



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

Projecto, Seminário ou Trabalho Fim de Curso
2005/2006

Parque Eólico de Videmonte

ciência. Inovação
2010

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



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu

Realizado por: António César F. R. Pina
Orientador: Prof. Dr. João A. Peças Lopes



Gamesa Energia Portugal

621.3(047.3)/
LEEC
2006/PINa



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP

Projecto, Seminário ou Trabalho Fim de Curso
2005/2006

Parque Eólico de Videmonte


Ciência, Inovação
2010

Programa Operacional Ciência e Inovação 2010

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu

Realizado por: António César F. R. Pina
Orientador: Prof. Dr. João A. Peças Lopes



Gamesa Energia Portugal

621.3(047.3)/LECC 2001?INC

Universidade de Coimbra
Faculdade de Engenharia
Biblioteca
Nº 105238
CDU
Data 24 02 10

Resumo

No âmbito do estágio efectuado no período de Janeiro de 2006 a Junho de 2006, na empresa Gamesa Energia Portugal S.A., foram analisados os sistemas de monitorização, controlo e proteção do Parque Eólico de Videmonte, no concelho de Celorico da Beira.

O Parque Eólico de Videmonte fica situado a nordeste de Portugal, no concelho de Celorico da Beira, na Beira Alta. Possuindo 16 aerogeradores G87 - 2.0 MW, o Parque ocupa uma distância de 5Km. Localizado na zona norte do Parque Natural Serra da Estrela, este foi um dos maiores desafios em termos arqueológicos e ambientais da Gamesa. Após estudos de avaliação energética, em que se analisaram dados de vento e possíveis disposições de aerogeradores, concluiu-se que o Parque possuía 3.411h de vento por ano à sua potência nominal. Por isso, estima-se uma produção global anual de 109.152MWh, tornando-se assim num dos parques mais rentáveis e eficientes de sempre da Gamesa.

Este relatório fornecerá uma análise dos aerogeradores utilizados, desde a características físicas à constituição interna.

Apresentar-se-á uma descrição da rede de média tensão do Parque, bem como uma análise de características gerais da mesma o que inclui uma análise do esquema unifilar.

No seguimento da análise do esquema unifilar será feito um levantamento dos equipamentos de monitorização e controlo com uma descrição dos equipamentos relativos ao painel de interligação, e também uma análise dos testes de recepção e respectivos protocolos dos mesmos.

Ainda dentro do âmbito do estágio, analisar-se-á computacionalmente, as condições de operação do Parque cujos resultados e conclusões serão também apresentados.

Uma vez concluída a construção e montagem do Parque Eólico, procedeu-se à sua ligação rede. No sentido de dar a conhecer todos os processos pelos quais a instalação passa antes, após e durante a ligação paralela à rede, apresenta-se uma descrição dos protocolos de ligação.

Por fim, e relativamente aos sistemas de monitorização e controlo de Parques Eólicos, será descrito e analisado um sistema desenvolvido pela Gamesa que possibilita qualquer tipo de acção sobre todos os seus Parques Eólicos, o que inclui o Parque Eólico de Videmonte.

Acompanhando o desenvolvimento de todo o processo de obra civil e instalação eléctrica, os conhecimentos adquiridos a nível global durante todo o processo de construção, são uma meta atingida.

Prefácio

Este relatório descreve o estágio efectuado no promotor de Parques Eólicos, Gamesa Energia Portugal S.A.

Como colaborador do responsável de construção em obra, do Parque Eólico de Videmonte, o estagiário teve a possibilidade de desenvolver estudos sobre os sistemas de monitorização, controlo e protecção utilizados.

Para além disso, desenvolveu conhecimentos na área de implementação de Parques Eólicos, desde a fase inicial de construção, lidando com entidades de governamentais e ambientais.

A Gamesa Energia Portugal S.A. possibilitou um estágio que permitiu adquirir conhecimentos de todo o processo de construção, muito para além dos objectivos iniciais traçados. Sempre de forma profissional e objectiva, cujo o espírito de equipa foi intensamente cativante desde o primeiro dia, quero agradecer a todos os que dela fazem parte, pela forma como me acolheram e pelo apoio e desejo demonstrado de um estágio com sucesso.

De forma especial, quero agradecer também ao meu orientador na Gamesa Energia Portugal S.A., Miguel Lobo, por ter possibilitado o estágio e pelos conhecimentos transmitidos, acompanhando-me sempre na integração na vida profissional.

Agradeço também ao Eng. Ezequiel Lourenço e ao Eng. Oscár Izquierdo, pelo apoio e por todos os conhecimentos e informações que disponibilizaram sobre construção de Parques Eólicos.

Quero agradecer ao Prof. Peças Lopes por ter aceite supervisionar o meu estágio e por ter fornecido, com clareza e objectividade, os aspectos importantes a focar.

Agradeço também ao Programa Operacional de Ciência e Inovação 2010, POCI 2010, pelo apoio financeiro.

Financiamento FCT/POCI



União Europeia
FEDER

FCT
Fundação para a Ciência e a Tecnologia



Governo da República Portuguesa

ciência.inovação
2010

Resumo	2
Prefácio.....	3
Introdução.....	6
1. Aerogeradores	7
1.1. Constituição	7
1.2. Características	7
1.2.1. Nacelle	7
1.2.2. Gerador	7
1.2.3. Multiplicadora	8
1.2.4. Transformador	8
1.2.5. Sistema de Controlo	9
1.2.6. Disposição do sistema de controlo.....	9
1.2.6.1. Controlo do aerogerador.....	9
1.2.7. Sistema de Controlo remoto.....	11
1.2.8. Sistema de Prevenção de Manutenção.....	11
1.3. Análise da curva de potência da G87-2.0MW	12
1.4. Disposição no Parque	13
2. Rede de Média Tensão.....	14
2.1. Generalidades.....	14
2.2. Cabo utilizado	14
2.3. Disposição.....	15
3. Subestação	17
3.1 Constituição da subestação	17
3.2 Características dos equipamentos	17
3.2.1 Transformador de potência	17
3.2.2 Descarregadores de sobretensão	18
3.2.3. Transformadores de tensão e intensidade	20
3.2.4. Disjuntor	21
3.2.5. Seccionador	22
3.2.6. Transformador de serviços auxiliares.....	23
4. Edifício de Comando.....	25
4.1. Constituição e descrição dos equipamentos.....	25
4.1.1 Celas	25
4.1.1.1 Cella do transformador / Cella dos circuitos.....	26
4.1.1.1.1. Características gerais	28
4.1.1.1.2. Funções do subsistema de protecção	28
4.1.1.1.3. Funções de subsistema de controlo	29
4.1.1.1.4. Funções adicionais	30
4.1.1.2. Cella das baterias de condensadores	30
4.1.2. Armários	30
4.1.2.1 Armário do transformador de potência	30
4.1.2.1.1. Terminal de Controle e Medida (UCP).....	31
4.1.2.1.1.1 Características gerais	31
4.1.2.1.1.2. Funções	32
4.1.2.1.2. Relé instantâneo de sobreintensidade (50/51/50N/51N)	32
4.1.2.1.2.1. Características gerais	32
4.1.2.1.3. Relé de Protecção diferencial (87T)	33
4.1.2.1.3.1. Características gerais	33
4.1.2.1.3.1. Funções	34
4.1.2.1.4. Relé de regulação de tensão (90).....	34
4.1.2.1.4.1. Características gerais	34
4.1.2.1.4.2. Funções	35
4.1.2.2. Armário de interligação.....	36
4.1.2.2.1. Relé de máximo e mínimo de tensão (27/59)	37
4.1.2.2.1.1. Características gerais	37
4.1.2.2.1.2. Funções	37

4.1.2.2.2. Relé de sobreintensidade (50/51/50N/51N).....	37
4.1.2.2.2.1. Características gerais	37
4.1.2.2.2.2. Funções	38
4.1.2.2.3. Relé de máximo e mínimo de frequência (81)	39
4.1.2.2.3.1. Características gerais	39
4.1.2.2.3.2. Funções	39
4.1.2.3. Armário de serviços auxiliares	40
4.1.2.4. Armário de telecomando.....	40
4.2. Protocolos de teste e recepção dos sistemas de monitorização.....	41
4.2.1. Celas	41
4.2.2. Armário do Transformador de potência.....	43
4.2.2.1. Terminal de Controlo e Medida (UCP)	43
4.2.2.2. Protecção de sobreintensidades (50/51/50N/51N).....	43
4.2.2.3. Regulador de Tensão (90).....	44
4.2.2.4. Protecção Diferencial (87T).....	45
4.2.3. Painel de interligação	47
4.2.3.1. Protecção de máximo e mínimo de tensão (27/59)	47
4.2.3.2. Protecção máximo e mínimo de frequência (81)	47
4.2.3.3. Protecção de máximo e mínimo de corrente (50/51/50N/51N).....	48
5. Análise das condições de operação do Parque Eólico	49
5.1. Descrição das características do Parque Eólico	49
5.1.1. Gerador do Aerogerador	49
5.1.2. Transformador do Aerogerador	49
5.1.3. Rede de MT.....	50
5.1.4. Transformador de Potência	50
5.1.5. Bateria de Condensadores.....	51
5.1.6. Linha AT 60 kV	51
5.2. Implementação computacional do funcionamento do Parque Eólico, PowerWorld®.....	52
5.2.1. Funcionamento com vento forte	53
5.2.2. Funcionamento com vento médio	57
5.2.3. Funcionamento com vento fraco	60
6. Análise das condições de ligação à rede.....	65
6.1. Descrição resumida da ligação à rede	65
6.2. Colocação em tensão da subestação	65
6.2.1. Protocolos de ensaio em vazio da subestação	65
6.3. Colocação em tensão dos aerogeradores	68
6.3.1. Protocolo de teste das celas de MT dos aerogeradores	68
6.3.2. Protocolo de ensaio em vazio dos aerogeradores	69
7. Análise de um sistema de monitorização e controlo, via Internet (SGIPE).....	70
7.1. Introdução	70
7.1.1. Termos e Definições	70
7.2. Descrição geral	71
7.2.1. Arquitectura geral do sistema.....	71
7.2.2. SLPE	72
7.2.2.1. Arquitectura	73
7.2.3. SAPE.....	74
7.2.3.1. Arquitectura	74
7.2.3.2. Funções Básicas	75
7.3. Rede do parque eólico	76
7.4. Análise da interface do sistema de monitorização e controlo	76
Conclusões	83
Lista de Tabelas	84
Lista de Figuras	86
Lista de Anexos	87
Referências.....	88

Introdução

Os Parques Eólicos são uma crescente aposta na produção de energia em Portugal. Para sua execução o Parque necessita de passar por 4 fases específicas:

- Prospeção;
- Promoção;
- Construção;
- Exploração;

A nível de construção, área de estudo incidente deste estágio, o acompanhamento em obra revela o cuidado de implementação do Parque no que diz respeito a questões ambientais e arqueológicas. Sobre estes pontos insere a localização do próprio Parque o que leva a um olhar competente no desenvolvimento de acessos. Os acessos são o grande ponto a nível de impacto ambiental negativo.

A nível de obra civil, a constituição é de um modo geral simples. Esta engloba a subestação e o edifício de comando, bem como a rede de média tensão e as fundações dos aerogeradores.

Para o correcto funcionamento do Parque é necessário um projecto fiável de comando e controlo. Os equipamentos devem ser correctamente dimensionados e programados no sentido de garantir o bom funcionamento e a segurança de pessoas e equipamentos em fase de exploração. Anexado a estes pontos encontra-se a implementação de sistemas de protecção viáveis que garantam níveis de protecção eficazes no caso de aparecimento de defeitos. Estes garantem de pessoas e equipamentos contra defeitos internos ou externos ao Parque.

Cada vez, a tecnologia tem vindo a evoluir no ramo de sistemas de controlo, comando e protecção.

As protecções digitais são uma realidade, com capacidade de controlo e monitorização. Todos os aspectos relativos a este tema são focados para compreensão das funcionalidades de utilização em fase de exploração do Parque Eólico de Videmonte.

1. Aerogeradores

1.1. Constituição

Os Aerogeradores do Parque Eólico de Videmonte são fabricadas pela Gamesa Eólica S.A. Estes são constituídos por 3 troços de ferro que constituem a torre. A torre tem uma altura de 67 m. Na torre assentará a gôndola (nacelle) à qual será acoplado o rotor. A título de curiosidade, o peso dos aerogeradores é apresentado em baixo.

	Peso (T)
Torre	153
Nacelle	65
Rotor	38
Total	256

Tabela 1. Peso dos elementos dos aerogeradores

Os aerogeradores têm um rotor com 87 m de diâmetro e utiliza um sistema de controlo capaz de adaptar o funcionamento do mesmo para grandes intervalos de velocidade de vento. As pás são de fibra de carbono e fibra de vidro e têm um comprimento de 42,5 m.

1.2. Características

Neste ponto serão apresentadas as características dos elementos mais importantes dos aerogeradores.

1.2.1. Nacelle

A nacelle é constituída por diversos elementos que passam a ser descritos seguidamente. Em anexo (Anexo A) é apresentado um esquema do interior da nacelle com a identificação dos seus constituintes.

1.2.2. Gerador

O gerador utilizado na G87 é um gerador assíncrono duplamente alimentado que possibilita o controlo da potência activa e reactiva. A sua topologia permite, através da aplicação de tensões trifásicas nos enrolamentos bobinados do rotor, que a máquina opere nos quatro quadrantes como motor ou como gerador com velocidade subsíncrona ou sobresíncrona. A potência elétrica é obtida a partir do estator,

ligado directamente à rede como se de um gerador assíncrono convencional se tratasse, e do rotor, por intermédio de um retificador-inversor.

As especificações técnicas do gerador são as seguintes:

Potência nominal (kW)		2000
Tensão (V)		690
Frequência (Hz)		50/60
Nº de pólos		4
Classe de protecção		IP54
Velocidade nominal (r.p.m.)		1680 (50Hz) / 2016 (60Hz)
Corrente (A)	estator	1500 (690V)
	rótor	260 (480V)
cos φ (pré-definido)		1
Variação do cos φ		0,98 (cap) - 0,96 (ind)

Tabela 2. Características do gerador

1.2.3. Multiplicadora

A multiplicadora é utilizada entre o rotor e o gerador. A velocidade do rotor varia entre 9 a 19 r.p.m., e a multiplicadora possuindo uma relação de transformação de 1:100 (aprox.), permite que o gerador rode a uma velocidade entre 900 a 1900 r.p.m.

As características técnicas da multiplicadora são apresentadas seguidamente:

Razão de transformação	1:100,5 (50Hz) / 1:120,5 (60Hz)
Sistema de Refrigeração	Bomba de óleo com refrigerador
Potência do aquecedor do óleo (kW)	2,2
Filtro de óleo	3 μm / 10 μm
Peso (kg)	16500

Tabela 3. Características da multiplicadora

1.2.4. Transformador

O transformador do aerogerador fica localizado na nacelle e faz a elevação de tensão para os 20kV. A rede de média de tensão do Parque é então a este nível de tensão.

As características do transformador são apresentadas na tabela em baixo.

Tipo	trifásico, seco encapsulado
Potência nominal (kVA)	2100
Razão de transformação	20 kV / 480V / 690V

Frequência (Hz)	50 / 60
Conexão	Dyn 11
Classe de isolamento	F
Nível de isolamento (kV)	24

Tabela 4. Características do transformador

1.2.5. Sistema de Controlo

O sistema de controlo monitoriza e controla todas as funções do aerogerador de forma a que o modo de operação seja óptimo, independentemente da velocidade do vento.

Este monitoriza todos os sinais enviados pelos sensores do aerogerador para que no momento em seja detectado um defeito sejam tomadas medidas preventivas.

1.2.6. Disposição do sistema de controlo

O sistema de controlo está situado em três locais:

- Controlador “Nacelle”, “touch-screen” situado na nacelle
- Controlador “Ground”, “touch-screen” situado na base do aerogerador
- Controlador “Hub”, situado no interior do hub

Pode-se ainda subdividir o controlador da nacelle em três partes:

Secção de controlo – relativo à nacelle (i.e. monitorização do vento, alteração do pitch, orientação, controlo de temperatura)

Conversor de frequência – relativo ao controlo de potência, gestão ligação à rede do gerador

Secção de barramento e protecções – relativo à saída de potência e as protecções necessárias

Nível de protecção	
Nacelle	IP-43
Hub	IP-54
Ground	IP-54
Protecção de pessoas	UNE 60439-1 UNE 60204

Tabela 5. Níveis de protecção do sistema de controlo

1.2.6.1. Controlo do aerogerador

A velocidade de rotação do aerogerador e o pitch modificam-se constantemente dependendo da velocidade do vento. O sistema de controlo permite determinar valores adequados para estas variáveis.

Atendendo à velocidade do vento, podem estabelecer-se 4 fases:

1) Vento fraco, com o gerador desligado da rede

Quando a velocidade do vento é inferior à velocidade de arranque da máquina, o sistema de controlo coloca as pás a um ângulo de 45°, que proporciona o arranque.

Com o aumento da velocidade do vento, aumenta a velocidade do rotor e ângulo das pás diminui até que se alcancem as condições necessárias para que o gerador se ligue à rede.

2) Vento médio, com gerador ligado à rede mas sem estar à potência nominal

A velocidades superiores à velocidade de arranque mas inferiores à velocidade nominal, o sistema de controlo elege o ângulo que proporcionam a potência máxima.

3) Vento forte, com o gerador à potência nominal

A velocidade de vento é superior à nominal e o sistema de controlo regulam as pás no sentido de produzir à potência nominal

4) Vento muito forte, com o gerador desconectado e o aerogerador parado

Nestas condições, o gerador desconecta-se da rede por questões de segurança. O sistema de controlo leva as pás à posição de bandeira (cerca de 90°) até que a velocidade do vento diminua até à velocidade de re-arranque. A velocidade de vento que promove o re-arranque ronda os 23m/s.

As especificações técnicas do sistema de controlo encontra-se resumida em baixo.

Frequência (Hz)		50 / 60
Tensão (V)		3x690 / 3x480
Corrente de curto-circuito (A)	estator	1500
	rotor	260
Computador		Sisteam A
Memória programa		EPROM (flash)
Linguagem de programação		ST (IEC-1131)
Operação		Terminal "touch pad"

Supervisão / Controlo	Potência activa
	Potência reactiva
	Orientação
	Hidráulica
	Rede
	Temperatura ambiente
	Rotação
	Gerador
	Pitch
	Monitorização Remota
	Informação
Produção	
Registo de operação	
Registo de alarmes	
Comandos	Arranque/Pause
	Início/Paragem orientação manual
	testes de manutenção
Supervisão remota	Possibilidade de Comunicação série

Tabela 6. Características gerais do sistema de controlo

1.2.7. Sistema de Controlo remoto

O Parque Eólico de Videmonte é dotado de um sistema de controlo remoto. Este permite o controlo de todo o Parque, o que inclui a subestação e edifício de comando.

