima do tipo de aquecimento que um cabo experimenta no serviço real.

O aquecimento cíclico é realizado com um ciclo diário, 8 horas ligado e 16 horas desligado, todos os sete dias da semana.

MAS com a entrada em vigor da emenda A3 da norma HD 605 S1 deixou de ser obrigatório o aquecimento do condutor, sendo apenas necessário garantir o aquecimento uniforme da água como parâmetro decisivo da temperatura do ensaio.

Segundo a mesma norma, a temperatura da água deverá ser 40 ± 5 °C.



II 4.1 Temperatura da água:

A temperatura da água deve ser uniforme em todo o tanque e a todo o instante.

Isto é conseguido mais frequentemente circulando a água e fazendo com que seja distribuída uniformemente através de uma bomba (turbina) localizada no centro do tanque na sua parte inferior.

Tendo presente esta precaução, apenas é necessária uma ponta de prova da temperatura da água.

As esferas ou as folhas plásticas ocas do styrofoam são usadas frequentemente na superfície da água para isolá-la do ar e minimizar a evaporação da água.

II 4.2 Temperatura ambiente:

A temperatura ambiente na área de ensaio deve ser monitorizada e gravada.

Se a temperatura de água do tanque não for controlada, é desejável controlar esta variável como meios de conseguir um perfil mais constante das variações de temperatura.

Devido mais uma vez à entrada em vigor da emenda A3 da norma HD 605 S1 e devido também ao facto da temperatura da água ser controlada neste ensaio, apenas é necessário garantir que a temperatura ambiente esteja dentro da gama de valores recomendada pela norma (20 ± 15 °C).

II 5 Água:



A água é um dos parâmetros preliminares do ensaio de envelhecimento acelerado. Desde que a humidade na isolamento começou a ser relacionada como a causa para o aparecimento de envelhecimento e formação de arborescência, a monitorização da qualidade de água tornou-se essencial para a repetibilidade do ensaio.

Ter as mesmas características da água antes do envelhecimento e monitorizar a mudança da qualidade da água quando os limites prescritos da resistividade e pH são excedidos são necessários para assegurar as comparações futuras entre os diferentes ensaios realizados.

Assim é importante obter a informação de como manter a qualidade de água uniforme.

Em ensaios de envelhecimento acelerado, a água é usada para encher o tanque e os espaços intersticiais do condutor interno da amostra.

Quando possível é preferível que a água usada seja desionizada inicialmente tendo uma resistividade de pelo menos $1000 \Omega \cdot m$.

O pH da água nunca deve ultrapassar o valor 8 e nunca ser inferior a 5,5

Uma vez que a água pode ser afectada ou por uma avaria eléctrica, ou pela inserção/remoção de amostras de cabo, a água nos tanques deve ser mudada totalmente ou parcialmente quando a resistividade é inferior a $250 \Omega \cdot m$.

É recomendado que a resistividade e o pH da água seja verificado mensalmente.

Estes registos permitirão verificar as variações destes valores em função do tempo, e poderão ajudar a explicar falhas particulares da amostra.

Além disso, uma relação adequada do volume de água por amostra deve ser fixado e mantido durante o período de envelhecimento.

Afim de manter constante o volume de água que sofre variações devido essencialmente à evaporação, é necessário verificar periodicamente o nível de água no tanque, tendo

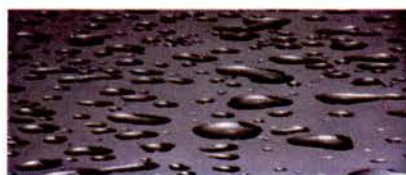
tido para isso executada anteriormente uma marcação de nível na parede lateral do tanque.

A água usada deve ser igual àquela usada inicialmente (é sugerido guardar uns bidões da água usada inicialmente).

Mais uma vez faço atenção de que a água deve ser circulada continuamente para evitar pontos quentes, dentro de uma variação de temperatura de $\pm 2^\circ \text{C}$, para assegurar um envelhecimento uniforme.

Adverte-se que se a água da torneira ou a água com sal (NaCl) forem usadas inicialmente, os resultados de ACLT podem mudar relativamente aos ensaios realizados anteriormente antes da entrada em vigor da norma emenda A3 da norma HD 605 S1, uma vez que soluções aquosas diferentes podem render resultados diferentes de ACLT, mesmo que todas circunstâncias restantes sejam iguais.

Isto é porque os iões diferentes penetram na parede de isolamento em taxas diferentes e podem induzir a resultados diferentes do ensaio de envelhecimento.



II 6 Tensão:



O stress eléctrico causado pela tensão é um parâmetro crítico para o processo de envelhecimento e é requerido, juntamente com a água, para o crescimento da arborescência.

A estabilidade e a qualidade da forma de onda de tensão são, sem dúvida, parâmetros importantes ao longo do ensaio, uma vez que pequenas perturbações na forma de onda conduzem a resultados errados. Também convém fazer notar que o aparecimento constante de cavas ou ocos de tensão na alimentação tem um efeito nefasto nos resultados assim como a própria poluição harmónica da unidade fabril.

Tal como foi dito anteriormente, a iniciação e o crescimento da arborescência são uma função de gradientes eléctricos localizados que não podem ser directamente medidos.

II 6.1 Aplicação:

Segundo a emenda A3 da norma HD 605 S1 de 2002 os níveis de tensão aplicados no ensaio de envelhecimento acelerado são de $18\pm 3 \text{ kV}$, $27\pm 3 \text{ kV}$ e $36\pm 3 \text{ kV}$ para espessuras de nominais de isolamento de 3,4 mm, 4,5mm e 5,5 mm respectivamente.

A tensão é aplicada entre o condutor e o ecrã metálico ou neutro.

Uma ponta do neutro de cada cabo é conectado, directamente ou através de um fusível, à terra de alta tensão do circuito.

O nível de tensão deve ser controlado de maneira a ter um desvio máximo de $\pm 5\%$ do seu valor e deve estar livre de um índice harmónico significativo.

O índice harmónico na tensão do ensaio pode ser especificado através da distorção harmónica total (THD), mas os efeitos totais dos harmónicos no envelhecimento das amostras não foram ainda totalmente investigados.

O nível médio de gradiente eléctrico está geralmente entre 2 kV/mm e 8 kV/mm.

Convém fazer notar que um gradiente demasiado elevado pôde introduzir um mecanismo de envelhecimento que não ocorra durante um envelhecimento dito normal com stress normal.

É importante que o equipamento de medição da tensão seja calibrado regularmente, preferivelmente pelo menos uma vez por ano.

A tensão deve ser monitorizada regularmente por diversos dias para assegurar que a variação da tensão está dentro dos já falados $\pm 5\%$.

A monitorização deve obrigatoriamente incluir dias úteis e fins-de-semana.

As interrupções na alimentação do ensaio são por vezes necessárias para a manutenção de níveis de água, retirada de água para análise e quando as amostras falham ou rompem.

A duração de uma interrupção pode ser facilmente minimizada, para isso deve-se ter sempre disponíveis amostras de cabo perto do tanque para serem recolocadas rapidamente assim como bidões com água para reposição.