É possível controlar e monitorizar os aerogeradores e a sua produção. Este ponto sendo de elevado conteúdo será exposto com maior pormenor no **ponto 7 "Análise do sistema de Controlo remoto (SGIPE)"**

1.2.8. Sistema de Prevenção de Manutenção

Estas máquinas possuem este sistema que detectam defeitos em fase preliminar nos componentes principais do aerogerador.

Este sistema tem as seguintes vantagens:

- ❖ Capacidade de processamento de sinal e detecção de alarmes nos equipamentos
- ❖ Integração dentro do sistema de controlo
- ❖ Redução de medidas correctivas
- ❖ Aumento da disponibilidade e tempo de vida da máquina

1.3. Análise da curva de potência da G87-2.0MW

O desempenho de um aerogerador pode ser analisado pela sua curva de potência.

Esta, apresentada na figura em baixo, relaciona a velocidade do vento com a potência produzida.

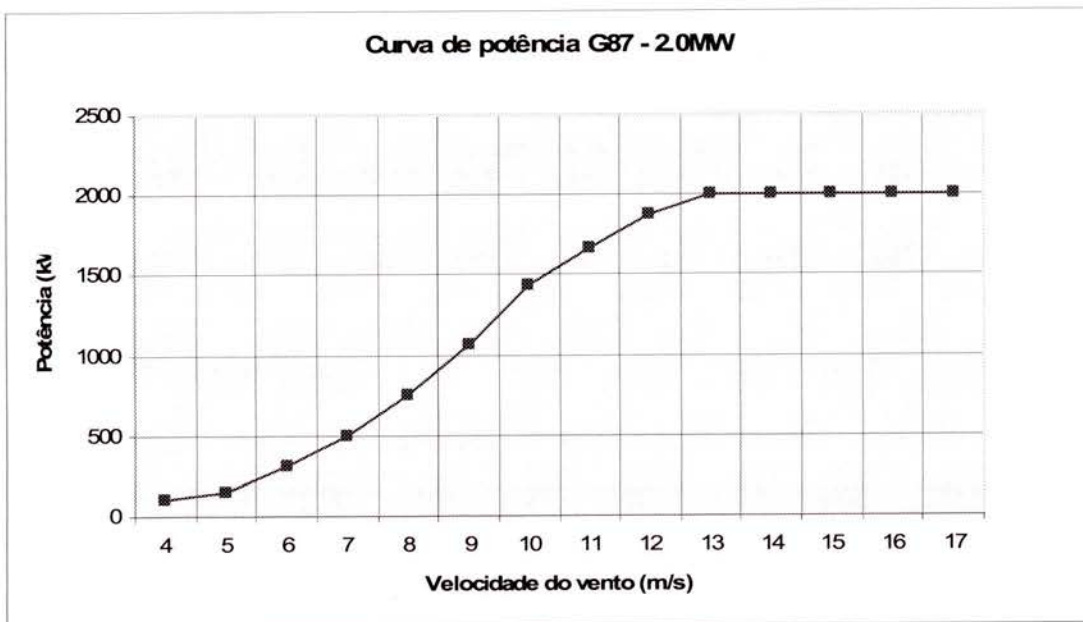


Figura 1. Curva de potência G87 - 2.0MW

Esta máquina inicia o arranque a velocidades iguais ou superiores a 4m/s. Por análise desta curva, verifica-se que quando a velocidade do vento é igual ou superior a 13 m/s, a produção do aerogerador é máxima.

Em condições de vento excessivo, valores superiores a 25 m/s, o seu funcionamento é bloqueado levando a máquina a parar. O re-arranque é efectuado para situações de velocidades de vento inferiores a 23 m/s.

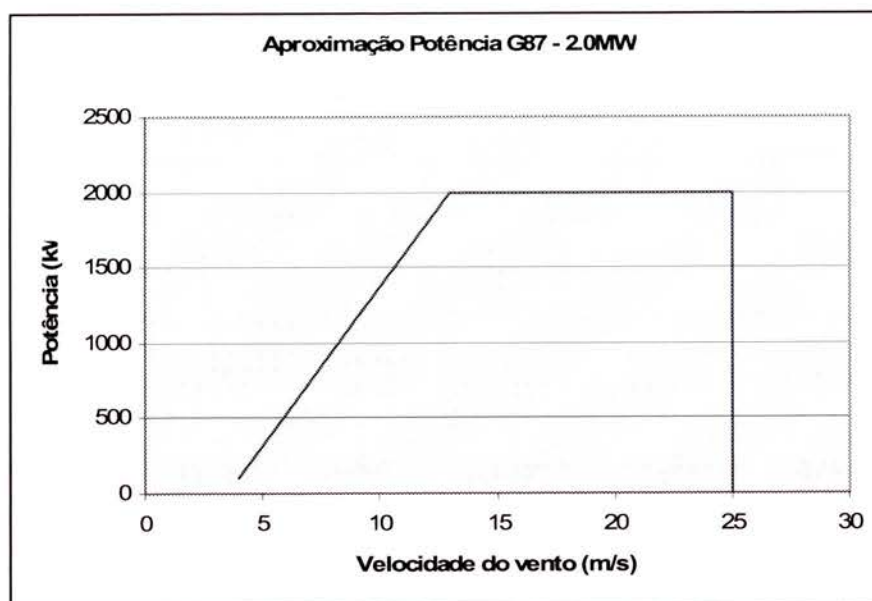


Figura 2. Aproximação da curva de potência

1.4. Disposição no Parque

A disposição dos aerogeradores no Parque foi elaborado na fase de prospecção. A sua localização é baseada em estudos feitos por entidades competentes.

De uma forma geral, esse estudo envolve os seguintes pontos.

- ❖ Descrição do terreno – inclui levantamentos topográficos e valores de altitude (micrositting).
- ❖ Características do vento - dados disponíveis após a instalação de torres meteorológicas de medição. Os dados incluem quantidade de vento, densidade, temperatura e direcção.
- ❖ Alterações climáticas a longo termo.
- ❖ Avaliação de modelos - inclui análise do perfil vertical e correlação de dados das diversas torres implementadas.
- ❖ Estimação de potência mediante aerogeradores escolhidos.
- ❖ Distância mínima entre aerogeradores.
- ❖ Viabilidade económica.

Após estudos de vento e de viabilidade económica, a disposição dos aerogeradores é a apresentada no anexo B.

2. Rede de Média Tensão

2.1. Generalidades

A rede de Média Tensão retratada aqui refere-se a toda a rede a 20 kV, desde o painel de MT dos aerogeradores (não envolve o cabo desde a saída transformador dos AG's à chegada ao painel de MT dos aerogeradores) até às celas de MT da subestação.

Os aerogeradores do Parque Eólico encontram-se interligados através de uma rede de média tensão subterrânea a 20kV.

A disposição da rede de MT é radial no sentido de tratar de forma mais simples, as quedas de tensão. Para além disso simplifica bastante o cálculo das protecções, nomeadamente no que diz respeito ao cálculo correntes de curto-circuito e a critérios de selectividade.

Segundo o referido no art.º 3 do R.S.L.E.A.T., classifica-se a rede como sendo de 2ª classe uma vez que a sua tensão nominal é superior a 1kV e inferior a 40kV.

A rede é composta por 2 circuitos independentes que interligam 8 aerogeradores. Estes 2 circuitos convergem para a subestação do parque.

O 1º circuito interliga os aerogeradores do 1 ao 8.

O 2º circuito interliga os aerogeradores 9 ao 16.

O esquema unifilar da rede de MT é apresentado em anexo.

2.2 Cabo utilizado

Os cabos utilizados são do fabricante Pirelli Cables y Sistemas S.A. de 12kV/20kV.

Por imposição no disposto no art.º 75, ponto 1 do R.S.L.E.A.T. o cabo utilizado foi o DHZ. Este obedece às imposições uma vez que possui isolamento adequado às características da rede. Para além disso são dotados de bainha metálica, armadura e têm resistência mecânica capaz de suportar esforços a que possam ser submetidos. Estes cabos são dotados também de bainha exterior resistente à corrosão.

O cabo utilizado tem as seguintes características:

- Condutores rígidos multifilares de alumínio circulares, da classe 2 da Norma NP - 2363 (CEI - 60228);

- Camada semicondutora interior extrudida;
- Isolamento de etileno propileno (EPR);
- Camada semicondutora exterior extrudida;
- Ecrã individual constituído por fita de cobre aplicada em espiral com sobreposição;
- Separador;
- Bainha Exterior em poliolefina Z1;

São utilizados cabos monopolares para permitir veicular uma corrente superior a uma configuração tripolar, para além da facilidade de manuseamento.

Os cabos utilizados são do tipo DHZ com as seguintes características:

<i>S</i> (mm ²)	<i>R</i> (Ω/Km)	<i>X</i> (Ω/Km)	<i>C</i> (μF/m)	<i>T</i> (°C)	<i>I_n</i> (A)
95	0,32	0,118	0,333	105	255
150	0,206	0,112	0,37	105	330
240	0,125	0,104	0,453	105	435
400	0,0778	0,097	0,556	105	560
500	0,0605	0,095	0,621	105	645

Tabela 7. Características dos cabos MT (Pirelli Cables y Sistemas S.A.)

2.3. Disposição

A rede está disposta em 2 circuitos que interligam 8 aerogeradores cada.

A sua ligação está definida no quadro em baixo.

REDE MT		
Circuito	Troço	Distância (m)
1	Subest. - AG1	274
	AG1-AG2	347
	AG2-AG3	283
	AG3-AG4	367
	AG4-AG5	297
	AG5-AG6	312
	AG6-AG7	329
	AG7-AG8	356
2	Subest.-AG9	2663
	AG9-AG10	326
	AG10-AG11	296
	AG11-AG12	289
	AG12-AG13	357
	AG13-AG14	313
	AG14-AG15	305
	AG15-AG16	285

Tabela 8. Distância entre aerogeradores

De realçar a pequena extensão da rede de média tensão, o que é vantajoso no que diz respeito a perdas e a quedas de tensão. Desta forma, o cabo a utilizar pode ser de secção inferior.

É possível elaborar uma tabela que defina as características dos diversos tipos de cabo utilizados em cada troço da rede de MT.

Circuito	Troço	Distância (m)	Cabo					
			Tipo	S (mm ²)	Tipo	R (Ω/km)	X (Ω/km)	C (μF/km)
1	Subest. - AG1	274	DHZ	500	Al	0,0605	0,095	0,621
	AG1-AG2	347	DHZ	400	Al	0,0778	0,097	0,556
	AG2-AG3	283	DHZ	240	Al	0,125	0,104	0,453
	AG3-AG4	367	DHZ	240	Al	0,125	0,104	0,453
	AG4-AG5	297	DHZ	150	Al	0,206	0,112	0,37
	AG5-AG6	312	DHZ	95	Al	0,32	0,118	0,333
	AG6-AG7	329	DHZ	95	Al	0,32	0,118	0,333
	AG7-AG8	356	DHZ	95	Al	0,32	0,118	0,333
2	Subest.-AG9	2663	DHZ	500	Al	0,0605	0,095	0,621
	AG9-AG10	326	DHZ	240	Al	0,125	0,104	0,453
	AG10-AG11	296	DHZ	240	Al	0,125	0,104	0,453
	AG11-AG12	289	DHZ	150	Al	0,206	0,112	0,37
	AG12-AG13	357	DHZ	95	Al	0,32	0,118	0,333
	AG13-AG14	313	DHZ	95	Al	0,32	0,118	0,333
	AG14-AG15	305	DHZ	95	Al	0,32	0,118	0,333
	AG15-AG16	285	DHZ	95	Al	0,32	0,118	0,333

Tabela 9. Rede MT - Características

Com os valores apresentados calcula-se a resistência, a reactância e a capacitância de cada troço da rede de MT.

Circuito	Troço	Troço					
		R (Ω)	X (Ω)	C (μF)	R (p.u.)	X (p.u.)	C (p.u.)
1	Subest. - AG1	0,0166	0,0260	0,1702	0,00414	0,00651	0,0002138
	AG1-AG2	0,0270	0,0337	0,1929	0,00675	0,00841	0,0002424
	AG2-AG3	0,0354	0,0294	0,1282	0,00884	0,00736	0,0001611
	AG3-AG4	0,0459	0,0382	0,1663	0,01147	0,00954	0,0002089
	AG4-AG5	0,0612	0,0333	0,1099	0,01530	0,00832	0,0001381
	AG5-AG6	0,0998	0,0368	0,1039	0,02496	0,00920	0,0001306
	AG6-AG7	0,1053	0,0388	0,1096	0,02632	0,00971	0,0001377
	AG7-AG8	0,1139	0,0420	0,1185	0,02848	0,01050	0,0001490
2	Subest.-AG9	0,1611	0,2530	1,6537	0,04028	0,06325	0,0020781
	AG9-AG10	0,0408	0,0339	0,1477	0,01019	0,00848	0,0001856
	AG10-AG11	0,0370	0,0308	0,1341	0,00925	0,00770	0,0001685
	AG11-AG12	0,0595	0,0324	0,1069	0,01488	0,00809	0,0001344
	AG12-AG13	0,1142	0,0421	0,1189	0,02856	0,01053	0,0001494
	AG13-AG14	0,1002	0,0369	0,1042	0,02504	0,00923	0,0001310
	AG14-AG15	0,0976	0,0360	0,1016	0,02440	0,00900	0,0001276
	AG15-AG16	0,0912	0,0336	0,0949	0,02280	0,00841	0,0001193

Tabela 10. Rede MT - Valores p.u.

É possível verificar estes valores de acordo com o esquema apresentado em anexo.

3. Subestação

3.1 Constituição da subestação

A subestação é a área do Parque Eólico onde se procede à elevação de tensão, que será transportada e injectada na rede.

Nesta, encontram-se diversos equipamentos de protecção e manobra que permitem o funcionamento em conformidade do Parque, bem como da rede ao qual se encontra interligado.

De um modo geral, das celas de MT do edifício de comando é estabelecida uma ligação ao transformador de potência que eleva o potencial para 60 kV. Segue-se um conjunto de ligações de equipamentos em série. Começando pelos descarregadores de tensão, seguindo pelos transformadores de corrente e disjuntor.

Depois segue-se os transformadores de tensão e antes da ligação ao pósito encontra-se o seccionador.

Na subestação encontra-se também um transformador de serviços auxiliares.

3.2 Características dos equipamentos

3.2.1 Transformador de potência

O transformador de potência é o elemento de maior importância no seio de todas as componentes de distribuição. Este eleva o valor de tensão de forma a permitir o transporte de energia para a interligação à rede na Subestação de Chafariz (REN).

Marca	ABB
Tipo de ligação	YNd11
Potência	30/40 MVA ONAN / ONAF
Razão de transformação	60+21x1%-10x1%/20 kV

Tabela 11. Transformador de Potência - Características

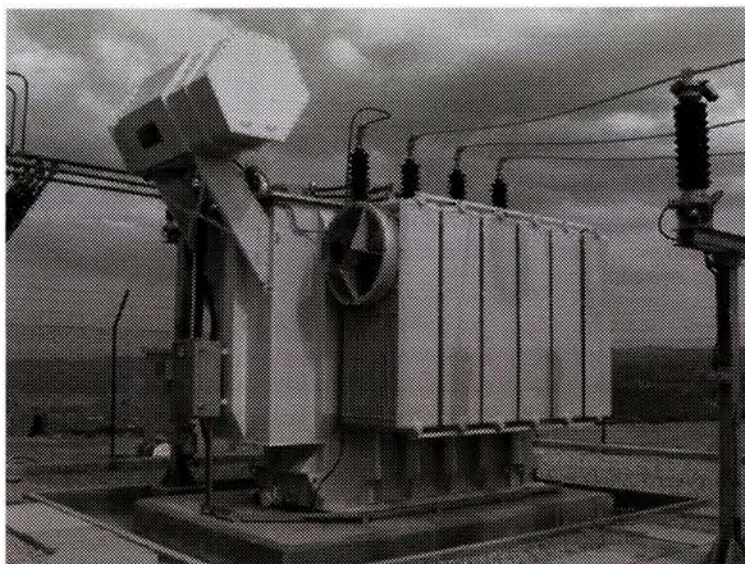


Figura 3. Transformador de Potência

3.2.2 Descarregadores de sobretensão

Os descarregadores de sobretensões protegem os equipamentos eléctricos e electrónicos contra as sobretensões transitórias de origem atmosférica e industrial. A escolha dum descarregador de sobretensão faz-se a partir do nível de risco do local e da sensibilidade do material a proteger. A gama de descarregadores de sobretensão PF monobloco multipolar está particularmente adaptada aos esquemas de ligação á terra (regimes de neutro) TT, TN-S e IT.

Cada descarregador de sobretensão da gama tem uma utilização específica

Definições

❖ **tensão máxima de regime permanente U_c**

valor admissível da tensão eficaz que pode ser aplicada de forma continua aos bornes do descarregador de sobretensões sem afectar o seu funcionamento

❖ **corrente de descarga**

corrente descarregada pelo descarregador de sobretensões durante a passagem duma sobretensão. O poder de descarga é o valor da crista da corrente admissível pelo descarregador de sobretensões

❖ **$I_{m\acute{a}x.}$**

valor máximo de crista da corrente de descarga suportado 1 só vez

❖ **I_n**

valor máximo de crista da corrente de descarga suportado pelo menos 20 vez

❖ **tensão residual (Up)**

valor da crista da tensão que aparece nos bornes do descarregador de sobretensões durante a passagem duma corrente de descarga

❖ **modo comum**

designa as ligações existentes entre fase(s) e terra ou neutro e terra

❖ **modo diferencial**

designa a ou as ligações existentes entre fase(s) e neutro

Os descarregadores de tensão utilizados na subestação do Parque são da ABB, modelo EXLIM R72-CV072 com contador de descargas.