O instante e a duração das interrupções devem ser anotadas em registo.

Os danos causados à amostra durante a ruptura podem ser limitados usando uma fonte de alimentação com elevada impedância, ou alternativamente, um dispositivo de desengate automático de sobrecarga no circuito.

Como exemplo, o neutro de cada amostra do ensaio é conectado à terra de alta tensão do circuito através de um fusível (~ 2 A) para facilitar a identificação de uma amostra com ruptura.

A frequência da alimentação é especificada geralmente como 50 hertz.

Outros ensaios foram realizados até aos 8000 Hz, mas frequências mais altas que 50 hertz ou 60 hertz requerem fontes de alimentação caras que devem ser protegidas de encontro às sobreintensidades que surgem quando as amostras rompem.

Para estas razões, nenhum ensaio é executado actualmente em alta-frequência.

Como nota, convém lembrar que em alguns procedimentos de ensaio, sobretensões são introduzidas intencionalmente durante um programa do envelhecimento para incluir os efeitos das sobretensões que ocorrem durante a vida de serviço de um cabo subterrâneo e aéreo. Estas sobretensões podem ocorrer involuntariamente quando as amostras do cabo rompem.

Se a área de ensaio do envelhecimento for situada perto de um local com potencial de surgimento de sobretensões, a instalação do ensaio deve ser verificada e protegida.

O valor, a forma da onda, e a frequência de impulsos intencionalmente aplicados ou de sobretensões surgidas por descargas atmosféricas devem exactamente ser gravados.

Alimentação em corrente contínua foi testada em alguns ensaios de envelhecimento provando ter alguma influência na vida do cabo, mas não é recomendada em ensaios de envelhecimento acelerado tipo ACLT.

A terminação das amostras do cabo devem receber uma consideração especial porque são o lugar mais propício à ocorrência de uma falha durante o envelhecimento.

Assim sendo deve-se sobre projectar a terminação da amostra para fornecer um alívio ao gradiente elevado causado pela alta tensão usada durante o ensaio.

As falhas prematuras consomem tempo e dinheiro.

As medidas da tensão do ensaio devem ser feitas no lado de alta tensão com um divisor apropriado e monitorizado continuamente.

Este ensaio irá decorrer no novo laboratório de Alta Tensão da empresa SOLIDAL que está em fase de planeamento e entrará muito brevemente em fase de construção. Com a construção do novo laboratório de Alta Tensão, os problemas causados pelas sobretensões surgidas por descargas atmosféricas serão bastante atenuados.

II 7 Conclusões:

O facto de estar ensaio implicar um custo inicial bastante elevado e um tempo de duração extenso leva a que seja pouco requerido pelos clientes apesar da sua crescente importância nomeadamente em cabos subterrâneos da gama de Média Tensão que, obviamente, estão mais sujeitos a fenómenos de arborescência.

No anexo G é apresentado o formato do tanque (Figura36) e algumas figuras relativas a alguns equipamentos que irão ser usados neste novo ensaio.

Tal como foi dito anteriormente, este ensaio apesar de já ter algumas décadas de existência ainda hoje gera polémica, uma vez que a comparação de resultados entre laboratórios seja extremamente difícil, o que leva a que alguns especialistas contradigam fortemente os resultados obtidos pelo ensaio e argumentem que o cabo em situações “normais” de serviço tenha um comportamento muito superior à aquele demonstrado.

A empresa SOLIDAL espera ter este ensaio a decorrer já no próximo ano estando apenas dependente da construção do novo laboratório de Alta Tensão.

Capítulo III - Terras de Protecção

Na construção de um novo laboratório para ensaios de alta tensão é importante ter particular atenção ao problema das terras de protecção. Servirá qualquer terra? Qual é o melhor modelo de protecção a seguir?

A empresa PASSONI-VILLA com quem a SOLIDAL encetou contactos aparelhos forneceu valiosas indicações sobre as ligações e protecções a seguir.

Como será demonstrado de seguida, o problema de Terras de Protecção no novo laboratório de ensaios é substancialmente diferente daquele que encontramos quando queremos fazer a protecção de uma subestação já que aqui o problema maior deve-se a fenómenos causados pela Alta-frequência.

III 1.1 Fundamentos teóricos:

No teste de impulso ou de descargas parciais é importante verificar que durante o tempo de crista da onda e em particular durante o seu corte há a criação de umas tensões e correntes de intensidade elevada com frequências muito altas e de dimensão temporal reduzida que causam campos electromagnéticos que se irão propagar na sala de teste.

Se não houver uma boa referência à terra, estes campos electromagnéticos podem afectar o desempenho dos instrumentos de medição e de gravação e podem também danificar os dispositivos electrónicos na mesa de controlo.

Devido aos fenómenos de propagação de campos electromagnéticos, outros equipamentos situados em salas afastadas também poderão ser afectados.

Sendo assim, é particularmente importante que as conexões à terra e o circuito de protecção estejam correctamente dimensionados numa planta de um laboratório de alta tensão onde se irão realizar estes ensaios de impulsos.

Basicamente o que deve ser posto em consideração no projecto de um sistema de protecção para a área onde os ensaios em alta tensão serão realizados, é o efeito devido aos distúrbios causados pela alta-frequência. Como foi dito anteriormente estes “distúrbios” são muito significativos durante o tempo de crista ou de frente da onda e durante o corte da mesma.

Este problema será explicado mais extensamente no anexo H.

Sendo assim o objectivo principal no projecto de um sistema de protecção é manter a impedância de terra o mais baixo possível durante os “distúrbios” de alta-frequência.

O parâmetro que mais negativamente influencia a funcionalidade do sistema de protecção de terra é a indutância (e não a resistência).

Consequentemente o método tradicional de projecto, que consiste em aumentar a secção dos condutores de terra da rede (a fim reduzir R) não tem o efeito previsto nesta circunstância.

III 1.2.1 Esquemas e ligações a seguir:

Aqui na SOLIDAL o novo laboratório de alta tensão vai seguir o seguinte esquema da figura 28:

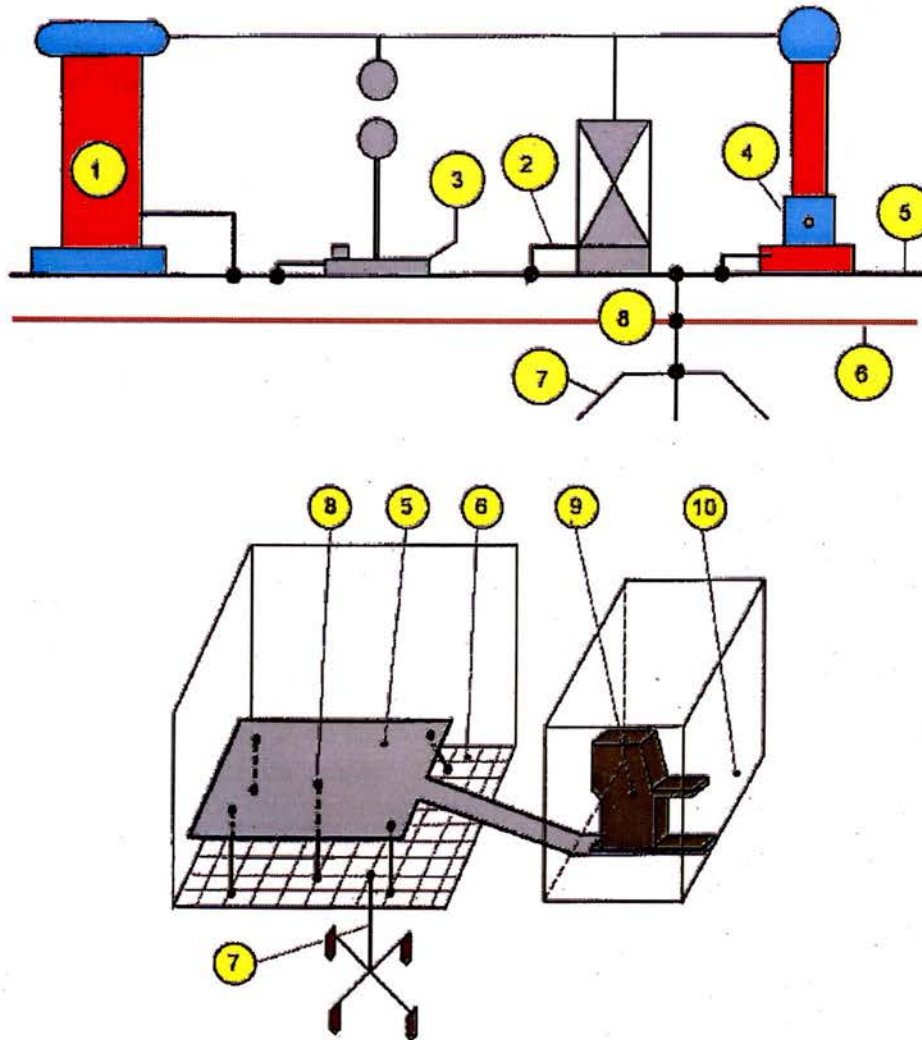


Figura 28: Esquema

Onde:

- ① Gerador de impulsos
- ② Objecto de teste (Cabo)
- ③ Aparelho de corte
- ④ Divisor de tensão

- 5 Placa de retorno de descarga ou prato metálico
- 6 Rede ou malha de terra
- 7 Hastes de terra
- 8 Terminal de terra
- 9 Equipamentos de controlo
- 10 Sala de controlo

III 1.2.2 Regras a seguir:

De seguida são apresentadas umas regras práticas que devem ser seguidas a fim de se aumentar os desempenhos do sistema de protecção a respeito dos fenómenos causados por alta-frequência durante os ensaios realizados no laboratório de alta tensão e muito particularmente durante o ensaio de descargas parciais.

Qualquer referência a cada um dos componentes anteriormente descritos no esquema será representada pelo seu número atribuído.

Posto isto as regras práticas a seguir são as seguintes:

1. As hastes de terra 7 ou um dos terminais de terra 8 deverão ser posicionados perto do divisor da tensão 4. As hastes de terra são enterradas a uma profundidade de aproximadamente 2 metros; as hastes de terra e os terminais de terra deverão ser conectados à malha de terra 6. A haste de terra pode ser em cruz de aço galvanizado a quente com dimensão 50 X 50 X 5 milímetros e com um comprimento de 70 a 80 centímetros.
2. A placa de retorno de descarga 5 é feita geralmente de alumínio, com pouca espessura (o valor típico é de 2 milímetros) e deve ser conectada somente em um ponto na rede ou malha de terra. A superfície da placa de retorno da descarga deverá incluir o gerador do impulso 1, o gerador da C.C. e o divisor da tensão. Equipamento de explosores ou de corte devem ser conectados à placa de retorno da descarga por conexões descritas no ponto 3. Esta placa assegura um valor baixo da indutância do sistema de terra de protecção e ajuda-o obter uma condição equipotencial durante a descarga.
3. As conexões dos equipamentos do ensaio à placa de descarga devem ser realizadas a fim de obter um acoplamento mais capacitivo do que indutivo. Consequentemente deve-se escolher superfícies de contacto largas, feitas pela tira metálica soldada na área de contacto. Em caso de alguns equipamentos tiverem que ser movidos, podem ser pressionados por um peso.

4. A rede ou malha de terra ⁶ por baixo da placa de retorno da descarga ⁵ tem um efeito capacitivo com a terra e esse facto diminui a impedância do sistema sob altas-frequências. É feito geralmente por uma rede em ferro (pode ser cobre ou alumínio) com as hastes soldadas em cada ponto transversal, com quadrados de aproximadamente 10 a 20 cm. Também é recomendado uma profundidade de aproximadamente 300 milímetros para a malha de terra ao nível do soalho de concreto(cimento) e pode ser do mesmo tipo de malha de aço usada no resto do edifício. Se não for o caso, deve-se conectar as duas malhas com muitas conexões. Sobre o cimento do quarto de teste deve-se pôr a placa de alumínio como placa de retorno da descarga ⁵.
5. **IMPORTANTE** evitar conexões indutivas. Devemos evitar: conexões longas, usar fio com secção circular, o efeito de gargalo de garrafa porque provoca fenómenos indutivos, bordas afiadas e ângulos pronunciados dos condutores. Devemos conseguir: A utilização de conexões curtas feitas através de condutores largos de tira sempre que possível numa disposição lisa. A aplicação desse tipo de tira larga diminui o fluxo magnético e consequentemente a indutância do circuito.
6. É importante que todos os cabos usado na conexão entre o laboratório de ensaio e a sala de controlo ¹⁰ estejam colocados agrupados de modo a que sigam o mesmo trajecto, e estejam colocados debaixo da placa de retorno da descarga. No caso em que a sala de controlo estiver numa posição mais elevada em relação ao laboratório de ensaios é necessário proteger os cabos com tiras metálicas, devendo estas serem conectadas a placa de retorno da descarga.
7. Os cabos utilizados devem ser protegidos com blindagem adequada; em todo o caso o melhor é conectar a blindagem à terra em ambos os lados do condutor. Os conectores devem montados com cuidado segundo as disposições do construtor; tendo sempre absoluto cuidado para não danificar os fios metálicos da blindagem protectora.
8. A mesa de controlo ⁹ e os equipamentos no interior da sala de controlo ¹⁰ devem ser conectados à placa de retorno da descarga (por meio de uma tira metálica larga) a fim obter um comportamento equipotencial do sistema também durante os ensaios de descargas parciais. A distância entre a sala de controlo e o laboratório de ensaio deve ser no mínimo de 10 metros. A mesa de controlo ⁹ deve ser conectada à terra separadamente por razões de segurança e fiabilidade. Se existir possibilidade, pode ser útil conectar a mesa de controlo com o plano de referência comum em vez da placa de retorno da descarga ⁵. Se tal plano comportar-se eficazmente como “um plano de referência de tensão zero” preferivelmente durante o teste do impulso, a funcionalidade do sistema de medição poderá ter algumas vantagens usando esta boa “regra básica”.
9. No caso de um transformador de isolamento fornecer a energia em baixa tensão à mesa de controlo a fim separar tanto quanto possível as interferências entre a rede e os equipamentos do ensaio, algumas regras devem ser seguidas: entre os enrolamentos do transformador de isolamento deve haver um condutor isolado,

conectado ao plano de referência e ao ponto médio do enrolamento secundário (esse conectado à mesa) que deve ser também ligado à terra da mesa.

10. No laboratório de ensaios a função de protecção está feita normalmente pelas paredes e pelo telhado do quarto de ensaio se tiverem uma superfície metálica. Também a utilização de ferro enterrado dentro do concreto das paredes tem um efeito do protector de o engradeamento (rede) for soldado nos pontos transversais. É sempre melhor ter uma distância maior dos equipamentos do ensaio às paredes e ao telhado do que uma distância pequena, porque ajuda a reduzir efeitos desequilibrados durante os ensaios.

III 1.2.3 Outras considerações:

Para além destas regras práticas existem pormenores a que é importante ter atenção.

Os condutores encaminham as correntes capacitivas em trajectos predefinidos, de modo que as diferenças potenciais entre pontos diferentes da terra possam ser reduzidas e desta forma atenuar o campo magnético criado pelos equipamentos do ensaio.

Os condutores devem ser conectados, se possível, ao plano da descarga ou alternativamente ao plano de referência por meio de diversas conexões; neste caso é importante ter também mais de um terminal de ligação à terra entre a rede e a placa de retorno da descarga também chamado de prato metálico.

É também possível realizar um check-up para verificar o nível de interferência e de ruído no sistema de medição depois de ter completado todas as conexões descritas anteriormente.

Para conseguir um check-up válido é preciso seguir determinados passos descritos de seguida:

- curto circuita-se o braço de baixa tensão do divisor de tensão, mantendo o cabo a medir na posição usual.
- ajustar o osciloscópio e o voltímetro para medir o pico do impulso na condição da sensibilidade máxima.
- realizar alguns impulsos no máximo, gravando os oscilogramas assim obtidos.

Se as conexões forem todas feitas da melhor maneira, teoricamente os oscilogramas devem consistir numa linha recta sem interferências detectáveis, e o voltímetro deve indicar o pico de impulso com uma diferença de menos de 1% da tensão prevista.

As figuras 29 e 30 mostram os gráficos obtidos no osciloscópio da SOLIDAL para o ensaio de descargas parciais.

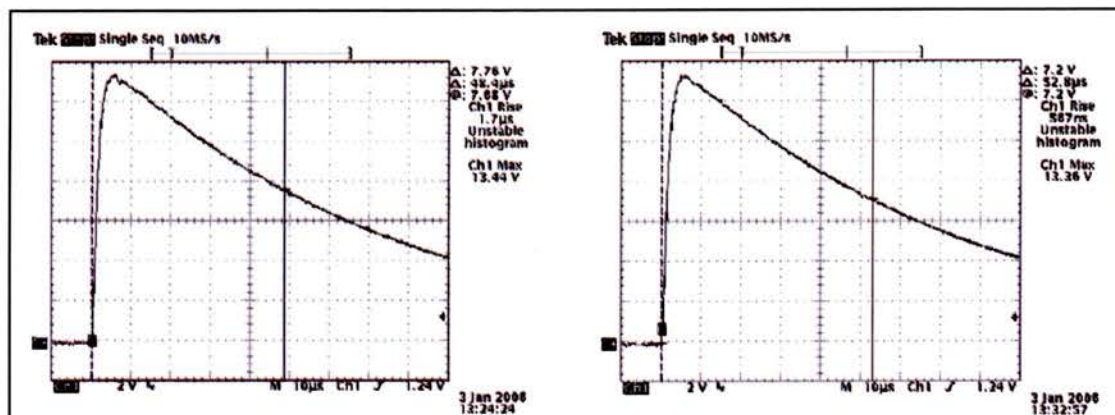


Figura 29: 1º e 10º impulso positivo

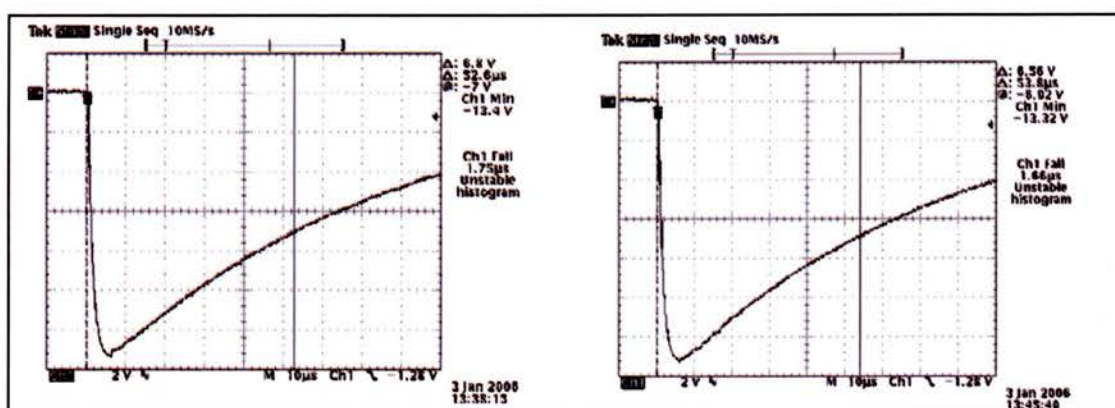


Figura 30: 1º e 10º impulso negativo

Como podemos observar, os gráficos obtidos mostram uma forma de onda quase perfeita uma vez que o nível de ruído dentro da gaiola de Faraday da empresa é extremamente baixo (na última medição efectuada pelo LABLEC o nível de ruído situava-se nos 2 pC).

III 3 Dimensionamento da malha de terra:

De seguida são apresentadas algumas opções de dimensionamento da rede ou malha de terra baseadas no programa **DIMESYS** (Dimensioning Earth Systems) desenvolvido pelo colega Duarte Cerqueira.

Apesar de ser um programa mais direccionado para a protecção de subestações, relevou-se uma importante ajuda nomeadamente no dimensionamento das quadriculas da malha ou rede de terra.

Ainda relativamente à malha de terra, nunca é demais relembrar que a malha deve ser soldada ponto a ponto evitando criar uma soldadura cilíndrica ou em forma de anel uma vez que tem um efeito nocivo em relação ao valor da indutância alterando assim o valor de impedância de terra.

Usando o DIMESYS foram obtidos as seguintes opções:

Opção Um

Ver resultados da validação da rede de terra

A rede de Terra está validada.