Figura 4. Descarregadores de tensão

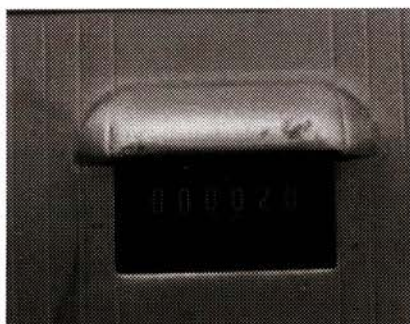


Figura 5. Contador de descargas

3.2.3. Transformadores de tensão e intensidade

Os transformadores de tensão e intensidade, elementos constituintes da subestação, têm como função base a transformação dos valores das grandezas em causa para valores inferiores.

Funções e requisitos:

Os transformadores têm como funções básicas, a produção, no enrolamento secundário, de uma imagem da grandeza aos terminais do primário de forma a esta ser utilizada pela aparelhagem de medida, controlo e protecção, e o isolamento galvânico entre os circuitos de alta tensão e os circuitos de medida e contagem.

No entanto, para que possam ser aplicados convenientemente, a imagem da grandeza disponível no secundário terá que ter uma amplitude proporcional e estar em fase com a grandeza do correspondente do primário.

Os TT's e TI's possuem três e quatro enrolamentos no secundário, respectivamente.

Os três enrolamentos dos TT's destinam-se a protecção, medida e contagem e os quatro enrolamentos dos TI's destinam-se a protecção, medida, contagem e protecção diferencial do transformador de potência. Estas ligações podem ser analisados através do esquema unifilar da subestação apresentado em anexo.

As características dos transformadores são as seguintes:

Marca	ARTECHE
Modelo	CXH-72 200-400/5-5-5-5 A
Potências e classes de precisão	30 VA Cl.0.2S
	30 VA Cl.0.5
	30 VA 5P20

Tabela 12. Transformadores de intensidade – Características

Marca	ARTECHE
Modelo	UTB-72 60:r3 kV / 100:r3 /100: r3 /100:r3 V
Potências e classes de precisão	30 VA Cl.0.2
	50 VA Cl.0.5-3P
	120 VA 3P

Tabela 13. Transformadores de tensão - Características

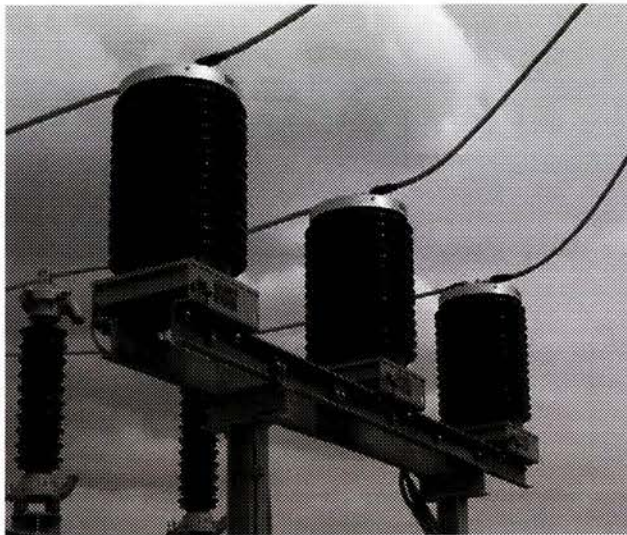


Figura 6. Transformadores de intensidade

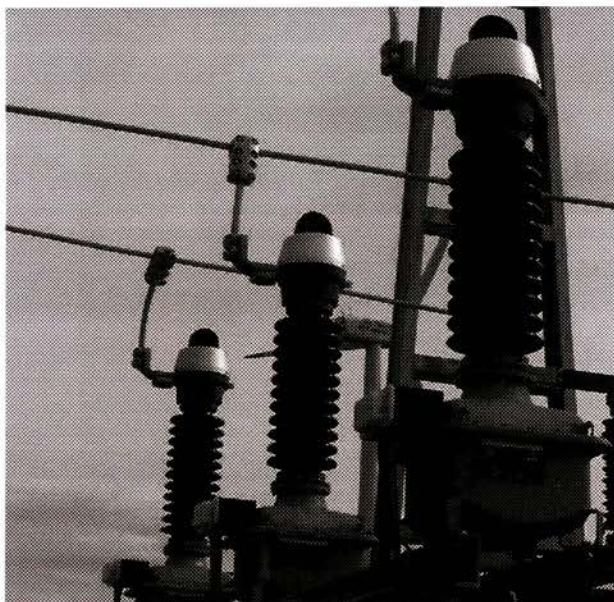


Figura 7. Transformadores de tensão

3.2.4. Disjuntor

O disjuntor é um aparelho com poder de corte suficiente para suportar os esforços que ocorrem quando ligam ou desligam equipamentos ou partes de instalações sujeitas às condições provocadas por avaria, em particular às condições de curto-circuito, ou quando é necessário realizar alguma manobra , ou até acção de manutenção.

O disjuntor foi escolhido considerando os valores nominais e as condições de serviço anormais que possam ocorrer em carga e, sendo um aparelho de corte foi necessário o cálculo das correntes de curto-circuito.

De acordo com a norma IEC 56, o disjuntor é de instalação exterior com um nível de tensão de 72,5 kV e isolamento a SF6.

O disjuntor utilizado é da ABB, modelo EDF SK1-1, comando FSA 1-F, 2500 A, 31.5 kA, isolado a SF6.

Marca	ABB
Modelo	EDF SK1-1
Tensão nominal (kV)	72,5
Corrente nominal (A)	2500
Corrente de curto-circuito (kA)	31,5

Tabela 14. Disjuntor - Características

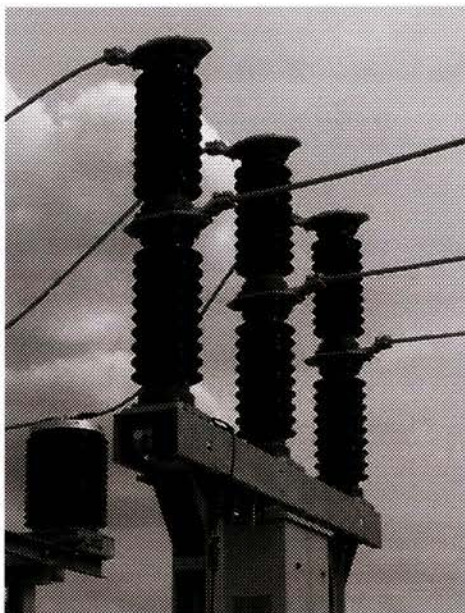


Figura 8. Disjuntor

3.2.5. Seccionador

O seccionador, sem poder de corte, com a capacidade de assegurar o isolamento eléctrico da subestação para acções de manutenção. Este permite um isolamento visível da instalação não sendo possível a sua manobra em carga.

O seccionador utilizado foi:

Marca	MESA
Modelo	SG3CT-72, 2000 A, 40 kA
comando principal	AE-85 a 125 Vcc

Tabela 15. Seccionador Tripolar – Características

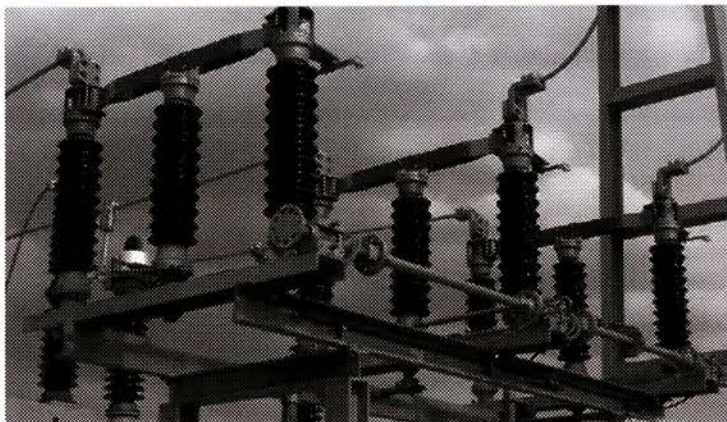


Figura 9. Seccionador Tripolar

3.2.6. Transformador de serviços auxiliares

O transformador responsável pela alimentação dos circuitos de BT da subestação (iluminação, tomadas, alimentação de armários, protecções, etc...). Este funciona também como reactância. Uma vez que o transformador de potência do lado BT tem ligação em estrela, a reactância fornece neutro fictício.

Modelo	ALKARGO100 kVA
Tipo de ligação	ZNyn11
Potência	100 kVA
Razão de transformação	20±2,5±5+7,5% kV / 420 V

Tabela 16. Transformador serviços auxiliares – Características

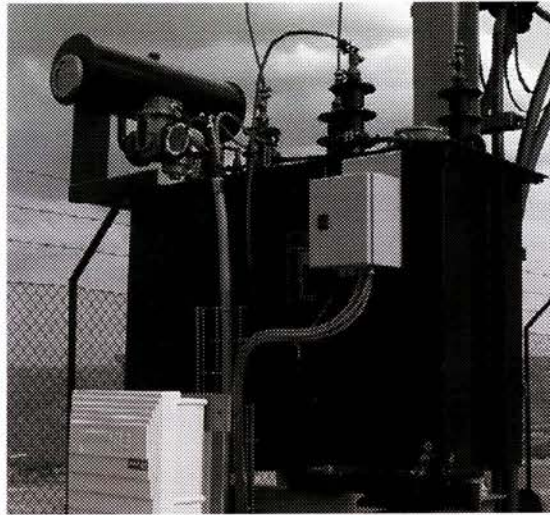


Figura 10. Transformador de serviços auxiliares

Este transformador, bem como o de potência, está equipado com um relé de BuchHolz, que é uma combinação entre relé de pressão e de detecção de gás. Este tem como função proteger o transformador contra defeitos internos, tendo a particularidade de detectar defeitos em fase inicial. Na sua constituição, estão duas bóias em que a bóia superior monitoriza falhas de isolamento e o estado do gás, accionando um alarme; a bóia inferior controla a presença de grandes bolhas de gás (curto-circuito entre espiras, rupturas de espira, etc) e faz accionar o disjuntor.



Figura 11. Relé de BuchHolz

4. Edifício de Comando

O edifício de comando é centro nevrálgico do Parque Eólico. Nele se procede ao controlo e monitorização do Parque Eólico.

Na sua constituição estão as celas de MT e os armários de controlo, nos quais se insere o painel de interligação.

4.1. Constituição e descrição dos equipamentos

4.1.1 Celas

As celas de MT do edifício de comando estão preparadas para controlar e monitorizar certos elementos do Parque. Estas munidas de equipamentos digitais e elementos mecânicos permitem um diverso número de operações.

Em baixo apresenta-se as celas do Parque Eólico de Videmonte.



Figura 12. Celas de MT



Figura 13. Celas - Painél de manobra do seccionador

4.1.1.1 Cella do transformador / Cella dos circuitos

As celas usadas no Parque são da MESA CBGS-0 1,250A, 25kA para o transformador e MESA CBGS-0 630A, 25 kA para os circuitos.

As celas do transformador e dos circuitos são responsáveis por grande parte da monitorização e controlo dos circuitos da rede de MT e do transformador. Nelas é possível manobrar disjuntores e seccionadores alterando a forma de ligação do Parque. Sendo estas manobras de elevada responsabilidade no que diz respeito a segurança de pessoas e equipamento, as celas são operadas apenas por pessoal qualificado. No entanto, estas possuem sistemas de encravamento impedindo manobras de risco.

Encravamentos

Os encravamentos eléctricos, mecânicos e electromagnéticos incorporados nas celas actuam mediante as seguintes regras:

- ❖ Não é possível actuar sobre o seccionador de terra com o seccionador de barramento fechado e vice-versa.
- ❖ Não é possível manobrar o seccionador com o disjuntor automático fechado.

- ❖ Com a manivela de accionamento do seccionador inserida, não se pode actuar sobre o disjuntor automático (encravamento mecânico).
- ❖ O disjuntor automático só poderá ser conectado estando o seccionador em posições extremas.
- ❖ A manivela de accionamento do seccionador só pode ser retirada ou introduzida nas suas posições extrema, uma vez realizada a manobra completa do equipamento (encravamento mecânico).
- ❖ Com a manivela de accionamento do seccionador está inserida não é permitido realizar manobras eléctricas como abrir ou fechar o disjuntor.
- ❖ Com o seccionador conectado à terra apenas se poderá fechar o disjuntor automático, após premir o botão de fecho mecânico situado no painel da cela.
- ❖ Não poderá ser aberto o seccionador de terra até que seja aberto o disjuntor automático mediante a actuação sobre o botão de fecho.
- ❖ O acesso aos cabos de MT, é possível mediante a colocação dos mesmos à terra através do seccionador de terra e o fecho do disjuntor automático.
- ❖ Com o painel de cabos extraído, as manobras do seccionador encontram-se bloqueadas

Estão também aplicados os seguintes dispositivos de bloqueio sobre o accionamento dos seccionadores e do disjuntor com o objectivo de evitar manobras indesejadas:

- ❖ Bloqueio (cadeado) do accionamento do disjuntor.
- ❖ Encravamentos electromecânicos:
 - Não permitir manobras do seccionador de barramento.
 - Não permitir manobras do seccionador de terra
- ❖ Encravamentos por fechadura:
 - Chave extraível com o seccionador de barramento fechado (manobras bloqueadas).
 - Chave extraível com terra aberta (permite manobras do seccionador).
 - Chave extraível com o seccionador de barramento aberto (permite manobras do seccionador de terra).
 - Chave extraível com o seccionador de terra fechado (manobras bloqueadas).
 - Chave extraível com cabos à terra.
 - Chave extraível com disjuntor automático aberto.

4.1.1.1.1. Características gerais

A cela do transformador está equipada com um relé de protecção e controlo que permite um conjunto de funções:

- Protecção do equipamento e da rede a montante;
- Controlo e sinalização de operações (disjuntor, chaves seccionadoras, etc);
- Medição de valores analógicos;
- Aquisição de informação por intermédio de entradas digitais;
- Possibilidade da realização de automatismos e encravamentos internos.

Função

- 3x50/51 + 50N/51N + 79

Opção

- Registador oscilográfico

Corrente Nominal

- 5A

Alimentação / Entradas Digitais / Entradas Monitorização

- 110-125 Vcc / 24 – 125 Vcc / 125 Vcc

Frequência / Idioma

- 50 Hz / Português

Comunicações

- RS232 + F.O.P de 1 mm

Tipo de caixa

- 4U x 1 rack de 19"

Protocolo de Comunicações

- Prot. não Procome + sem Ctrl

4.1.1.1.2. Funções do subsistema de protecção

- **Protecção de sobrecorrente para 3 fases e neutro (3x50/51+50N/51N)**

Dispõe de quatro unidades de medida de sobreintensidade (três de fase e uma de neutro). Neste modelo cada unidade é formada por um elemento temporizado e outro instantâneo, com temporização adicional ajustável.

As unidades temporizadas dispõem de cinco curvas de actuação seleccionáveis: **inversa**, **muito inversa**, **extremamente inversa**, **tempo fixo** e uma do **usuário**.

Mediante ajuste, é possível habilitar ou desabilitar as unidades temporizadas ou instantâneas de fase e neutro de maneira independente. As unidades de fase e neutro dispõem de três tabelas de ajuste seleccionáveis (uma activa e duas alternativas).

Dispõem de sinalização independente da partida das unidades temporizadas e instantâneas, e de sinalização independente de disparo instantâneo e temporizado.

- **Reengate trifásico**

O reengate oferece a possibilidade de ser coordenado por uma protecção externa, além própria protecção integrada no equipamento.

- **Unidade de falha do disjuntor**

O equipamento incorpora uma unidade de detecção de falha de disjuntor (disparo trifásico) enviando um sinal que permita o disparo de outro disjuntor.

- **Unidade de fase aberta**

Esta unidade tem como função detectar o desequilíbrio entre as fases para proceder ao disparo e eliminar a situação de desequilíbrio.

- **Unidade de detecção de corrente residual (desequilíbrio de neutro)**

A unidade de detecção de corrente residual tem como objectivo gerar um disparo no momento em que se detecte uma circulação de corrente de sequência zero que não alcance o nível de defeito num intervalo de tempo ajustado. A circulação da mencionada corrente indica a existência de um desequilíbrio de correntes na instalação.

4.1.1.1.3. Funções de subsistema de controlo

- **Controlo local da posição com indicação do estado e controlo de cada um dos elementos que o compõem**

Através do teclado pode-se actuar sobre cada um dos elementos que compõem a posição.

- **Controlo local do reengate**

O reengate pode ser posto em serviço ou fora de serviço a partir do teclado (após a ordem ser executada através de lógica para verificar se é executável ou não).

- **Apresentação das medições**

- **Apresentação dos alarmes locais em forma de alarme convencional**
- **Indicação do estado das entradas e saídas digitais**
- **Indicação do estado das saídas auxiliares e LED's de protecção**

4.1.1.1.4. Funções adicionais

- **Monitorização de disparo**

O equipamento dispõe de unidades que verificam o correcto funcionamento do disparo do disjuntor.

- **Monitorização das saídas de manobra**

Associado à monitorização anterior.

- **Monitorização do disjuntor**

Existe uma unidade que soma e acumula o valor dos kA em cada abertura do disjuntor para efeitos de manutenção.

- **Número excessivo de disparos**

Para impedir danos no disjuntor, uma unidade impede o o disjuntor de efectuar um número excessivo de manobras.

As celas dos circuitos, está equipada com o mesmo relé que realiza as mesmas funções.

No que diz respeito a manobras mecânicas, estas celas permitem a ligações à terra e manobras do disjuntor.

4.1.1.2. Cella das baterias de condensadores

A cela de bateria de condensadores não tem nenhum relé digital, apenas tem a possibilidade de efectuar manobras mecânicas: Colocação em carga e em vazio e ligação à terra. Esta cela sendo do mesmo modelo usado nas celas do transformador e circuitos, possui os mesmos encravamentos.

4.1.2. Armários

Os armários controlam, por intermédio de ligações de controlo em BT, as operações de manobra e protecção.

4.1.2.1 Armário do transformador de potência

O armário do transformador controla o transformador de potência. Os equipamentos que o integram são especificados em baixo.

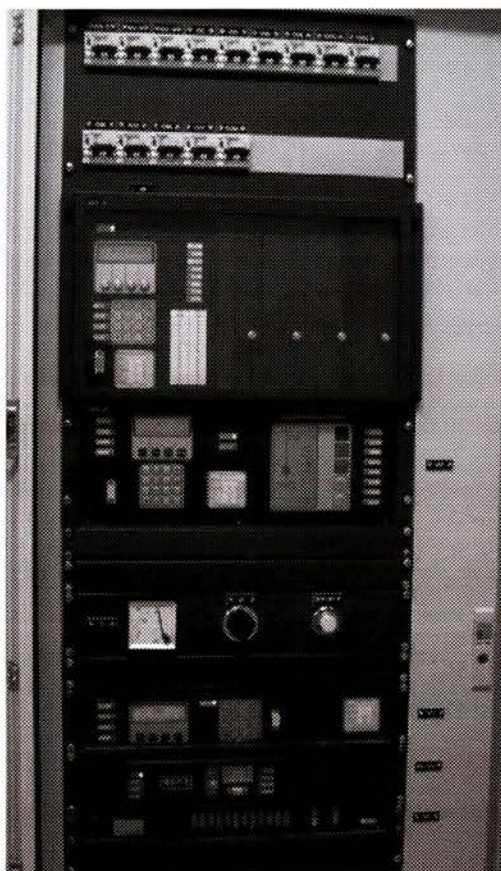


Figura 14. Armário do Transformador de Potência

4.1.2.1.1. Terminal de Controle e Medida (UCP)

4.1.2.1.1.1 Características gerais

O terminal de controle e medida monitoriza todos os dados do transformador. Para além de registar a chegada de tensão ao transformador, controla e sinaliza todos os dispositivos associados à posição de linha. Este permite ainda adquirir dados por intermédio de entradas digitais.

Função

- Captação E/S + medida

Opção interface

- Opção 3 + teclado (matriz 4x4)

Opção indicadores ópticos

- Opção F + H

Alimentação / Entradas Digitais / Entradas Monitorização

- 110-125 Vcc / 24 – 125 Vcc / 125 Vcc

Frequência / Idioma

- 50 Hz / Português

Comunicações

- RS232 + F.O.P de 1 mm

Tipo de caixa

- 4U x 1 rack de 19"

Protocolo de comunicações

- Procome

4.1.2.1.1.2. Funções

- **Controlo local da posição de linha com indicação do estado e controlo de cada um dos componentes que o compõem.**

Através de um teclado é possível actuar sobre os equipamentos da subestação, sendo essas acções baseadas em lógica pré-determinada tendo em conta sinais digitais que assim o permitem.

- **Apresentação de medidas**

No visor gráfico é possível apresentar medidas de corrente, tensão e potência.

- **Apresentação dos alarmes locais por intermédio de alarme convencional**

- **Indicação do estado das entradas e saídas digitais**

4.1.2.1.2. Relé instantâneo de sobreintensidade (50/51/50N/51N)**4.1.2.1.2.1. Características gerais**

O equipamento faz parte de uma família de sistemas digitais de protecção que incorporam funções de protecção de sobreintensidade.

De modo geral, são de aplicação em todos aqueles circuitos onde se requer uma protecção de sobreintensidade para defeitos fase/fase e fase/terra. Assim mesmo, recomenda-se a utilização da unidade de protecção direccional em sistemas com neutro isolado, onde se requer uma protecção de alta sensibilidade para defeitos à terra.

Seleção

- Montagem horizontal

Funções

- 3x50/51 + 50N/51N

Corrente nominal

- 5 A

Alimentação / Entradas Digitais

- 110-125 Vcc / 24 – 125 Vcc

Frequência / Idioma

- 50 Hz / Português

Comunicações

- RS232 + F.O.P de 1 mm

Tipo de caixa

- 4U x 1/7 rack de 19"

Protocolo de Comunicações

- Prot. não Procome + Ctrl. Modbus e Procome'

4.1.2.1.3. Relé de Protecção diferencial (87T)

4.1.2.1.3.1. Características gerais

Este equipamentos é constituído por sistemas integrados formados por equipamentos digitais, alicerçados num potente microprocessador, que englobam funções de protecção diferencial.

A sua estabilidade é garantida em situações de:

- Saturação e erros nos TI's
- Manobras de colocação em tensão
- Defeitos internos ou externos
- Variações nos taps do transformador e/ou grupo de ligação

Seleccção

- Construção em 19" rack

Funções

- 2 enrolamentos

Opções

- Oscilografia

Corrente nominal

- 5 A

Alimentação / Entradas Digitais

- 110-125 Vcc / 24 – 125 Vcc

Frequência / Idioma

- 50 Hz / Português

Comunicações

- RS232 + F.O.P. de 1 mm

Tipo de caixa

- 2U x 1/7 rack de 19"

Protocolo de Comunicações

- Prot. não Procome + Ctrl. Procome

4.1.2.1.3.1. Funções

- Protecção diferencial trifásica

Detecta falhas dentro da zona de influência dos TI's

- Unidade de protecção de sobrecargas térmicas

O transformador suporta sobrecargas durante curtos períodos de tempo no sentido de aproveitar ao máximo o seu rendimento e assegurar a continuidade de serviço. Esta unidade controla este regime de funcionamento no sentido de monitorizar a sobrecarga evitando desgaste prematuro.

- Unidade de protecção de sobreintensidade neutro sensível
- Unidade de defeitos restringidas a terra

Semelhante à protecção diferencial para detectar falhas internas à terra. Utilização de uma resistência para limitar corrente de neutro.

- Filtro de corrente homopolar

Este filtro permite eliminar correntes homopolares devido a correntes que possam circular devido às conexões em estrela do transformador.

- Adaptação do grupo de conexão

Compensação de desfasamento introduzido entre as correntes, pelo grupo de conexão.

- Compensação de tap
- Unidade instantânea

Unidade que actua em caso de defeitos internos graves.

- Restrição por harmónicos

Ajuste dos harmónicos (2º e 5º) em caso de variações bruscas de tensão.

- Reposição 86 (Bloqueio de fecho)

Activação de um sinal quando é produzido um disparo.

4.1.2.1.4. Relé de regulação de tensão (90)

4.1.2.1.4.1. Características gerais

O regulador de tensão é um relé destinado à regulação de tensão dos transformadores de potência a partir do controle do regulador automático em carga (tap-changer).

São sistemas indicados para manter a tensão dentro de um valor constante, sem interromper o serviço. A regulação da tensão é efectuada a partir da medição de tensão e corrente na saída do transformador de potência, através dos TT's e TI's, enviando as ordens correspondentes ao regulador automático em carga (tap-changer) do transformador de potência para elevar ou reduzir a tensão até ao valor de tensão de referência pré-definido.

Funções

- Modelo C + monitorização do comutador ("tap-changer")

Corrente nominal

- 5 A

Alimentação / Entradas Digitais

- 110-125 Vcc / 24 – 125 Vcc

Frequência / Idioma

- 50 Hz / Português

Comunicações

- RS232 + F.O.P. de 1 mm

Tipo de caixa

- 2U x 1 rack de 19"

Protocolo de Comunicações

- Prot. não Procome + Ctrl. Procome

4.1.2.1.4.2. Funções

• Regulação de tensão

O relé mede a tensão e corrente à saída do transformador. Após cada medida, o equipamento efectua uma série de verificações a fim de determinar se deve enviar alguma ordem ao regulador automático em carga. A ordem de subir ou baixar o comutador é emitida de acordo com uma característica de tempo que tem em conta o valor de desvio de tensão, os ajustes de grau de insensibilidade e o factor de tempo. Através do equipamento pode-se efectuar, tanto local como remotamente, alterações manuais do comutador.

• Controle remoto da tensão de referência

O valor da tensão de referência pode ser modificado sempre que seja permitido. Neste caso, pode-se modificar tanto de forma local ou remota. A tensão de referência é dada em KV. Associada à modificação remota do valor da tensão, o equipamento gera um sinal de corrente contínua, na faixa 0-5 mA, proporcional à tensão de referência fixada.

• Modificação do slope de compensação

Com o objectivo de reduzir as sobretensões durante manobras tais como a conexão ou desconexão das baterias de condensadores, a acção do temporizador pode ser anulada de duas formas: quando a tensão ultrapassa o ajuste de tensão de retrocesso rápido ou pela activação de uma entrada digital. Em ambos os casos a ordem de mudança de tap é executada imediatamente.

- **Compensação de corrente**

O objectivo de manter a tensão na barra à qual se liga o secundário do transformador de potência obedece à necessidade de manter constante a tensão na carga. A queda da tensão entre a carga e o transformador depende da corrente fornecida pelo transformador; o equipamento leva em consideração a corrente circulante compensando a queda de tensão desde o transformador até a conexão da carga.

- **Função de autoteste**

Este relé incorpora uma função de autoteste que verifica ciclicamente se o programa do equipamento está a ser correctamente executado.

- **Monitorização e sinalização do comutador**

A monitorização efectua-se sobre a posição na qual se encontra o comutador. Após a realização de uma alteração é gerada uma saída para a visualização remota da posição em que se encontra.

- **Registo de faixas de tensão**

O regulador de tensão dispõe de um registo de tensão dentro de sete bandas de funcionamento cujos limites são definidos por meio de ajuste do utilizador. Em cada banda, é registado o número de vezes em que o comutador nela permaneceu, assim como o tempo total de permanência.

4.1.2.2. Armário de interligação

O armário de interligação é responsável pela monitorização e protecção das condições estabelecimento no que diz respeito à interligação do Parque Eólico com a rede na subestação de Chafariz. Este armário encontra-se equipado com elementos de protecção que permitem salvaguardar tanto o bom funcionamento do Parque a nível de segurança de pessoas e equipamentos, bem como da rede eléctrica.



Figura 15. Armário de Interligação

4.1.2.2.1. Relé de máximo e mínimo de tensão (27/59)

4.1.2.2.1.1. Características gerais

O painel de interligação está munida de um relé de máximo e mínimo de tensão que permite detectar oscilações de tensão na rede.

Disposição física

- Horizontal

Funções

- 3 x 27 / 3 x 59

Corrente nominal

- 5 A

Alimentação / Entradas Digitais

- 110-125 Vcc / 24 – 125 Vcc

Frequência / Idioma

- 50 Hz / Português

Comunicações

- RS232 + F.O.P. de 1 mm

Tipo de caixa

- 6U x 1/7 rack de 19"

4.1.2.2.1.2. Funções

• Protecção de tensão trifásica

Este relé dispõe de três entradas analógicas de medição de tensão estando a estas associadas duas unidades de protecção. Cada uma das anteriores possui ajustes independentes. Esses ajustes podem ser de sobretensão ou subtensão.

Como curiosidade, esta protecção actuou inúmeras vezes aquando da posta em marcha devido às más condições atmosféricas. A existência de descargas de origem atmosférica nas linhas propagava-se pela rede fazendo actuar o relé de mínimo de tensão.

4.1.2.2.2. Relé de sobreintensidade (50/51/50N/51N)

4.1.2.2.2.1. Características gerais

Este equipamento faz parte de uma família de sistemas para posições de linha. Esta família de relés baseia-se em tecnologia digital e adapta-se a todos os requisitos impostos pelas diferentes configurações que as posições de M.T. possam adoptar na subestação.

Seleção

- Construção em rack 19"

Funções

- 3 x 50/51 + 50N/51N + 79

Opções

- Registo oscilográfico

Corrente nominal

- 5 A

Alimentação / Entradas Digitais / Entradas Monitorização

- 110-125 Vcc / 24 – 125 Vcc / 125 Vcc

Frequência / Idioma

- 50 Hz / Português

Comunicações

- RS232 + F.O.P. de 1 mm

Tipo de caixa

- 2 x 1 rack de 19"

Protocolo de Comunicações

- Prot. nãoProcome + Ctrl. Procome

4.1.2.2.2. Funções

• **Protecção de sobreintensidade para três fases e neutro**

Dispõe de 4 unidades de medida de sobreintensidade (três de fase e uma de neutro). Cada unidade é formada por um elemento temporizado e outro instantâneo, com temporização adicional ajustável.

• **Reengate trifásico**

Tem a possibilidade se der activado por uma protecção externa, além da protecção do próprio relé, podendo efectuar quatro ciclos de reengate, com ajustes independentes dos tempos de reengate e de segurança.

• **Unidade de defeito do disjuntor**

Possui uma unidade de detecção de defeito do disjuntor, enviando um sinal de comando que possibilitando o disparo de outro disjuntor.

- **Unidade de fase aberta**

O relé tem uma função de forma a detectar situações de desequilíbrio de fases e proceder ao disparo.

- **Unidade e detecção de corrente residual (desequilíbrio de neutro)**

Possui uma unidade de detecção de corrente residual gerando um disparo. A circulação de corrente indica a existência de desequilíbrio do neutro.

4.1.2.2.3. Relé de máximo e mínimo de frequência (81)

4.1.2.2.3.1. Características gerais

Este relé incorpora funções de protecção de máximo e mínimo de frequência, medida e comunicações e a sua aplicação centra-se na necessidade de manter estável o valor da frequência, sendo necessário para isso que exista um permanente equilíbrio entre a geração e o consumo.

Disposição física

- Horizontal

Funções

- 81 Mm

Alimentação / Entradas Digitais

- 110-125 Vcc / 24 – 125 Vcc

Frequência / Idioma

- 50 Hz / Português

Comunicações

- RS232 + F.O.P. de 1 mm

Tipo de caixa

- 6U x 1/7 rack de 19"

4.1.2.2.3.2. Funções

- **Protecção de frequência**

Dispõe de uma entrada analógica para a obter a frequência. Esta unidade tem temporização ajustável podendo ser utilizada como sobrefrequência ou subfrequência.

4.1.2.3. Armário de serviços auxiliares

O armário de serviços auxiliares monitoriza todos os elementos necessários ao funcionamento do edifício de comando. Neste encontram-se sistemas de protecção para os sistemas monofásicos de uso comum.

O transformador de serviços auxiliares encontra-se ligado a este armário possibilitando a alimentação de toda a subestação. Em caso de falha de tensão, existem baterias que alimentam este mesmo armário e com autonomia de 48h. Para além disso, se a tensão não for reposta na linha e as baterias descarregarem, este armário tem a possibilidade de receber a sua alimentação através de um grupo electrogéneo. Para isso é necessário proceder a alteração de um comutador situado no fundo do armário.

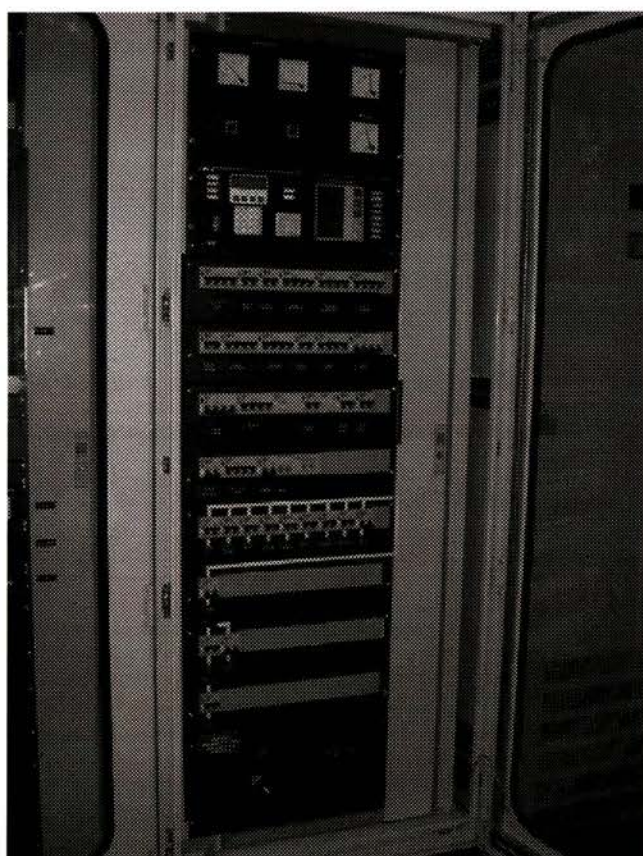


Figura 16. Armário de serviços auxiliares

4.1.2.4. Armário de telecomando

No armário de telecomando está localizado o modem que comunica com o exterior, sendo possível analisar o estado dos sistemas de monitorização. Este armário centra a sua importância na comunicação com o exterior. Uma vez que o Parque se encontra ligado à sede de controlo da Gamesa em Pamplona, este armário está equipado com uma unidade central que engloba um relógio e uma unidade de sincronização que permite a visualização de dados em tempo real.

4.2. Protocolos de teste e recepção dos sistemas de monitorização

4.2.1. Celas

No sentido de manobrar correctamente os equipamentos, evitando danos pessoais e materiais, são necessários efectuar ensaios de recepção. Estes são efectuados por pessoas qualificadas e com atenção às normas de segurança em vigor. São utilizadas malas de ensaio que permitem a injeção de tensões e correntes.

No que diz respeito a ensaios do sistema de protecção, organizam-se pela seguinte ordem:

- Ensaios de medida
- Ensaio das unidades de corrente
- Ensaio da unidade de fase aberta
- Ensaio da unidade de corrente residual
- Ensaio da unidade de falha de disjuntor
- Ensaio de reengate

Por ordem de execução, os ensaios efectuados são descritos em baixo.

➤ ENSAIOS DE MEDIDA

Neste ensaio deseja-se comprovar valores de corrente elevadas no menor tempo possível e evitar o corte de injeção de corrente/tensão por parte do disjuntor.

O teste consiste na aplicação em cada uma das fases e no neutro de correntes de forma a respeitar o imposto na tabela em baixo.

Corrente ou Tensão	
Aplicada	Medida
x	$x \pm 5\%$

Tabela 17. Ensaio de medida

➤ ENSAIO DAS UNIDADES DE CORRENTE DE FASE E NEUTRO

Partida e reposição

Após ajustados os valores iniciais de partida desejados para a unidade correspondente é necessário comprovar a sua activação mediante a actuação de uma saída.

Ajuste da unidade	arranque		reposição	
	min	máx	min	máx
X	1 x X	1.1 x X	0.95 x X	1.05 x X

Tabela 18. Ensaio de corrente de fase e neutro

Tempos de actuação

Para medição dos tempos de actuação são medidos através dos bornes de disparo do equipamento. Um cronómetro é aplicado nos contactos de saída bem como à fonte de corrente.

Tempo fixo ou instantâneo

Será aplicado 20% mais do que o valor de ajuste seleccionado para a activação. O tempo de actuação deverá corresponder com $\pm 5\%$ ou 25 ms do valor de ajuste seleccionado. De notar que o ajuste a 0 ms terá um tempo de actuação entre 25 a 30 ms.

Tempo inverso

O tempo de actuação depende da corrente aplicada, para uma determinada curva. A tolerância será de $\pm 5\%$ do valor da corrente.

➤ ENSAIO DA UNIDADE DE FASE ABERTA

O objectivo é a detectar a abertura de alguma das fases da linha protegida, mediante a medição da característica inversa da corrente circulante.