Resultados:

Numero Código da Instalação: [Campo]

Nome da Instalação: Vasco

Localização: Vasco

Comprimento da malha (m): 17,200

Largura da malha (m): 10,200

Camada Superficial: Sim

Tipo de Material: Brita

Resistividade do Material (Ohm.m): 2500

Espessura da camada (m): 0,15

Tipo de Solo: Jofredo

Resistividade do Solo (Ohm.m): 150

Secção dos Cond Terra (mm²): 25

Tipo de Condutor de Terra: Cobre electrolítico duro

Numero de Electrodos de terra: 14 (Dois deles situados na zona central da malha)

Comprimento dos Electrodos de terra (m): 2,000

Espacamento entre os Electrodos de terra (m): 5

Espacamento dos condutores (m): 0,200

Profundidade da malha (m): 0,300

Resistência da malha da instalação Rm (Ohm): 4,914

Resistência equivalente da instalação Raq (Ohm): 4,914

(A) Tensão de contacto permitida (V): 2.089,025

(B) Tensão de malha (V): 1.589,565

Nº Iterações: [Campo]

OK **Cancelar**

Figura 31: Malha 1

Opção Dois

Ver resultados da validação da rede de terra

A rede de Terra está validada.

Resultados:

Numero Código da Instalação: [Campo]

Nome da Instalação: Vasco2

Localização: Vasco2

Comprimento da malha (m): 17,200

Largura da malha (m): 10,150

Camada Superficial: Sim

Tipo de Material: Brita

Resistividade do Material (Ohm.m): 2500

Espessura da camada (m): 0,15

Tipo de Solo: Jofredo

Resistividade do Solo (Ohm.m): 150

Secção dos Cond Terra (mm²): 25

Tipo de Condutor de Terra: Cobre electrolítico duro

Numero de Electrodos de terra: 14 (Dois deles situados na zona central da malha)

Comprimento dos Electrodos de terra (m): 3,000

Espacamento entre os Electrodos de terra (m): 5

Espacamento dos condutores (m): 0,400

Profundidade da malha (m): 0,300

Resistência da malha da instalação Rm (Ohm): 4,998

Resistência equivalente da instalação Raq (Ohm): 4,998

(A) Tensão de contacto permitida (V): 2.089,025

(B) Tensão de malha (V): 2.601,861

Nº Iterações: [Campo]

OK **Cancelar**

Figura 32: Malha 2

➡ **Opção Três**

Ver resultados da validação da rede de terra

A rede de Terra está validada.

Resultados:

Numero Código da Instalação: [dropdown]
 Nome da Instalação: Vasco3
 Localização: Vasco3
 Comprimento da malha (m): 17,200
 Largura da malha (m): 10,150
 Camada Superficial: Sim
 Tipo de Material: Brita
 Resistividade do Material (Ohm.m): 2500
 Espessura da camada (m): 0,15
 Tipo de Solo: Rochoso
 Resistividade do Solo (Ohm.m): 150
 Secção dos Cond.Terra (mm²): 25
 Tipo de Condutor de Terra: Cobre electrolítico duro
 Numero de Electrodos de terra: 14 (Dois deles situados na zona central da malha)
 Comprimento dos Electrodos de terra (m): 2,000
 Espaçamento entre os Electrodos de terra (m): 5
 Espaçamento dos condutores (m): 0,400
 Profundidade da malha (m): 0,200
 Resistência da malha da instalação Ri (Ohm): 5,076
 Resistência equivalente da instalação Raq (Ohm): 5,076
 (A) Tensão de contacto permitida (V): 2.888,035
 (B) Tensão de malha (V): 1.577,541

Nº Iterações: [input]

start | DIMESYS pa... | CAL TER... | CAL TER... | Document | ESTAGIO | Microsoft Ex... | DIMESYS | PT 4 23:44

Figura 33: Malha 3

➡ **Opção Quatro**

Ver resultados da validação da rede de terra

A rede de Terra está validada.

Resultados:

Numero Código da Instalação: [dropdown]
 Nome da Instalação: Vasco3
 Localização: Vasco3
 Comprimento da malha (m): 17,200
 Largura da malha (m): 10,150
 Camada Superficial: Sim
 Tipo de Material: Brita
 Resistividade do Material (Ohm.m): 2500
 Espessura da camada (m): 0,15
 Tipo de Solo: Rochoso
 Resistividade do Solo (Ohm.m): 150
 Secção dos Cond.Terra (mm²): 25
 Tipo de Condutor de Terra: Cobre electrolítico duro
 Numero de Electrodos de terra: 14 (Dois deles situados na zona central da malha)
 Comprimento dos Electrodos de terra (m): 2,000
 Espaçamento entre os Electrodos de terra (m): 5
 Espaçamento dos condutores (m): 0,600
 Profundidade da malha (m): 0,200
 Resistência da malha da instalação Ri (Ohm): 5,113
 Resistência equivalente da instalação Raq (Ohm): 5,113
 (A) Tensão de contacto permitida (V): 2.888,035
 (B) Tensão de malha (V): 2.526,442

Nº Iterações: [input]

start | DIMESYS pa... | CAL TER... | CAL TER... | Document | ESTAGIO | Microsoft Ex... | DIMESYS | PT 4 23:45

Figura 34: Malha 4

A primeira opção obtida para o dimensionamento da malha de terra e para a verificação das tensões de contacto é muito próxima da referida anteriormente no ponto 4 do capítulo III 1.2.2. É uma solução viável uma vez que o valor da tensão na malha está bastante longe do valor da tensão de contacto permitida.

A principal desvantagem desta opção deriva do seu elevado custo comparativamente a outras opções uma vez que implica uma maior quantidade de cobre a usar na construção da malha de terra.

A principal vantagem é em termos físicos já que esta malha é bem mais resistente, faz baixar bastante o valor de tensão e permite que a soldadura seja mais apertada criando assim uma estrutura mais consistente.

Na opção dois o espaçamento da malha é de 40 centímetros o que se traduz numa malha mais larga, logo o custo em cobre vai baixar significativamente.

A desvantagem é que a tensão da malha vai subir para níveis próximos da tensão de contacto permitida. Outra desvantagem importante é que a profundidade a que os eléctrodos de terra serão enterrados aumenta para 3 metros em vez dos anteriores 2 metros.

A opção três é curiosa uma vez que permite o espaçamento da malha de 40 centímetros (com as vantagens que já se conhecem e que os eléctrodos de terra sejam enterrados à profundidade de 2 metros. Os valores de tensão da malha são muito mais baixos que os valores de tensão de contacto permitida.

A grande desvantagem é que a profundidade da malha é reduzida a apenas 20 centímetros o que é bastante perigoso devido ao peso colocado no chão do laboratório.

A última opção foi uma tentativa de aumentar ainda mais o espaçamento da malha e verificar se era possível obter uma solução viável para esta situação.

Nesta opção o espaçamento dos condutores da malha era de 50 centímetros o que seria uma grande vantagem em termos de custo mas a profundidade da malha é tal como na opção três de apenas 20 centímetros.

Relativamente à tensão da malha observa-se que fica muito próxima do valor da tensão de contacto permitida.

III 4 Conclusões:

Aquando da realização deste trabalho ainda estava a decorrer um estudo para verificar o custo de cada uma das opções para a construção da malha de terra que irá proteger o laboratório de Alta Tensão mas podemos afirmar com segurança que a opção a seguir será uma opção muito próxima da primeira opção apesar de esta implicar um custo em cobre mais elevado.

O facto é que esta opção é a mais próxima da recomendada pela PASSONI-VILLA e também é a que tem melhor comportamento em termos de tensão.

Está previsto que a construção do novo laboratório arranque o mais brevemente possível.

Anexos:

Anexo A: Características do cabo



BOLETIM DE ENSAIOS

Cabo : RHZI

Secção (mm²) : 1x1000/95

Tensão (kV) : 36/60

Fabricante: SOLIDAL

Cliente : ENDESA

Norma : KNE 001

Tipo de controlo	Verificado	Prescrito
Diâmetro exterior (mm)	81,0	
Espessura mín. - bainha (mm)	5,71	2,88
Espessura máxima - bainha (mm)	6,18	
Espessura média - bainha (mm)	6,0	3,5
Espessura da fita de alumínio (mm)	0,15	
Sobreposição da fita de alumínio (mm)		
Espessura mín.- semicondutor ext.(mm)	1,12	
Espessura média.- semicondutor ext.(mm)	1,2	1,0
Espessura mín.- isolamento (mm)	9,59	8,28
Espessura máxima - isolamento (mm)	9,70	
Espessura média - isolamento (mm)	9,6	9,0
Ovalização do isolamento	0,01	≤ 0,10
Espessura mín.- semicondutor int.(mm)	1,61	
Espessura média - semicondutor int.(mm)	1,7	1,5
Numero de fios da blindagem	80	
Diâmetro dos fios da blindagem.(mm)	1,24	
Largura da fita de cobre.(mm)	10,0	
Espessura da fita de cobre.(mm)	0,10	
Secção da blindagem (mm ²)	96,6	95
Diâmetro da alma condutora.(mm)	39,3	
Numero de fios da alma condutora	126	
Diâmetro dos fios da alma condutora		
Bloqueamento da alma condutora	SIM	-
Fita semic, hidroexpansiva sobre fios da blindagem (dupla)	70x0,25	-
Fita semic, hidroexpansiva sobre semic, exterior (dupla)	70x0,25	-

Anexo B: Contactos dos fabricantes de lubrificantes

- <http://lubesolutions.com/html/tg.html>
- <http://www.polywater.com/lubricants.asp>
- <http://www.polywater.com/dynablue.html>
- <http://www.idealindustries.com/ii/Contacthome.nsf>
- <http://www.gmptools.com/nf/74370.htm>
- <http://cms.3m.com/cms/PT/pt/1-3/clirEP/view.jhtml>
- <http://www.chemindustry.com/chemnames/L/lubrificant.html>
- http://products3.3m.com/catalog/us/en001/electronics_mfg/esm/node_P6B003V_T3Dbe/root_GST1T4S9TCgv/vroot_DPB1Q1MJ7Nge/gvel_WK8GCR2GN3gl/theme_us_electronicseesm_3_0/command_AbcPageHandler/output_html
- <http://www.chemindustry.com/chemnames/L/lubrificant.html>
- Representantes da polywater:



No	Brasil:	Nos Estados Unidos:	Na	Europa:
Montpelier	LTDA	American Polywater	c/o Plumettaz BV	
Rua Alberto Scherer 423		Corporation	Posthoornstraat 15	
Rio	Branco	P.O. Box 53	3011 WD, Rotterdam	
São Leopoldo - RS		Stillwater, MN 55082	Netherlands	
93032-010		+1-(651) 430-2270 (voz)	+1-651-275-2810	
+55-51-588-4161 (voz)		+1-(651) 430-3634 (fax)	+1-651-275-3634 (fax)	
+55-51-588-4161 (fax)		1-(800) 328-9384	pebv@polywater.com	
rschmeling@terra.com.br		(US/Canada)		
		custserv@polywater.com		

França

33-1-34-75-55-06 - [CEVAM](#) (All Markets) --- E-mail at commercial@cev-treuil.com X

Alemanha

49-7745-9293-30 - [VETTER GmbH](#) (All Markets) --- E-mail at info@vetter-kabel.de X

- Representantes da Ideal industries:

IDEAL INDUSTRIES (U.K.) Limited
 225 Europa Boulevard
 Gemini Business Park, Warrington
 Cheshire WA5 7TN, England



Telefone +44 (0) 1925 444446
 Fax +44 (0) 1925 445501
 E-Mail: Ideal_UK@idealindustries.com

Anexo C: Principais fórmulas usadas

Calculation of pulling tensions and sidewall bearing pressures

B.1 Calculation of pulling tensions (per IEEE Std 525-1992 and [B91])

Instead of attempting to directly calculate the maximum length of cable that can be pulled through a duct or conduit, it is usually easier to select a length and find the tension that will be developed. For a straight run of cable, the tension is given by equation (B.1).

$$T = Lwf c \quad (\text{B.1})$$

where

- T is pulling tension (lb)
- L is length of straight run of cable (ft)
- w is weight of cable (lb/ft)
- f is coefficient of friction between cable(s) and duct or conduit surface
- c is weight correction factor

The coefficient of friction, f , has been found to vary between 0.35 and 0.5 depending on the cable, jacket, lubrication, and the duct or conduit material.

For a run with bends, the tension is obtained by a cumulative process using equation (B.2).

$$T_0 = T_1 e^{(fca)} \quad (\text{B.2})$$

where

- T_0 is tension out of bend, in lb
- T_1 is tension accumulated into start of bend (accumulated from the feeding end) (lb)
- e is base of natural or Napierian logarithms
- a is bend angle (rad)
- $45^\circ = 0.79$
- $90^\circ = 1.57$

SWBP is equal to:

$$P = \sqrt{(T/R)^2 + w^2} \quad (\text{B.6})$$

If there is one cable per duct or conduit, and T is 10 times, or higher, than the value of w , then the following formula should be used:

$$P = \frac{T_0}{R} \quad (\text{B.7})$$

where

- P is SWBP (lb/ft)
- T_0 is pulling tension out of bend (lb)
- R is inside radius of bend (ft)

Anexo D: Informação Disponibilizada aos fabricantes de lubrificantes (Polywater e Ideal Industries)



20/740/DTR

DRAFT TECHNICAL REPORT

Project number IEC 61901 TR Ed. 1.0	
IEC/TC or SC TC 20	Secretariat UK
Distributed on 2004-11-12	Voting terminates on 2005-01-14
Also of interest to the following committees	
Supersedes document 20/682/CD and 20/709/CC	
Functions concerned	
☐ Safety ☐ EMC ☐ Environment ☐ Quality assurance	

5.2 Sidewall pressure test

A cable sample 15 m in length should be tested using a test arrangement such as that shown in figure 4. Other suitable test arrangements may be used.