Neste ensaio, coloca-se fora de serviço todas as unidade de fase e neutro e aplica-se um sistema de duas correntes como se apresenta:

$$I_a = 1 \angle 0^\circ \text{ A}$$

$$I_b = 1 \angle 60^\circ \text{ A}$$

Ajuste da unidade para 0,2 de I_2/I_1 e comprovar que não está activada.

Aumentar a corrente da fase B e comprovar que a unidade é activada com um valor de corrente, na fase B, compreendido entre 1,35 A e 1,49 A.

De seguida é aplicado uma corrente na fase B de $2 \angle 60^\circ \text{ A}$ e comprovar que produz um disparo num tempo compreendido entre 9,5s e 10,5 s e no final verificar se os contacto de disparo se fecharam.

➤ ENSAIO DA UNIDADE DE CORRENTE RESIDUAL

Verifica-se que a unidade é activada para um ajuste (X) determinado, quando se aplica, na entrada do neutro $X \times 1$ e $X \times 1.1$;

Aplica-se também uma corrente de $2X$ e verificar que produz um disparo num tempo compreendido entre $E \times 0.95$ e $E \times 1.05$, sendo E o ajuste de tempo da unidade.

➤ ENSAIO DA UNIDADE DE DEFEITO DO DISJUNTOR

Para comprovar esta unidade, configura-se uma das saídas auxiliares para a função de defeito do disjuntor. Desabilitar em seguida todas as unidades, excepto as unidades de instantâneo de fase e neutro e a de defeito do disjuntor.

Ajustar a partida das unidades instantâneas de fase e de neutro em 0.5 A e o seu tempo de disparo em 0. Ajustar os níveis de reposição das unidades de defeito do disjuntor ao valor desejado de reposição de corrente e de tempo de actuação. Provocar um disparo aplicando uma corrente de 1A por fases e neutro a manter a corrente depois do disparo. A unidade de defeito de disjuntor activar-se-á num tempo compreendido entre mais ou menos 0.025 s ou 5% do valor ajustado. Para a comprovação do funcionamento desta unidade configurou-se uma saída auxiliar como defeito do disjuntor.

- ENSAIO DO REENGATE
 - Após um fecho manual espera-se o tempo de segurança. Se não se deixa passar este tempo antes de gerar o disparo, o reengate bloqueia.
 - Para que se inicie o ciclo de reengate, a protecção detecta que o disjuntor está aberto e que não circula corrente pelas fases antes de concluir o tempo da início.
 - Se o equipamento está a dar falha na monitorização do circuito de abertura, não executará o reengate e, portanto, entrará em bloqueio
 - Para que o reengate realize todo o ciclo até ao seu disparo definitivo, devem ser gerados os disparos.
 - Deve-se ter em conta se as opções de tensão de referência e entrada de inibição estão a ser utilizadas, assim como os inibidores das unidades, máscaras de disparo e reengate.

4.2.2. Armário do Transformador de potência

4.2.2.1. Terminal de Controlo e Medida (UCP)

O terminal de controlo e medida possui testes de recepção bastante simples. Para além dos ensaios de medida de corrente e tensão mencionados anteriormente, é necessário efectuar testes às entradas digitais. Estes testes irão comprovar o correcto funcionamento da monitorização dos circuitos manobra.

4.2.2.2. Protecção de sobreintensidades (50/51/50N/51N)

- ENSAIO DE MEDIDA DE CORRENTE

Para este teste deve-se ter em conta que, se é desejado evitar disparos durante o mesmo, deverão estar desabilitadas as unidades e evitar o corte de injeção de corrente por parte do disjuntor. Posteriormente aplicaremos a cada uma das fases e neutro.

- ENSAIO DAS UNIDADES DE FASE E NEUTRO

• **Arranque e reposição**

Ajustar os valores de partida desejados para a unidade correspondente e comprovar a sua activação através a actuação de alguma saída configurada para esta finalidade.

• **Tempos de actuação**

- Tempo fixo ou instantâneo
- Tempo inverso
- ENSAIO DAS ENTRADAS DIGITAIS, SAÍDAS DE LED'S

4.2.2.3. Regulador de Tensão (90)

- ENSAIO DE MEDIDA DE TENSÃO

Tensão Aplicada	Valor Medido (%)	Valor Medido (secundário)
X	$\left(\frac{x}{V_n} \cdot 100 \pm \frac{x}{V_n} \cdot 0,5\right)\%$	$x \pm 0,005 x$

Tabela 19. Valores para o ensaio de medida de tensão

- ENSAIO DE MEDIDA DE CORRENTE

Corrente Aplicada	Valor Medido (%)	Valor Medido (secundário)
x	$\left(\frac{x}{I_n} \cdot 100 \pm \frac{x}{I_n} \cdot 0,5\right)\%$	$x \pm 0,005 x$

Tabela 20. Valores para o ensaio de medida de corrente

- ENSAIO DE MEDIDA DE CORRENTE DE REACTIVA

Verificar se os ajustes da relação de transformação de corrente estão ambos iguais à unidade, ou seja, 5/5 A para $I_n=1 A$.

Corr. Local	Corr. Remota	Corr. Relativa teórica	Tolerância	Unidade de Visualização
I_M / ϕ_M	I_R / ϕ_R	$\Delta I_M = I_M \text{sen}(\phi_M - 150^\circ) - I_R \text{sen}(\phi_R - 150^\circ)$	Erro em medida \pm 0,5% Erro em ângulo \pm 3°	
1A/0°	1A/180°	$\Delta I_R = -1$	-0,9 a 1,09	secundário

Tabela 21. Valores para o ensaio de medida de corrente reactiva

➤ **ENSAIO DE REGULAÇÃO**

Aplicar um impulso (200 ms) e comprovar que o equipamento passa a AUTOMÁTICO, ou seja, se são activadas as saídas configuradas como modo automático e são desactivadas as configurações como manual.

Aplicar um impulso (200 ms) e comprovar que o equipamento passa a MANUAL, ou seja, se são activadas as saídas configuradas como modo manual e são desactivadas as configurações como automático.

➤ **COMPROVAÇÃO DA ACTUAÇÃO DO REGULADOR**

Comprovar que sempre que for dada uma ordem de SUBIR/BAIXAR TAP, se acenderá durante três segundos o LED configurado como "Subir/Baixar Tap".

Tempo de atraso

Para realizar a comprovação dos tempos de actuação de subir e baixar tap, o equipamento encontra-se em automático.

Diminuição da tomada de regulação automática em carga

Neste ensaio será medido o tempo a partir do qual a tensão é conectada até que se dá a ordem de baixar o tap. Aplica-se uma tensão tal que se provoque uma ordem de baixar tap.

Aumento da tomada de regulação automática em carga

Neste ensaio será medido o tempo a partir do qual a tensão é conectada até que se dá a ordem de subir o tap. Aplica-se uma tensão tal que seja provocada uma ordem de subir tap.

4.2.2.4. Protecção Diferencial (87T)

➤ **ENSAIO DE MEDIDA**

Para realizar os testes de medida, ajustar o grupo de conexão primário – secundário como YY0 e sem filtro de sequência zero, já que é a única maneira de testar fase a fase, caso contrário seriam necessárias duas malhas trifásicas.

- **Medida de corrente de fase e neutro**

Semelhante aos testes anteriores. Aplicação de uma corrente e verificação do valor eficaz medida com um erro de 5%.

○ **Medida do conteúdo de harmónicos**

Aplicar numa fase, uma corrente com um valor eficaz e frequência mediante a tabela em baixo e comprovar o conteúdo dos harmónicos na mesma fase.

Corrente (A)	Frequência (Hz)	Medida 2º harm.	Medida 5º harm.
x + 0,1	100	x	0
	250	0	x

Tabela 22. Ensaio do conteúdo de harmónicos

De notar que esta é a frequência aplicada a equipamentos cuja frequência de operação é de 50 Hz.

O ensaio repete-se para as restantes fases.

○ **Medida da corrente diferencial**

Aplicação na mesma fase de todos os enrolamentos de correntes e comprovar as medidas correspondentes à corrente diferencial desenvolvida para a mesma fase.

➤ **ENSAIO DA UNIDADE DIFERENCIAL**

O ensaio da unidade diferencial é feito mediante o esquema seguinte:

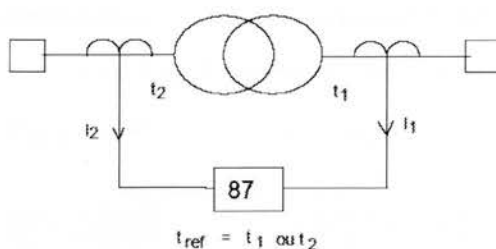


Figura 17. Esquema de ensaio da unidade diferencial

Assim é possível analisar a sensibilidade, a característica de operação da unidade e testar os tempos da unidade diferencial.

➤ **ENSAIO DA UNIDADE DE INSTANTÂNEO**

Verifica-se, através da aplicação de uma corrente numa fase, o arranque e a reposição da unidade; efectua-se também um ensaio de tempos para comprovar a eficácia da unidade de instantâneo.

➤ **ENSAIO DAS UNIDADES DE NEUTRO SENSÍVEL**

➤ **ENSAIO DA UNIDADE TÉRMICA DIFERENCIAL**

4.2.3. Painel de interligação

4.2.3.1. Protecção de máximo e mínimo de tensão (27/59)

➤ ENSAIO DE MEDIDA DE TENSÃO

Aplicação de um valor de tensão, através de uma mala de ensaio e posteriormente fez-se a verificação do valor medido.

➤ ENSAIO DAS UNIDADES DE SOBRE/SUBTENSÃO

Neste ensaio, é conveniente desabilitar as unidades que não estão em teste. Após a inserção dos valores de activação e reposição, verificar o funcionamento da protecção (sobretensão e subtensão).

➤ ENSAIO DE MEDIDA DE TEMPO

Tempo fixo e instantâneo

Se a unidade é ajustada como máximo de tensão, aplica-se 5% mais do valor de activação. O tempo de actuação corresponde a $\pm 5\%$ do tempo de ajuste seleccionado.

Se a unidade for de mínimo de tensão aplica-se 5% menos do valor de activação.

O tempo de actuação corresponde também a $\pm 5\%$ do tempo de ajuste seleccionado.

Para ambas as situações, o ajuste a 0 ms tem um tempo de actuação de aproximadamente 30ms.

Tempo inverso

O tempo de actuação é dado pela tensão aplicada, sendo a tolerância de $\pm 5\%$ do valor da tensão.

➤ Ensaio das entradas digitais, saídas e LED's

4.2.3.2. Protecção máximo e mínimo de frequência (81)

➤ ENSAIO DE MEDIDA DE TENSÃO

Aplicação de vários níveis de tensão e verificação dos valores aplicados.

➤ ENSAIO DE MEDIDA E FREQUÊNCIA

Aplicação da tensão nominal a várias frequências e verificar a frequência medida. O valor medido para um valor de tensão a 50Hz deve estar compreendido entre 49,8Hz e 50,2Hz.

➤ ENSAIO DAS UNIDADES DE SOBRE/SUBFREQUÊNCIA

• Activação e reposição

Ajuste dos valores de activação para as duas unidades, e injecta-se tensão fazendo variar a frequência verificando a activação e a reposição. As margens dos valores de activação e reposição são previamente definidos.

Valor	Sobrefrequência		Subfrequência	
	activação	reposição	activação	reposição
X Hz	$x \pm 0,005 \text{ Hz}$	$(0,999x) \pm 0,005 \text{ Hz}$	$x \pm 0,005 \text{ Hz}$	$(1,001x) \pm 0,005 \text{ Hz}$

Tabela 23. Ensaio das unidades de sub/sobrefrequência

• Medidas de tempo

A mala de ensaios disponibiliza uma tensão com frequência variável (rampa) e a chegada à frequência de activação é dada por um cronómetro.

No que diz respeito ao sinal, deve ser em rampa e deve estar o mais próximo do nível possível. A geração da mesma deve ser o mais ampla possível.

4.2.3.3. Protecção de máximo e mínimo de corrente (50/51/50N/51N)

Os protocolos de recepção deste relé encontram-se definidos da mesma forma para o relé utilizado no armário do transformador. Os ensaios a efectuar são os seguintes:

- ENSAIO DE MEDIDA
- ENSAIO DAS UNIDADES DE CORRENTE DE FASE E DE NEUTRO
- ENSAIO DA UNIDADE DE FASE ABERTA
- ENSAIO DA UNIDADE DE CORRENTE RESIDUAL
- ENSAIO DA UNIDADE DE FALHA DE DISJUNTOR
- ENSAIO DO REENGATE
- ENSAIO DAS ENTRADAS, SAÍDAS E LED'S

5. Análise das condições de operação do Parque Eólico

5.1. Descrição das características do Parque Eólico

O Parque Eólico de Videmonte é composto por 16 máquinas G87-2.0 MW divididas por 2 circuitos de 8 aerogeradores. Estes encontram-se interligados por rede de MT a 20 kV à subestação do Parque. A energia produzida é transportada por linha AT a 60 kV que converge para a subestação de Chafariz no concelho de Celorico da Beira.

Para a elaboração de um modelo computacional de análise das condições operacionais do Parque foi necessário um levantamento de características eléctricas dos equipamentos que é apresentado de seguida.

5.1.1. Gerador do Aerogerador

O gerador é o elemento produtor inicial. Este encontra-se na nacelle e está interligado ao transformador. As suas características são as seguintes:

U (kV)	0,69
n _{min} (r.p.m.)	900
n _{máx} (r.p.m.)	1900

P _{máx} (kVA)	2100
------------------------	------

Tabela 24. Características do gerador nacelle

5.1.2. Transformador do Aerogerador

O transformador do aerogerador, está também situado na nacelle. Compete-lhe a ele fazer a elevação de tensão para 20 kV. Este possui as seguintes características:

Ensaio em curto-circuito	
P _{cu} (W)	14470
ε _{cc} (%)	7,83
S _n (MVA)	2,1
U _n (kV)	20

I _n (A)	60,62
R (Ω)	1,312
U _{cc} (kV)	1,57
Z (Ω)	14,91
X (Ω)	14,86

Sb (MVA)	100
Ub (kV)	20
Zb (Ω)	4
R (p.u.)	0,3281
X (p.u.)	3,7141

Tabela 25. PowerWorld - Características do transformador 0,69/20kV

5.1.3. Rede de MT

A rede de MT do Parque interliga todos os aerogeradores e converge para a subestação do mesmo. Uma vez descrita no ponto 2, relembra-se apenas os valores de cada tramo:

Circuito	Troço	R (p.u.)	X (p.u.)	Y/2 (p.u.)
1	Subest. - AG1	0,00414	0,00651	0,0001069
	AG1-AG2	0,00675	0,00841	0,0001212
	AG2-AG3	0,00884	0,00736	0,0000805
	AG3-AG4	0,01147	0,00954	0,0001045
	AG4-AG5	0,01530	0,00832	0,0000690
	AG5-AG6	0,02496	0,00920	0,0000653
	AG6-AG7	0,02632	0,00971	0,0000688
	AG7-AG8	0,02848	0,01050	0,0000745
2	Subest.-AG9	0,04028	0,06325	0,0010391
	AG9-AG10	0,01019	0,00848	0,0000928
	AG10-AG11	0,00925	0,00770	0,0000842
	AG11-AG12	0,01488	0,00809	0,0000672
	AG12-AG13	0,02856	0,01053	0,0000747
	AG13-AG14	0,02504	0,00923	0,0000655
	AG14-AG15	0,02440	0,00900	0,0000638
	AG15-AG16	0,02280	0,00841	0,0000596

Tabela 26. PowerWorld - Características da rede MT

5.1.4. Transformador de Potência

O transformador de potência está situado na subestação do Parque e a sua função será de fazer a elevação da tensão para 60 kV para o transporte de energia.

As suas características são as seguintes:

Ensaio em curto-circuito	
Pcu (W)	200000
ecc (%)	12,5
Sn (MVA)	40
Un (kV)	60

In (A)	384,90
R (Ω)	0,45
Ucc (kV)	7,50
Z (Ω)	11,25
X (Ω)	11,24

Sb (MVA)	100
Ub (kV)	60
Zb (Ω)	36
R (p.u.)	0,01250
X (p.u.)	0,31225

Tabela 27. PowerWorld - Características do transformador 20/60kV

5.1.5. Bateria de Condensadores

O Parque irá tem em projecto a colocação de duas baterias de condensadores que se irão colocar na subestação no lado de MT, e a sua função varia entre compensação de factor de potência a injeção de potência reactiva de acordo com os regulamentos EDP. Assim, pretende-se com a utilização das mesmas, a produção, nas horas de ponta e de cheia, de potência reactiva em valores iguais ou superiores a 40% da potência activa.

Os seus valores em projecto são:

Bateria 1		Bateria 2	
Q (MVar)	6	Q (MVar)	3

Tabela 28. PowerWorld - Características das baterias de condensadores

5.1.6. Linha AT 60 kV

O Parque converge para a subestação de Chafariz por intermédio de uma linha de AT a 60 kV com 5,75 Km. Trata-se de uma linha simples com guarda e tem os seguintes elementos característicos:

R 20°C (Ω /Km)	R 75°C (Ω /Km)	X (Ω /Km)	B (μ S/Km)	α ($^{\circ}$ C-1)	Tmáx ($^{\circ}$ C)
0,109	0,133	0,386	2,968	0,00403	75

l (Km)	Smáx (MVA)
5,754	50

Sb (MVA)	100
Ub (kV)	60
Zb (Ω)	36
R (Ω)	0,766
X (Ω)	2,221
B (μ S)	17,078

R (p.u.)	0,02128
X (p.u.)	0,06170
Y/2 (p.u.)	0,0003074

Tabela 29. PowerWorld - Características da linha AT 60kV

5.2. Implementação computacional do funcionamento do Parque Eólico, PowerWorld®

Com base nos dados retirados para os equipamentos eléctricos constituintes do Parque, implementou-se, utilizando o programa PowerWorld, um modelo que simula as condições de operação do Parque.

Neste modelo incluiu-se 16 aerogeradores semelhantes ao da figura 18.

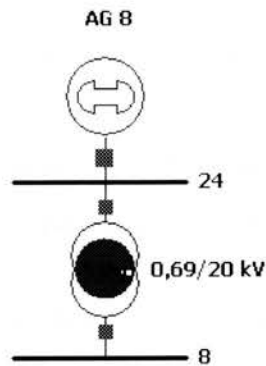


Figura 18. PowerWorld - modelo de um aerogerador

Perfazendo uma rede 8 aerogeradores por circuito.

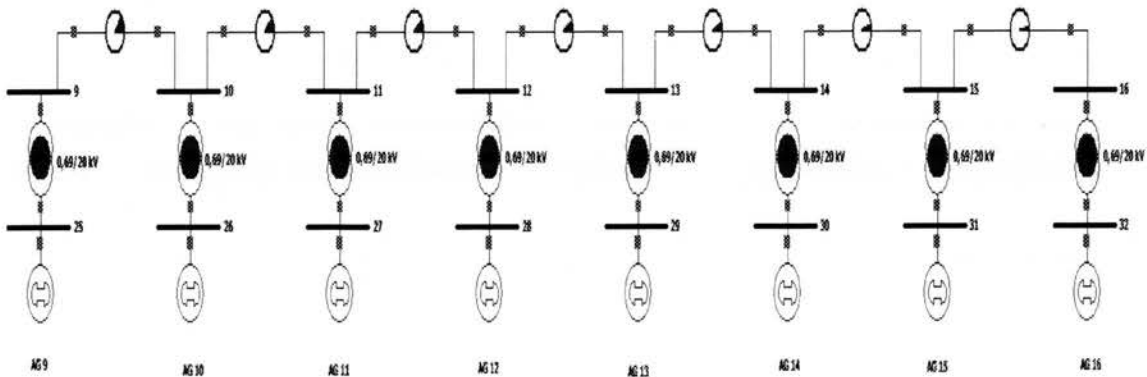


Figura 19. PowerWorld - modelo de um circuito

Os 2 circuitos convergem para a subestação do Parque, estando este interligado pela linha de AT a 60 kV à subestação de Chafariz.

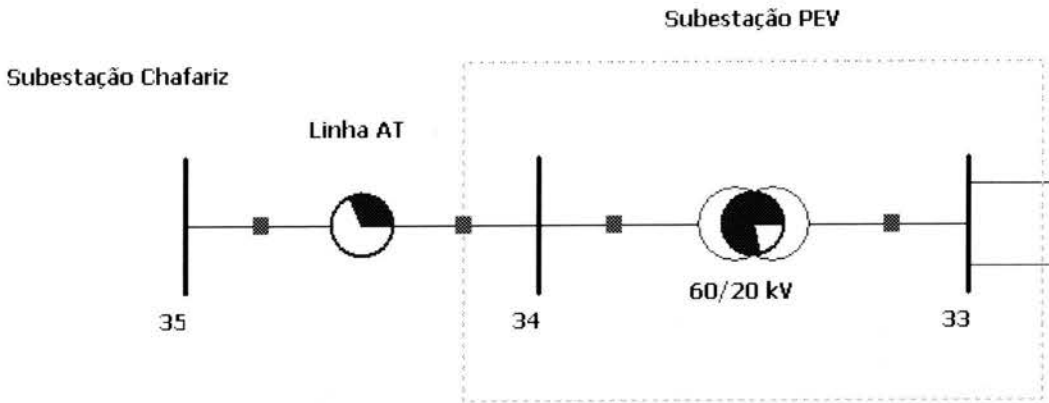


Figura 20. PowerWorld - ligação à rede do Parque Eólico

Nas simulações efectuadas, tomou-se o valor de tensão na subestação de 64 kV. Este valor é baseado no valor lido pelo voltímetro no painel de interligação. Como factor de decisão na análise das condições de operacionalidade, o gerador tem um tensão nominal de funcionamento de $690V \pm 10\%$; assim permite que o seu funcionamento se estende para valores entre [621V;659V].

As simulações analisam o comportamento do Parque para diversas quantidades de vento.

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
Subestação Chafariz	1	64

Tabela 30. Subestação de Chafariz - Tensão de referência

5.2.1. Funcionamento com vento forte

Nesta simulação, pretende-se simular o funcionamento do Parque, em regime de vento fraco. Estudou-se as condições de operação para uma velocidade de vento igual ou superior a 20m/s o que, por análise da curva de potência, sabe-se que a produção é de 2000 kW.

1º caso

No 1º caso, a produção dos aerogeradores é de 2MW sem produção de reactiva. De realçar que as baterias de condensadores estão desligadas.

Produção		Bateria
MW	MVAr	MVAr
2	0	0

Tabela 31. Caso 1 - Níveis de produção

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
1	0,99615	19,923
2	0,997	19,94
3	0,998	19,96
4	0,99907	19,981
5	1,00024	20,005
6	1,00168	20,034
7	1,0027	20,054
8	1,00325	20,065
9	1,00124	20,025
10	1,00257	20,051
11	1,0036	20,072
12	1,00501	20,1
13	1,0072	20,144
14	1,00864	20,173
15	1,00958	20,192
16	1,01001	20,2

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
17	1	0,69
18	1,00086	0,691
19	1,00185	0,691
20	1,00293	0,692
21	1,0041	0,693
22	1,00554	0,694
23	1,00656	0,695
24	1,00711	0,695
25	1,0051	0,694
26	1,00643	0,694
27	1,00746	0,695
28	1,00888	0,696
29	1,01107	0,698
30	1,01252	0,699
31	1,01345	0,699
32	1,01389	0,7

Tabela 32. Caso 1 - Tensões nos barramentos

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
Saída MT	0,99556	19,911
Painél de Interligação	1,00321	64,205

Barramento	Produção	
	MW	MVAr
Subestação Chafariz	-31,23	5,91

Tabela 33. Caso 1 - Balanço de potência

Perdas Activas (MW)	0,7963
----------------------------	--------

Tabela 34. Caso 1 - Perdas activas

Por análise desta situação, verifica-se que a produção de activa do Parque situa-se no 31MW, no entanto, a rede necessita de fornecer reactiva; cerca de 6MVAr.

Sendo assim, a condição de fornecer 40% da potência activa não é conseguida.

2º caso

No 2º caso, simulou-se que os aerogeradores fornecem o máximo de reactiva possível de modo a não exceder o valor da tensão nominal fornecida pelo fabricante (690V±10%).

Produção		Bateria
MW	MVAr	MVAr
2	0,67	0

Tabela 35. Caso 2 - Níveis de produção

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
1	1,03628	20,726
2	1,03748	20,75
3	1,03872	20,774
4	1,04006	20,801
5	1,0414	20,828
6	1,04297	20,859
7	1,04407	20,881
8	1,04466	20,893
9	1,04411	20,882
10	1,04577	20,915
11	1,04705	20,941
12	1,04867	20,973
13	1,05104	21,021
14	1,0526	21,052
15	1,05361	21,072
16	1,05408	21,082

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
17	1,06365	0,734
18	1,06483	0,735
19	1,06605	0,736
20	1,06736	0,736
21	1,06867	0,737
22	1,0702	0,738
23	1,07128	0,739
24	1,07186	0,74
25	1,07133	0,739
26	1,07295	0,74
27	1,07421	0,741
28	1,07578	0,742
29	1,07811	0,744
30	1,07963	0,745
31	1,08062	0,746
32	1,08109	0,746

Tabela 36. Caso 2 - Tensões nos barramentos

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
Saída MT	1,03538	20,708
Painél de Interligação	1,00985	64,63

Barramento	Produção	
	MW	MVAr
Subestação Chafariz	-31,24	-4,92

Tabela 37. Caso 2 - Balanço de potência

Perdas Activas (MW)	0,7508
----------------------------	--------

Tabela 38. Caso 2 - Perdas activas

Agora, a produção de reactiva subiu consideravelmente. O Parque, nesta situação fornece energia reactiva. As tensões aos terminais do aerogerador subiram, como era de esperar uma vez que o valor de reactiva está dependente dos módulos das tensões. No entanto, estes não violam o valor dado pelo fabricante. O problema nesta situação, mantêm-se no fornecimento de reactiva, que deveria rondar os 12,8 MVAr, no entanto, este situa-se na ordem dos 5MVAr.

3º caso

Nesse sentido, estudou-se um 3º cenário que inclui a inserção de baterias de condensadores no lado MT.

Produção		Bateria
MW	MVAr	MVAr
2	0,5	10,15

Tabela 39. Caso 3 - Níveis de produção

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
1	1,06259	21,252
2	1,06368	21,274
3	1,06483	21,297
4	1,06607	21,321
5	1,06732	21,346
6	1,06881	21,376
7	1,06986	21,397
8	1,07043	21,409
9	1,06958	21,392
10	1,07111	21,422
11	1,0723	21,446
12	1,07382	21,476
13	1,07608	21,522
14	1,07756	21,551
15	1,07852	21,57
16	1,07897	21,579

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
17	1,08367	0,748
18	1,08474	0,748
19	1,08587	0,749
20	1,08709	0,75
21	1,08833	0,751
22	1,08979	0,752
23	1,09083	0,753
24	1,09138	0,753
25	1,09055	0,752
26	1,09206	0,754
27	1,09323	0,754
28	1,09473	0,755
29	1,09695	0,757
30	1,09841	0,758
31	1,09936	0,759
32	1,0998	0,759

Tabela 40. Caso 3 - Tensões nos barramentos

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
Saída MT	1,06179	21,236
Painél de Interligação	1,01425	64,912

Barramento	Produção	
	MW	MVAr
Subestação Chafariz	-31,21	-12,1

Tabela 41. Caso 3 - Balanço de potência

Perdas Activas (MW)	0,7933
---------------------	--------

Tabela 42. Caso 3 - Perdas activas

Com a colocação de baterias de condensadores no valor de 10,15MVAr, a produção de reactiva é elevada para 12,1 MVAr. Sendo este valor próximo dos 12,8MVAr (40% de P), pode-se afirmar que o valor é aceitável, uma vez que esta, situação verificar-se-á durante 1% em cada ano de funcionamento. Desta análise, retira-se também que a produção de reactiva se encontra numa situação limite porque os valores de tensão dos geradores encontra-se no 759V. Para um bom funcionamento da instalação no que diz respeito a vida útil do gerador, a reactiva não deverá subir mais.

No entanto, aumentando a tomada do lado do primário do transformador, é possível reduzir os valores das tensões no Parque, eliminando o problema dos geradores funcionarem a tensões elevadas.

Produção		Bateria
MW	MVAr	MVAr
2	0,5	8,55

Tabela 43. Condições gerais

Barramento	Produção	
	MW	MVAr
Subestação Chafariz	-31,16	-12,04

Tabela 44. Balanço de potência

Nesta situação, o valor da bateria utilizado é de 8,55 MVAr. Como se pode ver, a bateria, consegue colocar na rede 40% da potência activa.

Barramento	Tensão		Barramento	Tensão	
	p.u.	kV		p.u.	kV
1	0,97571	19,514	17	1,00451	0,693
2	0,97699	19,54	18	1,00575	0,694
3	0,9783	19,566	19	1,00703	0,695
4	0,97971	19,594	20	1,00842	0,696
5	0,98113	19,623	21	1,0098	0,697
6	0,98279	19,656	22	1,01142	0,698
7	0,98396	19,679	23	1,01256	0,699
8	0,98459	19,692	24	1,01318	0,699
9	0,98395	19,679	25	1,01256	0,699
10	0,98569	19,714	26	1,01427	0,7
11	0,98705	19,741	27	1,0156	0,701
12	0,98876	19,775	28	1,01727	0,702
13	0,99127	19,825	29	1,01972	0,704
14	0,99292	19,858	30	1,02133	0,705
15	0,99399	19,88	31	1,02238	0,705
16	0,9945	19,89	32	1,02287	0,706

Tabela 45. Tensões nos barramentos

Comparativamente aos valores da tabela 40, as tensões são bastante menores o que leva a concluir que se as tensões, devido à reactiva, se tornarem elevadas, pode-se actuar sobre a tomada do transformador de forma a diminuir as tensões elevadas pela rede do Parque. Assim justifica-se a utilização do transformador de potência com tomadas de regulação em carga do lado do primário. Em termos de actuação sobre a tomada de regulação em carga do transformador de potência, só este cenário foi estudado, em uma vez ser o pior caso em termos de produção de reactiva e consequentemente dos valores de tensão pelos barramentos do Parque.

5.2.2. Funcionamento com vento médio

O objectivo desta simulação, está orientada para situações de vento na ordem dos 10m/s. Para este valor de vento o aerogerador produz 1203kW. Procedeu-se a análise de três casos distintos.

4º caso

No 4º caso, a produção dos aerogeradores é de 1203kW, sem produção de reactiva e com as baterias de condensadores desligadas.

Produção		Bateria
MW	MVAr	MVAr
1,203	0	0

Tabela 46. Caso 4 - Níveis de produção

Para este caso, registou-se os seguintes valores de tensão:

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
1	1,00249	20,05
2	1,00303	20,061
3	1,00364	20,073
4	1,00431	20,086
5	1,00502	20,1
6	1,0059	20,118
7	1,00652	20,13
8	1,00685	20,137
9	1,00578	20,116
10	1,0066	20,132
11	1,00724	20,145
12	1,00811	20,162
13	1,00944	20,189
14	1,01032	20,206
15	1,01089	20,218
16	1,01116	20,223

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
17	1,00545	0,694
18	1,00599	0,694
19	1,00661	0,695
20	1,00727	0,695
21	1,00798	0,696
22	1,00886	0,696
23	1,00948	0,697
24	1,00981	0,697
25	1,00874	0,696
26	1,00956	0,697
27	1,0102	0,697
28	1,01107	0,698
29	1,0124	0,699
30	1,01328	0,699
31	1,01385	0,7
32	1,01412	0,7

Tabela 47. Caso 4 - Tensões nos barramentos

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
Saída MT	1,00211	20,042
Painél de Interligação	1,00298	64,191

Barramento	Produção	
	MW	MVAr
Subestação Chafariz	-18,99	1,84

Tabela 48. Caso 4 - Balanço de potência

Perdas Activas (MW)	0,1012
----------------------------	--------

Tabela 49. Caso 4 - Perdas activas

Verifica-se que a potência activa fornecida á rede é de 19MVAr, no entanto o Parque consome reactiva. O valor de tensão no painél de interligação e consequentemente em toda a rede MT do Parque, é superior comparativamente ao caso homónimo com vento forte. Este elevação, embora ligeira, deve-se ao menor consumo de reactiva do Parque nesta situação.

5º caso

Neste 5º caso, os aerogeradores produzem a energia reactiva possível sem ultrapassar as características para as quais foram dimensionados.

Assim:

Produção		Bateria
MW	MVAr	MVAr
1,2	0,66	0

Tabela 50. Caso 5 - Níveis de produção

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
1	1,04045	20,809
2	1,04134	20,827
3	1,04221	20,844
4	1,04314	20,863
5	1,04404	20,881
6	1,04506	20,901
7	1,04578	20,916
8	1,04617	20,923
9	1,04646	20,929
10	1,04762	20,952
11	1,04853	20,971
12	1,04961	20,992
13	1,05116	21,023
14	1,05218	21,044
15	1,05284	21,057
16	1,05315	21,063

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
17	1,06625	0,736
18	1,06713	0,736
19	1,06799	0,737
20	1,06891	0,738
21	1,06979	0,738
22	1,07079	0,739
23	1,0715	0,739
24	1,07188	0,74
25	1,0722	0,74
26	1,07334	0,741
27	1,07423	0,741
28	1,0753	0,742
29	1,07682	0,743
30	1,07782	0,744
31	1,07847	0,744
32	1,07877	0,744

Tabela 51. Caso 5 - Tensões nos barramentos

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
Saída MT	1,03977	20,795
Painél de Interligação	1,00922	64,59

Barramento	Produção	
	MW	MVAr
Subestação Chafariz	-18,95	-8,33

Tabela 52. Caso 5 - Balanço de potência

Perdas Activas (MW)	0,185
----------------------------	-------

Tabela 53. Caso 5 - Perdas activas

Como se pode observar, a tensão dos geradores aumenta consideravelmente mantendo-se, no entanto, dentro dos limites. Neste caso, a produção de activa é de aproximadamente 19MVAr. Pode-se concluir que, em condições de vento médio, o Parque tem a capacidade de produzir toda a reactiva necessário para injectar na rede sem a utilização de baterias de condensadores, uma vez que 40% de 18,95MVAr são 7,58MVAr.

6º caso

No sexto caso, insere-se aa baterias de condensadores e reduz-se a produção de reactiva dos geradores.

Produção		Bateria
MW	MVAr	MVAr
1,2	0,5	2,16

Tabela 54. Caso 6 - Níveis de produção

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
1	1,03943	20,789
2	1,04023	20,805
3	1,04103	20,821
4	1,0419	20,838
5	1,04274	20,855
6	1,04372	20,874
7	1,04441	20,888
8	1,04478	20,896
9	1,04476	20,895
10	1,04584	20,917
11	1,04667	20,933
12	1,04769	20,954
13	1,04918	20,984
14	1,05015	21,003
15	1,05079	21,016
16	1,05108	21,022

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
17	1,05987	0,731
18	1,06066	0,732
19	1,06145	0,732
20	1,0623	0,733
21	1,06313	0,734
22	1,06409	0,734
23	1,06477	0,735
24	1,06513	0,735
25	1,06512	0,735
26	1,06617	0,736
27	1,06699	0,736
28	1,068	0,737
29	1,06946	0,738
30	1,07041	0,739
31	1,07104	0,739
32	1,07133	0,739

Tabela 55. Caso 6 - Tensões nos barramentos

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
Saída MT	1,03882	20,776
Painél de Interligação	1,00905	64,579

Barramento	Produção	
	MW	MVAr
Subestação Chafariz	-18,89	-8,08

Tabela 56. Caso 6 - Balanço de potência

Perdas Activas (MW)	0,3165
----------------------------	--------

Tabela 57. Caso 6 - Perdas activas

Com uma ligeira produção de reactiva consegue-se produzir 40% de activa e os geradores não precisam de ser levados à sua produção de reactiva máxima. Desta forma, é possível satisfazer as exigências de fornecimento de reactiva fora das horas de vazio e diminuir a tensão dos geradores, comparativamente ao 5º caso.

5.2.3. Funcionamento com vento fraco

Em situações de vento fraco, ou seja, 7m/s, a produção dos aerogeradores é de 390,3 kW (segundo a curva de potência). Em conformidade, com as simulações elaboradas anteriormente, analisa-se o seguintes casos:

7º caso

No sétimo caso, simula-se o Parque apenas com produção de activa.