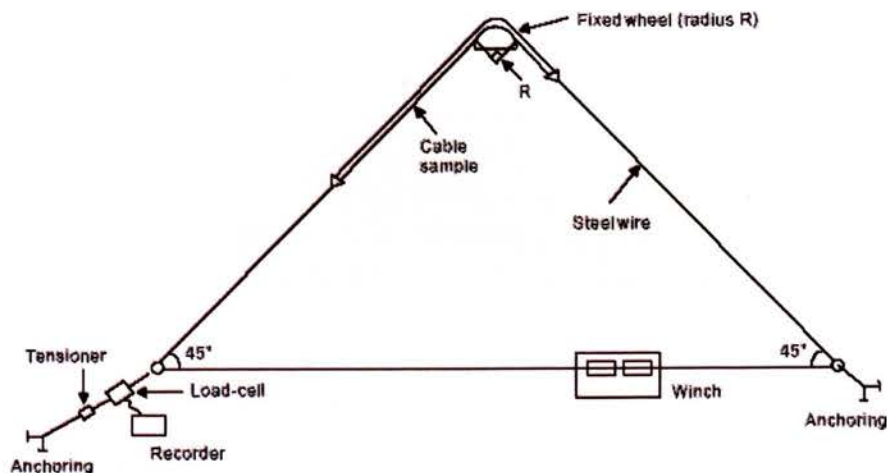


Figure 4 - Sidewall pressure test

The cable should be subjected to one pass forward and one pass backward around a fixed wheel under a sidewall pressure of 750 kg/m (T/R), calculated using the tension in the steel wire (T) and the wheel radius (R), which should not be greater than the radius used for the bending test.

After a short calculation, the wheel radius (R) used is $1,575 \text{ m}$.

The cable (Annex A) should be in contact with the wheel for at least 90° during the test.

Lubricant should be applied at the contact point on the wheel.

It is recommended that **an adequate quantity of a suitable lubricant** be used in pulling cables to reduce friction.

Commercial lubricants are designed to be compatible with different types of jacketing material.

The jacketing material used in the cable that we are about to test is a **thermoplastic, non-halogen containing natural jacketing compound**.

The choice of a specific commercial lubricant should be coordinated with the lubricant manufacturer to ensure compatibility with the cable jacket material.

Extreme conditions of high and low temperature affect lubricant performance, but we will be performing at an ambient temperature in the test area.

If pulling under these conditions, the lubricant used should be reviewed with the lubricant manufacturer.

Some pulling lubricants will negatively impact the flame resistance of the cable and we know that conventional oils and greases are generally not suitable pulling lubricants because they can swell and weaken plastic jackets and insulations.

Don't forget that a sample should then be subjected to a corrosion test.

A 1 m sample should also be subjected to a visual inspection.

We will be performing these experience whenever request by the client, so we will require a lubricant constantly.

The next table is the specifications of the cable RHZ1-OL 36/66 kV Al+H95

Characteristics	Values
Diameter of the conductor	39.3 mm
nominal Section	1000 mm ²
real exterior Diameter	81 mm
real Weight	7,359 kg/m

Anexo E: Ficha Técnica do cabo RHZ1-OL



FICHA TÉCNICA

CIAT/086/END/01-4
pág. 1/2

Tipo de cabo: Cabo Isolado para tensão $U_0/U=36/66$ kV ($U_m=72$ kV)	Designação: RHZ1-OL 36/66 kV 1x1000 K Al-H95	Norma: KNE 001 00.DOC 1ª edição
Descrição	Unidades	Características
1. Características Dimensionais		
1.1 Condutor com bloqueio longitudinal		
Norma	-	UNE-HD 383
Tipo de condutor	-	Alumínio Classe 2 (Compactada)
Secção nominal	mm ²	1.000
Composição (n° mínimo de fios)	-	53
Diâmetro do condutor	mm	39,3
1.2 Semicondutor interior (aderente)		
Material	-	Composto semicondutor
Espessura nominal	mm	1,7
Diâmetro sobre o semicondutor	mm	42,7
1.3 Isolação do Condutor		
Material	-	Poliétileno reticulado (XLPE)
Espessura nominal	mm	9,6
Espessura mínima	mm	9,0
Diâmetro sobre a Isolação	mm	62,3
1.4 Semicondutor exterior (aderente)		
Material	-	Composto semicondutor
Espessura Nominal	mm	1,2
Diâmetro sobre o semicondutor	mm	64,7
1.5 Bloqueio Longitudinal		
Material	-	Fita semi-condutora hidroexpansiva
Diâmetro sobre a Fita	mm	67,9
1.6 Blindagem		
Material	-	Combinação em fios e fita de cobre
Diâmetro nominal dos fios de cobre	mm	1,23
Número de fios de cobre	mm	80
Secção Nominal	mm ²	95,1
Dimensões da fita de cobre	mmxmm	10x0,1
Diâmetro aproximado sobre a blindagem	mm	70,6

97-144-1



FICHA TÉCNICA

CIAT/086/END/01-4

pág. 2/2

1.7 Bloqueio Longitudinal		
Material		Fita semi-condutora hidroexpansiva
Diâmetro sobre a Cinta	mm	71,7
1.8 Proteção radial à entrada de água		
Material		Fita de alumínio com copolímero
Espessura da fita	mm	0,25
Diâmetro sobre a fita	mm	72,2
1.9 Bainha Exterior grafitada (não prop. de chama)		
Material/Cor		PEMD (ST ₇)/Preta
Espessura Nominal	mm	3,9
Espessura Média Mínima	mm	3,22
Diâmetro exterior sobre a Bainha	mm	80
Peso total do Cabo	g/m	7.000
2. Características eléctricas		
2.1 Gradiente de Potencial		
Sobre o semicondutor interior	kV/mm	4,5
Sobre a Isolação	kV/mm	3,1
2.2 Resistência Eléctrica máxima		
Condutor (20° C)	Ω/Km	0,0291
Ecrã (20° C)	Ω/Km	0,188
2.3 Intensidade máx. adm. em curto-circuito		
Condutor (0,5 s)	kA	84,2
Ecrã (0,5 s)	kA	18,0
2.4 Temperatura Máxima do Condutor		
Regime Permanente	°C	90
Curto Circuito (máx. 5 s)	°C	250

Secção transversal do cabo:

Obs: Identificação e Marcação:

Ao longo da bainha exterior de protecção, de forma indelével e bem legível, deverá ser inscrita em 2 geratrizes diametralmente opostas, por gravação em relevo, a marca com a composição e sequência a seguir indicada:

"Endesa KNE 001 SOLIDAL 36/66 (72) kV XLPE 1x1000 Al-H95_"

* - Ano de fabrico; ** - referência da fabricação do cabo (OF)

- A máxima distância entre o fim de uma marca e o início da seguinte é de 1000 mm e a altura mín. dos caracteres de 4 mm.

- Levará também a ref. Métrica, por pintura, metro a metro.

- A fita semicondutora hidroexpansiva sobre o ecrã metálico deverá ser colocada em hélice aberta.

	Serviço de Tecnologia	Direcção de Tecnologia Q. e Amb.
Data	02-Ago-05	02-Ago-05
Rubrica	António Oliveira	José Veiga

Anexo F: Tanque usado no Ensaio de corrosão

O ensaio de corrosão como já vimos anteriormente faz parte dos ensaios de qualificação requeridos pela ENDESA à SOLIDAL.

Contrariamente ao ensaio de pressão lateral, este ensaio já tinha sido realizado anteriormente de modo que não necessitou de uma pesquisa prévia. A única mudança relativamente a ensaios anteriores foi a construção d um novo tanque para o ensaio.

A figura 35 mostra o novo tanque colocado no laboratório de ensaios eléctricos.



Figura 35: Tanque hermético utilizado

O tanque tem a capacidade de aproximadamente 700 litros.

Na figura 35 observa-se o conjunto contador/registador que realiza o registo do tempo de duração do ensaio assim como a temperatura no tanque.

Juntamente com este equipamento é utilizada uma sonda para fazer o registo do pH da água do tanque.

A água do tanque é desionizada e posteriormente é adicionada NaCl e NaSO₄ (cloreto de sódio e sulfato de sódio respectivamente) até perfazer uma concentração de 1% de cada composto. Utiliza-se o NaOH para realizar o controlo do pH já que este deve ser básico (8,5) pelos parâmetros normalizados.

O ensaio tem a duração de 3000 horas.

Anexo G: Tanque a utilizar no ensaio de longa duração

Com a visita às instalações do SINTEF foi possível observar um ensaio de longa duração para a formação de arborescências em andamento e assim tirar algumas dúvidas referentes a equipamentos utilizados.

No SINTEF o tanque utilizado é o da figura 36 que como se pode observar é bastante diferente daquele pensado e projectado. Apesar do estudo do IEEE que recomenda um tanque rectangular e de isolamento a aço inoxidável é possível utilizar um tanque de forma circular no ensaio de envelhecimento de longa duração.



Figura 36: tanque utilizado pelo SINTEF

É de notar que este tipo de tanque fica substancialmente mais barato e sendo devidamente dimensionado, pode ser perfeitamente utilizado no ensaio. Neste tipo de tanque a aplicação de um motor para circulação da água fica facilitada.

Para cumprir as indicações dadas pelo IEEE temos de respeitar as distâncias do cabo ao perímetro do tanque. O tanque deverá ter um diâmetro superior a 1,5 metros e uma altura superior a 0,5 metros.

Outros equipamentos úteis foram observados durante a visita e apresentados de seguida.



Figura 37: Acoplador

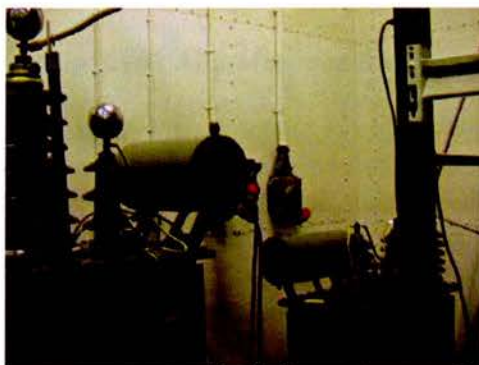


Figura 38: Transformador



Figura 39: Arrumação dos acopladores

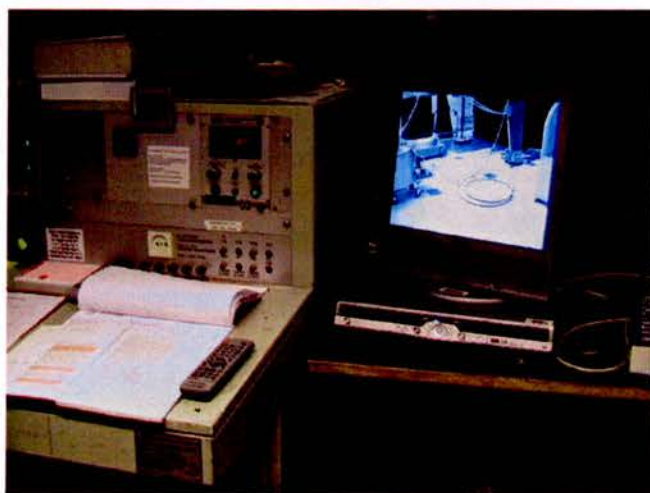


Figura 40: Registo informatizado

Anexo H: Fenómenos associados às Altas-frequências

A análise dos fenómenos transitórios associados às altas-frequências são de extrema importância, pois nestas circunstâncias, os equipamentos eléctricos são submetidos a condições muito severas que podem ultrapassar suas capacidades nominais. Mesmo que os sistemas eléctricos operem quase a totalidade do tempo em regime permanente, é de extrema importância que estes sistemas possam superar os regimes transitórios (curto-circuito, rejeição de carga, chaveamentos, descargas atmosféricas, etc.) sem sofrerem danos. Para tanto é necessário determinar a amplitude e a duração destes fenómenos para verificar se existe necessidade de instalação de equipamentos de protecção.

Os sistemas eléctricos operam a maior parte do tempo em regime permanente mas devem ser projectados para suportar as piores solicitações (normalmente produzidas durante situações transitórias como a abertura/fechamento de alguma chave ou um curto-circuito).

Os fenómenos transitórios manifestam-se de quatro maneiras:

- **Sobretensões:** Causadas por condições quase-estacionárias (rejeição de carga, perda de compensação reactiva em linhas longas) ou por fenómenos de alta-frequência e curta duração (descargas atmosféricas, surtos de manobra).
- **Sobreintensidades:** Resultam de faltas no sistema e apresentam, geralmente, poucas componentes de alta-frequência (os modelos empregados nestes estudos consideram este fato). Observar que uma falta acarreta tensões induzidas nas fases sãs e, geralmente, os surtos de manobra derivados são causas de sobretensões.
- **Formas de Onda Anormais:** São gerados por elementos não lineares (conversores, rectificadores, etc.) que produzem harmónicos no sistema.
- **Transitórios Electromecânicos:** Estudos como ressonância sub síncrona e esforços no eixo do gerador (em seguida a um religamento rápido sob falta).

Anexo I: Procedimento a seguir no controlo da legionella

Desinfecção por cloro:

Este é o procedimento mais simples e é composto pelos seguintes passos:

- 1.O procedimento deve ser realizado nas horas em que menos pessoal estiver unidade fabril e planeado atempadamente.
- 2.Coloque máscara e luvas de protecção.
- 3.Desligue a fonte de calor.
- 4.No caso de notar lama ou alguma sujidade no fundo do tanque drene-a imediatamente tendo o cuidado de ter a máscara colocada.
- 5.Adicione uma solução de hipocloreto de sódio com uma concentração de 0,05 mol/l de forma a obter um residual de cloro livre de 10 mg/l. Mantenha o pH da água entre 7,0 e 7,6. A quantidade de solução a adicionar irá depender do volume de água no tanque.
- 6.Assegure que fez uma distribuição equitativa pela água do tanque.
- 7.Pare quando sentir um cheiro distinto a cloro. Se houver dúvida, verifique o nível de cloro livre na água com um jogo de teste de DPD.
- 8.Certifique-se de que o residual de cloro livre na água não seja menos de 7 mg/L em uma tomada, preferivelmente em cada um dos cantos do tanque.
- 9.Deixe a água repousar uma hora.
10. Verifique o nível de cloro livre na água. Se for inferior a 2 mg/l repita os passos de 5 a 9. Se o nível ainda se mantiver drene metade do volume da água, reponha com a água previamente guardada e retome a experiência agendada.



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000105240