Produção		Bateria
MW	MVAr	MVAr
0,39	0	0

Tabela 58. Caso 7 - Níveis de produção

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
1	1,00328	20,066
2	1,00346	20,069
3	1,00367	20,073
4	1,0039	20,078
5	1,00414	20,083
6	1,00443	20,089
7	1,00464	20,093
8	1,00475	20,095
9	1,00449	20,09
10	1,00477	20,095
11	1,00499	20,1
12	1,00528	20,106
13	1,00573	20,115
14	1,00602	20,12
15	1,00621	20,124
16	1,0063	20,126

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
17	1,00445	0,693
18	1,00464	0,693
19	1,00484	0,693
20	1,00507	0,693
21	1,00531	0,694
22	1,0056	0,694
23	1,00581	0,694
24	1,00592	0,694
25	1,00566	0,694
26	1,00594	0,694
27	1,00616	0,694
28	1,00645	0,694
29	1,00689	0,695
30	1,00719	0,695
31	1,00738	0,695
32	1,00746	0,695

Tabela 59. Caso 7 - Tensões nos barramentos

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
Saída MT	1,00314	20,063
Painél de Interligação	1,00146	64,093

Barramento	Produção	
	MW	MVAr
Subestação Chafariz	-6,22	-1,34

Tabela 60. Caso 7 - Balanço de potência

Perdas Activas (MW)	0,001
----------------------------	-------

Tabela 61. Caso 7 - Perdas activas

Nesta situação a produção de activa é relativamente baixa, em relação à potência instalada. O Parque tem uma produção baixa de potência reactiva, 0,21MVAr, o que não permite satisfazer as condições de fornecimento de reactiva.

8º caso

Neste oitavo caso, simula-se a situação anterior mas com a máxima produção de reactiva possível pelos geradores.

Produção		Bateria
MW	MVAr	MVAr
0,39	0,6	0

Tabela 62. Caso 8 - Níveis de produção

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
1	1,03699	20,74
2	1,0375	20,75
3	1,03796	20,759
4	1,03845	20,769
5	1,03887	20,777
6	1,03932	20,786
7	1,03963	20,793
8	1,0398	20,796
9	1,04073	20,815
10	1,04134	20,827
11	1,04182	20,836
12	1,04233	20,847
13	1,04301	20,86
14	1,04345	20,869
15	1,04374	20,875
16	1,04388	20,878

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
17	1,05877	0,731
18	1,05928	0,731
19	1,05973	0,731
20	1,06022	0,732
21	1,06064	0,732
22	1,06108	0,732
23	1,06139	0,732
24	1,06155	0,732
25	1,06249	0,733
26	1,06349	0,734
27	1,06357	0,734
28	1,06407	0,734
29	1,06474	0,735
30	1,06518	0,735
31	1,06547	0,735
32	1,0656	0,735

Tabela 63. Caso 8 - Tensões nos barramentos

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
Saída MT	1,03657	20,731
Painél de Interligação	1,007	64,448

Barramento	Produção	
	MW	MVAr
Subestação Chafariz	-6,36	-9,15

Tabela 64. Caso 8 - Balanço de potência

Perdas Activas (MW)	0,0415
----------------------------	--------

Tabela 65. Caso 8 - Perdas activas

Nesta situação, a produção de reactiva é muito elevada. O seu valor excede a valor da produção de activa. Pode-se verificar que o valor das tensões dos geradores acompanham o crescimento da potência reactiva produzida.

9º caso

No 9º caso, estabelece-se um factor de potência unitário. Os aerogeradores não produzem potência reactiva, deixando essa função a cargo das baterias de condensadores.

Produção		Bateria
MW	MVAr	MVAr
0,39	0	9,7

Tabela 66. Caso 9 - Níveis de produção

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
1	1,03834	20,767
2	1,03852	20,77
3	1,03872	20,774
4	1,03894	20,779
5	1,03917	20,783
6	1,03946	20,789
7	1,03966	20,793
8	1,03976	20,795
9	1,03952	20,79
10	1,03979	20,796
11	1,04001	20,8
12	1,04029	20,806
13	1,04072	20,814
14	1,041	20,82
15	1,04118	20,824
16	1,04127	20,825

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
17	1,03948	0,717
18	1,03966	0,717
19	1,03987	0,718
20	1,04009	0,718
21	1,04032	0,718
22	1,0406	0,718
23	1,0408	0,718
24	1,0409	0,718
25	1,04066	0,718
26	1,04094	0,718
27	1,04115	0,718
28	1,04143	0,719
29	1,04186	0,719
30	1,04214	0,719
31	1,04232	0,719
32	1,04241	0,719

Tabela 67. Caso 9 - Tensões nos barramentos

Barramento	Tensão	
	p.u.	kV
Saída MT	1,03821	20,764
Painél de Interligação	1,00725	64,464

Barramento	Produção	
	MW	MVAr
Subestação Chafariz	-6,22	-9,6

Tabela 68. Caso 9 - Balanço de potência

Perdas Activas (MW)	0,0492
----------------------------	--------

Tabela 69. Caso 9 - Perdas activas

Neste caso, as baterias asseguram o fornecimento de reactiva, possibilitando aos geradores a redução do valor de tensão.

Em conclusão, é necessário realçar a importância destas análises para a entidade responsável pela exploração. É do interesse da mesma produzir o máximo de reactiva, uma vez que esta é remunerada. Da mesma forma, nas horas fora de vazio o Parque terá que produzir 40% de activa, caso contrário será penalizado. Com base nestas simulações e sem recurso a cálculos, as baterias a aplicar serão, por volta dos 9MVAr.

Este valor encontra-se em concordância com valor calculado em projecto.

As perdas podem ser comparadas usando os gráficos em baixo:

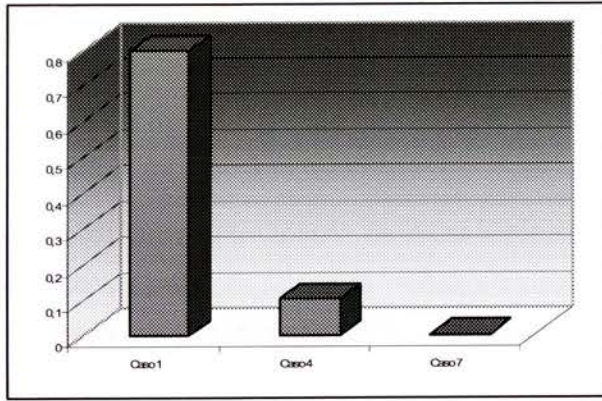


Figura 21. Perdas activas - Produção de potência activa

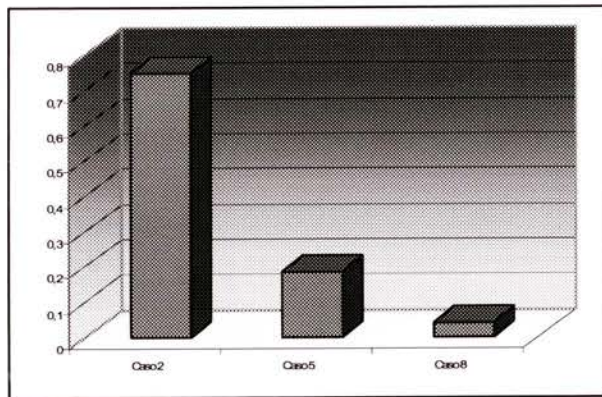


Figura 22. Perdas activas - Produção de potência activa e reactiva

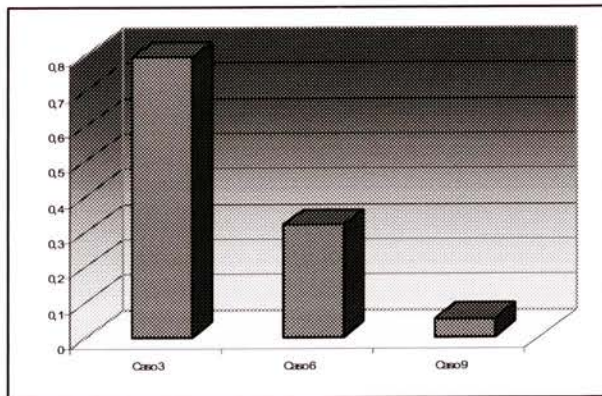


Figura 23. Perdas activas - Produção de potência activa e reactiva (c/ bateria de condensadores)

Como se verifica, o valor das perdas activas diminui, logicamente, com a diminuição de produção dos aerogeradores. Os casos que foram comparados são para situações de vento distintas mas forçando os aerogeradores às suas produções máximas.

A reactiva, é uma grandeza dependente do módulo da tensão o que é visível pela análise de perdas entre os casos comparáveis. Quando os aerogeradores são forçados a produzir o máximo de reactiva, as tensões nos barramentos aumentam, o que requer especial cuidado relativamente ao gerador cuja tensão é de $690V \pm 10\%$.

6. Análise das condições de ligação à rede

6.1. Descrição resumida da ligação à rede

A ligação à rede do Parque Eólico passa por um conjunto de etapas sequenciais. Estas regem-se por um conjunto testes e ensaios a pôr em prática no sentido de verificar o correcto funcionamento de todo o Parque, com especial atenção às questões de segurança de pessoas e equipamentos. Este processo inicia-se na ponto de interligação com a rede que coloca em tensão a linha. O valor de tensão é confirmado no painel de interligação por intermédio dos TT's. Procede-se ao fecho do disjuntor e a colocação em tensão do transformador, seguindo-se a inserção dos aerogeradores.

Nos pontos seguintes faz-se uma descrição dos pontos a analisar no que diz respeito à ligação à rede do Parque.

6.2. Colocação em tensão da subestação

A colocação em tensão do subestação é o primeiro passo na ligação à rede. Uma vez verificado que o a subestação está em tensão inicia-se o protocolo de teste e ensaio que descreve no ponto seguinte.

6.2.1. Protocolos de ensaio em vazio da subestação

Verificações Iniciais

- ❖ Todos os equipamentos de segurança estão disponíveis e facilmente acessíveis.
- ❖ Inspeção visual geral comprovando a inexistência de manchas de óleo na aparelhagem e outras anomalias.
- ❖ Os relés dos transformadores de tensão estão fechados.
- ❖ Os relés dos circuitos de fecho e disparo estão fechados.
- ❖ Regulador de tomadas do transformador de potência em "REMOTO".
- ❖ Relé do regulador em automático.

- ❖ Comprovação que todos os ajustes das protecções correspondem à última versão de engenharia.
- ❖ Todos os equipamentos de protecção estão operacionais.
- ❖ Todas as alavancas de accionamento estão acessíveis
- ❖ Todos os elementos de manobra devem:
 - a) Estar remoto;
 - b) Inexistência de qualquer bloqueio tal como passadores de manivela, etc.;
 - c) As molas estão carregadas;

Estado Inicial

- ❖ Não existem terras portáteis instaladas.
- ❖ Seccionadores da linha AT 89 e terra AT 57 Abertos.
- ❖ disjuntor AT 52 aberto.
- ❖ Seccionadores MT de reactância fechados.
- ❖ Seccionador-Fusível de BT aberto.
- ❖ Tomada da reactância em posição 21000V/31500V.
- ❖ Grupo Electrogéneo:
 - a) Comutador dos serviços auxiliares em posição "grupo".
 - b) 52TSA fechado.
 - c) Rectificador em funcionamento.
- ❖ Todos os equipamentos de protecção e controlo dos circuitos de corrente contínua e alterna ligados.
- ❖ Inexistência de disparos e de alarmes importantes em todos os dispositivos de protecção e controlo.

Manobras

- ❖ A subestação é evacuada excepto as pessoas responsáveis pelas manobras.
- ❖ Colocação dos seccionadores segundo especificações da companhia. Em caso de ausência de especificações, estarão abertos.
- ❖ Esperar pela tensão na linha. Comprovar o nível de tensão e a sequência de fases se a configuração dos TT's assim o permitir. Esta confirmação deve realizar-se depois de cada manobra.
- ❖ Fechar o seccionador da linha e comprovar o nível de tensão e a sequência de fases nos secundários dos TT's.
- ❖ Confirmar a ausência de disparos nos relés e a correcta medição de tensão em todos os equipamentos..
- ❖ Fechar o disjuntor 52 do transformador. **Colocação do transformador em vazio.** Parecer positivo do fabricante (está presente).
- ❖ Confirmação das lâmpadas detectoras de tensão na cela do transformador de potência
- ❖ Ensaio em vazio da BT:
 - a) Confirmação do nível de tensão e sequência de fases₁ na caixa dos fusíveis.
 - b) Desligar o rectificador.
 - c) Fechar os fusíveis.
 - d) Confirmar tensões no armário de serviços auxiliares. A tensão ronda os 220/235V. Caso seja diferente, regular através das tomadas do transformador de serviços auxiliares, o valor de tensão e repetir a confirmação do valor de tensão. Cumprir com as "5 regras de ouro para trabalhos em tensão".
 - e) Ligar rectificador

1 A sequência de fases deve ser verificada na BT, devido ao motor referente às tomadas do transformador de potência. Em caso de sequência trocada ele terá uma resposta de funcionamento oposta ao requerida.

f) Confirmar o correcto sentido de rotação da ventilação auxiliar do transformador de potência.

❖ Colocação em tensão das barras de MT:

- a) Fechar as barras do seccionador da cela do transformador de potência.
- b) Fechar o disjuntor de celas energizando as barras.
- c) Confirmar o nível de tensão e a sequência de fases em todos os equipamentos.
- d) Actuar sobre as tomadas do regulador em modo manual, passando posteriormente a automático, verificando se se reestabelece automaticamente.
- e) Permitir o transformador em funcionamento, durante o tempo autorizado pelo fabricante.

6.3. Colocação em tensão dos aerogeradores

6.3.1. Protocolo de teste das celas de MT dos aerogeradores

❖ Colocação em tensão do circuito MT de alimentação dos Aerogeradores

- a) Confirmar que todas as celas dos aerogeradores estão abertas.
- b) Confirmar com o responsável da PEM dos aerogeradores que todos os elementos de baixa tensão estão em condições de ser colocados em tensão.
- c) Confirmar que a cela de derivação do aerogerador está colocada à terra
- d) Repetir as operações para cada um dos ramos
- e) Deixar as celas em tensão e em vazio durante 1h.

6.3.2. Protocolo de ensaio em vazio dos aerogeradores

Uma vez que as celas de MT dos aerogeradores do Parque Eólico são todas iguais, descreve-se seguidamente o processo de colocação em tensão do Aerogerador 2.

- Realização de comprovações prévias excepto à tensão de 690V.
- Fechar interruptor-seccionador 20 kV de saída do aerogerador 1 para o 2.
- Comprovar chegada de tensão ao aerogerador 2 (Cela de chegada).
- Abrir interruptor-seccionador 20 kV (cela de circuito 1) na subestação.
- Fechar interruptor-seccionador cela do transformador de 20 kV do aerogerador 2.
- Fechar interruptor-seccionador 20 kV (cela de circuito 1) na subestação.
- **Aerogerador 2 – Colocado em tensão**
- Realização de comprovações prévias a 690V

7. Análise de um sistema de monitorização e controlo, via Internet (SGIPE)

Neste capítulo será abordado o funcionamento do SGIPE, bem como uma visão geral de conceitos básicos importantes na sua implementação.

7.1. Introdução

O SGIPE, sistema de gestão integral de Parques Eólicos, é um sistema de controlo remoto, capaz de controlar o Parque Eólico de Videmonte.

7.1.1. Termos e Definições

Um sistema desta envergadura tem inúmeras funções por isso um resumo objectivo de abreviaturas e definições é importante para uma correcta compreensão.

PLC – Programmable Logic Control

SAPE – Sistema de Área de Parques Eólicos

SET – Subestação Eléctrica

SLPE – Sistema Local de Parques Eólicos

SGIPE – Sistema de Gestão Integral de Parques Eólicos

Rede de Promotores Eólicos

Rede de comunicações que suporta a ligação entre os postos centrais ou SAPE e os parques eólicos.

Consiste numa rede mista terrestre-satélite, serviço fornecido pela empresa de telecomunicações.

A rede satélite interliga o parque eólico a uma central da companhia de telecomunicações enquanto que a rede terrestre interliga o nó central da companhia de telecomunicações ao promotor do parque eólico.

SAPE

O sistema central ou de área é formado por um conjunto complexo de operações que formam o centro de operações que possibilita a supervisão centralizada dos parques eólicos a serem controlados pelo promotor.

As duas funções principais de um sistema central são: posto supervisão geral e o posto de supervisão do parque eólico.

posto supervisão geral – pode controlar, simultaneamente, o estado de um parque eólico a partir de um promotor bem como as suas variáveis principais.

posto de supervisão do parque eólico – possibilita a interligação ao parque eólico e operar da mesma forma como se o posto fosse SLPE na SET do parque eólico.

O postos do sistema central estão interligados à rede local e aos parques eólicos através da rede de promotores de parque eólicos.

SLPE

O sistema local de um parque eólico é basicamente um software baseado em SCADA que possibilita supervisionar variáveis na estrutura do parque (aerogeradores, torre meteorológica e subestação), efectuar cálculos sobre dados de exploração do parque, gerar relatórios a pedido do utilizador, controlar alarmes que tenham sido activados e controlar estados básicos das máquinas e da subestação.

Para integrar totalmente este sistema é também necessário algum hardware.

7.2. Descrição geral

7.2.1. Arquitectura geral do sistema

Como se vê pela fig.21 (arquitctura geral), o SGIPE, é constituído por rede de parques eólicos interligados a um centro de operações que pertence ao promotor ou aqueles responsáveis pela manutenção do parque eólico.

Os postos locais (SLPE) são unidades de controlo remoto instaladas na subestação e supervisionam aspectos relevantes do parque como turbinas, torres meteorológicas, e subestação. Eles incluem também uma ferramenta informativa de produção para ser usada dentro dos limites do parque eólico.

Os postos centrais ou SAPE, são os centros de operações dos promotores onde é efectuada uma supervisão contínua dos parques eólicos. A partir destes são também tomadas decisões sobre a gestão e

operação do parque eólico, decisões essas baseadas em dados recebidos dos parques. Aqui estão disponíveis um conjunto de ferramentas para uma gestão óptima de informação, como configuração e execução de relatórios informativos automáticos.

Por último, a rede de comunicações de promotores dos parques eólicos, é uma combinação entre transmissão via satélite e rede terrestre.

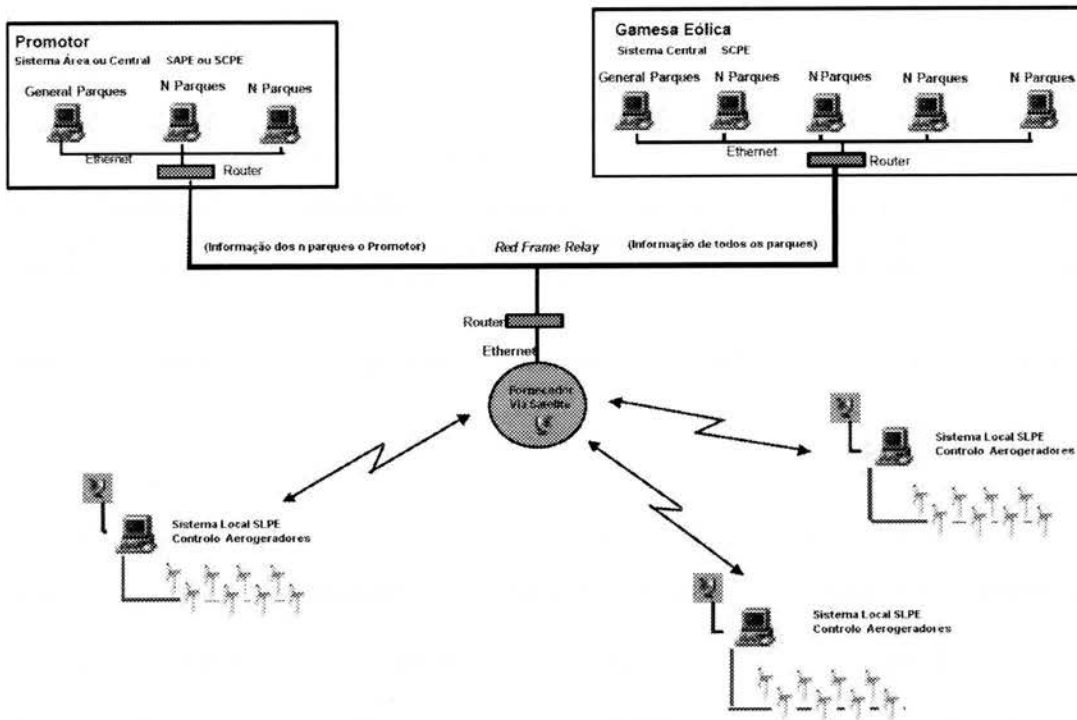


Figura 24. Esquema Arquitectura Geral

7.2.2. SLPE

O sistema local é uma unidade combinada de hardware/software que permitem a monitorização dos elementos do parque eólico como: Aerogeradores, torres meteorológicas e subestação.

Estas unidades também funcionam como um servidor de dados para aplicações de acesso remoto (SAPE e outros).

Consequentemente, a unidade SLPE, possui adicionalmente ao PC, hardware que permitem a comunicação com outros equipamentos, tais como: modems, antenas e cartões multi-porta.

As suas principais funções e aplicações são:

- Monitorização dos dados instantâneos das máquinas
- Monitorização dos dados instantâneos das torres meteorológicas

- Monitorização dos dados instantâneos da subestação
- Controlo sob as máquinas
- Controlo sob a subestação
- Cálculo de produção e disponibilidade
- Gestão de alarmes com notificação para fax ou telemóvel
- Gerador de relatórios informativos
- Gestão de utilizadores

7.2.2.1. Arquitectura

A arquitectura básica do sistema pode ser analisada na fig.22. Aqui pode ver-se os componentes que interligam o PC e o SPLE.

Cartão Multit-port ligado à porta série da unidade central da subestação (UCS) e os cartões AK9063 que ligam aos ramais.

Através da porta de Ethernet é estabelecido comunicação via satélite.

O modem GSM é conectado através de COM2 para avisos curtos de alarmes das máquinas.

A arquitectura básica da aplicação SPLE pode ser vista na caixa vermelha da fig.22

Como se pode analisar, a aplicação é baseada num SCADA comercial denominado CITECT. Este SCADA tem a particularidade de ser o mais indicado para aplicações do tipo SPLE.

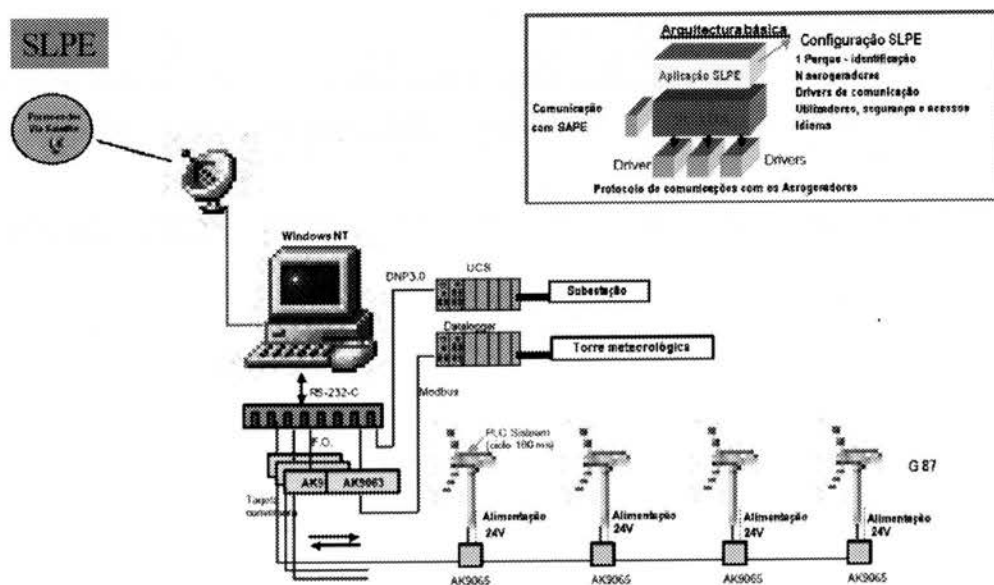


Figura 25. Esquema Arquitectura SLPE

7.2.3. SAPE

O sistema central consiste numa unidade hardware/software que supervisiona os parques eólicos de um posto central de operações.

Este posto central será localizado nas sedes dos promotores ou no Departamento de serviços da Gamesa Eólica.

As decisões e acções tomadas neste posto central são:

- Supervisão simultânea do estado de diversos parques eólicos de um posto de controlo
- Supervisão de diferentes parques eólicos de vários postos de controlo
- Análise de informação recebida: Detecção de problemas, dados estatísticos,...
- Geração de relatórios informativos automáticos e manuais.

Para se desenvolver actividades de exploração e manutenção do parque eólico desde um centro de operações, o sistema proporciona ferramentas precisas para utilizar de forma otimizada todos os dados necessários. Realça-se: análise de variáveis, relatórios informativos, estudos regulares comparativos.

Estas ferramentas proporcionam:

- Captura automática de dados de um parque eólico
- Geração automática de relatórios informativos

7.2.3.1. Arquitectura

A Constituição básica deste sistema pode ser analisada através da fig.23.

Existem 3 postos de supervisão, analisados de seguida.

Posto de monitorização geral

Tem como objectivo visualizar simultaneamente o estado e as principais variáveis de cada um dos parques eólicos controlados pelo centro de operações. É um posto útil para os promotores com vários parques eólicos.

Posto de monitorização do parque

Possibilita a ligação a um parque eólico e monitorizando-o de igual forma como se localizado na subestação. O número de parques eólicos a monitorizar depende do promotor.

Posto de análise de informação

Possibilita o processamento de dados recebidos através do posto de monitorização geral.

É possível gerar relatórios informativos, tratar dados de tendência e históricos.

A sua constituição passa por uma ferramenta de geração de relatórios, uma componente que permite exportar dados de tendências em formato de SCADA para texto e também se instalará um cliente SGIPE de forma a permitir visualizar e exportar os dados de tendência e históricos para excel.

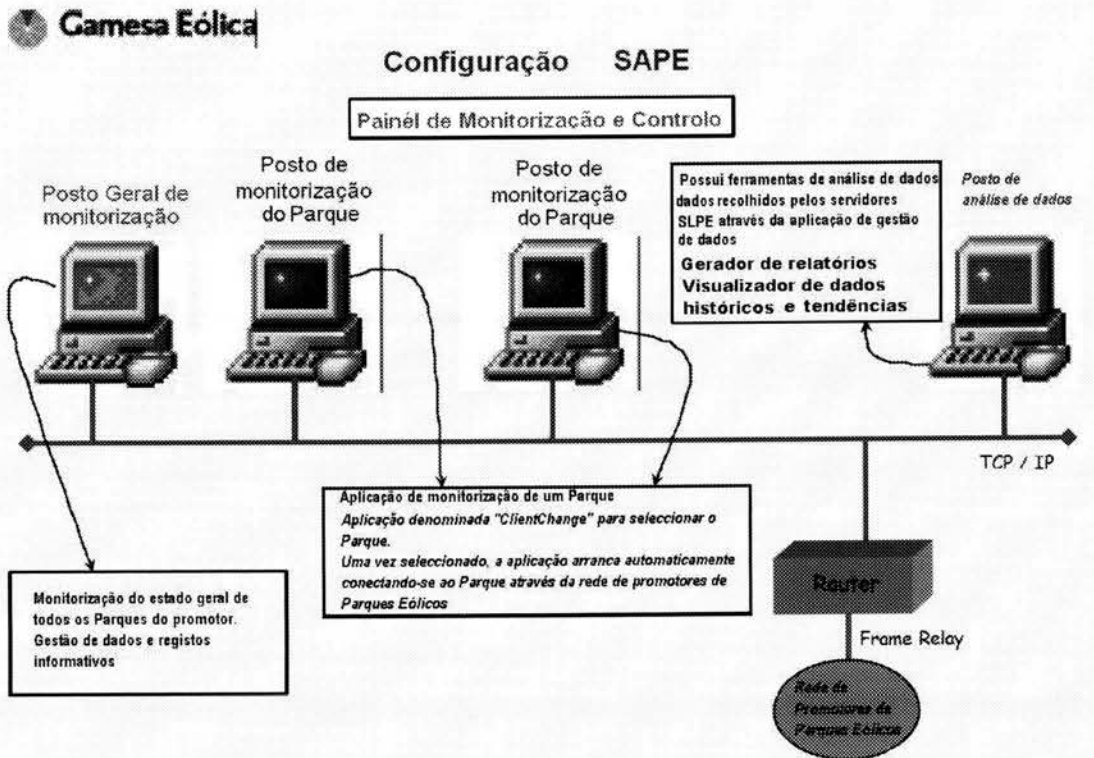


Figura 26. Esquema Arquitectura SAPE

7.2.3.2. Funções Básicas

- Os sistemas SAPE são formados por vários postos de monitorização sobre uma rede TCP/IP.
- O número de postos será escalado pelo promotor (se um promotor tiver mais do que um parque eólico, é recomendado um posto de monitorização geral).
- No posto de monitorização geral, o estado geral de todos os parques eólicos e todos as suas principais variáveis podem ser monitorizadas simultaneamente.

Um parque eólico pode estar nos seguintes estados: normal, pausa e emergência sendo possível determinar, online, o número de máquinas que levam o parque a um estado de emergência.

É possível determinar o número de máquinas que levam o Parque a um estado de pausa.

- No posto de monitorização do parque eólico, o parque é monitorizado como se a aplicação fosse executada localmente (subestação). A interface é a mesma que a do SLPE.

- São disponibilizadas ferramentas para:
 - a) Armazenamento de dados dos parques eólicos
 - b) Geração de relatórios informativos

- Comunicação com o servidor do parque eólico

- Conexão da rede local do promotor com rede IP terrestre, por intermédio de um router.

7.3. Rede do parque eólico

A rede do parque eólico é uma mistura de rede satélite e rede terrestre.

No que diz respeito à rede satélite, esta refere-se a toda a rede que interliga os parques eólicos com a central telefónica e daí a uma rede terrestre.

As razões pelas quais se opta por uma rede vi satélite, prendem-se ao facto:

- a) Proporcionam uma solução global, independentemente das particularidades dos clientes.
- b) Eliminam-se os problemas de cobertura.
- c) permite uma comunicação ininterrupta com alta disponibilidade e largura de banda suficiente.

A rede terrestre interliga a central telefónica com o centro de operações do promotor.

Relativamente a esta rede, realçam-se as seguintes vantagens:

- a) Proporcionam uma solução forte e extensamente implementada nas zonas urbanas onde estão situados os centros de operações.
- b) Minimizam os custos da solução.

7.4. Análise da interface do sistema de monitorização e controlo

O SGIPE é um sistema de fácil utilização que permite aceder a todas as informações de um Parque. Ele permite analisar o comportamento, em tempo real, do Parque e efectuar manobras em caso de anomalia. Seguidamente apresenta-se a interface do software instalado no Parque Eólico de Videmonte.

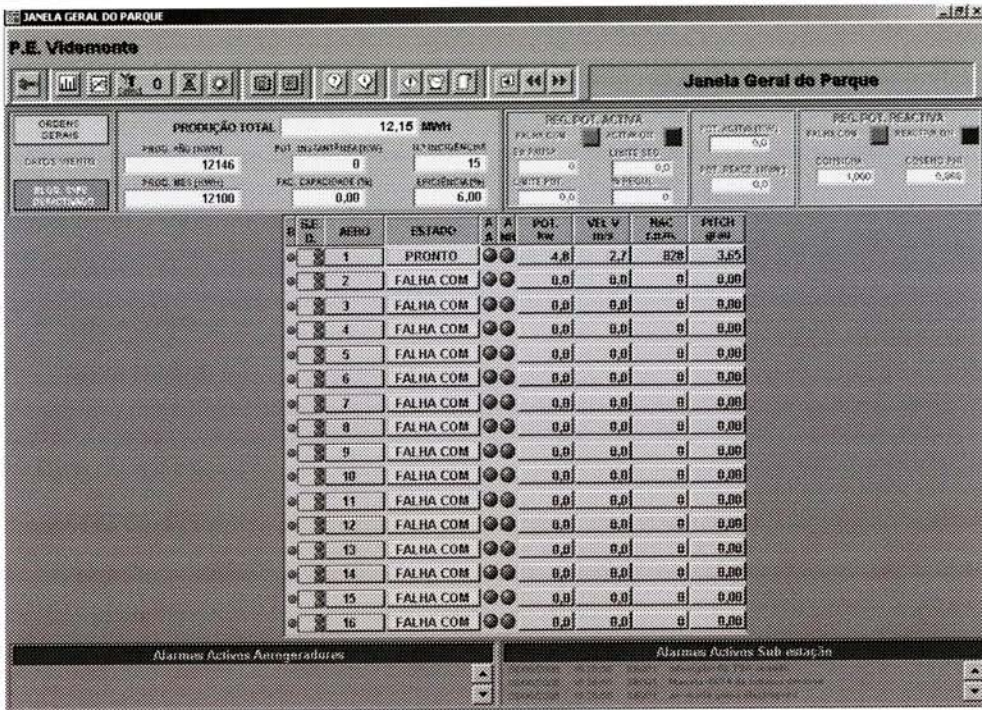


Figura 27. Janela Principal

A janela principal permite visualizar, de um modo geral, todo o funcionamento do Parque. Nela está indicado o estado de funcionamento de cada um dos aerogeradores bem como algumas das variáveis de monitorização mais importantes. A produção total do Parque, desde o momento de posta em marcha até ao momento actual, está também entre as variáveis de monitorização.

Apartir desta janela é possível aceder às informações de cada gerador, por intermédio de outra janela.



Figura 28. Janela Aerogerador

A janela de aerogerador, tem para além de informações importantes a monitorizar, funções de controlo que permitem colocar em marcha ou parar um aerogerador.

É possível ainda emitir ordem de paragem de emergência e bloqueio. Está disponível, um gráfico que correlaciona todas as grandezas mais importantes, como:

- ❖ Potência activa
- ❖ Potência reactiva
- ❖ Cos φ
- ❖ Pitch
- ❖ Velocidade do vento
- ❖ Velocidade do gerador
- ❖ Velocidade do rotor

Dentro de esta janela, pode-se aceder a janelas auxiliares que monitorizam grandezas ainda mais específicas.

- ❖ Janela da nacelle
- ❖ Janelas de temperaturas
- ❖ Janela de dados eléctricos

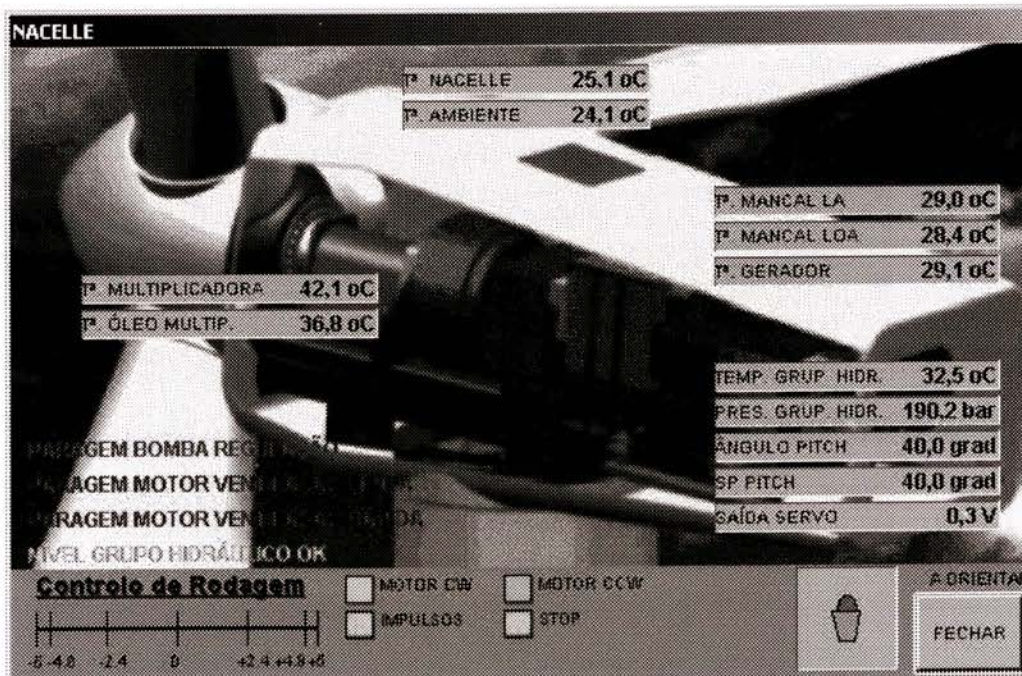


Figura 29. Janela da nacelle

A janela da nacelle permite visualizar o formato da nacelle, bem como monitorizar valores de temperatura, pitch e orientação.

TEMPERATURAS	
Temperaturas	
NACELLE	24,8 oC
MANCAL MULTIPLICADORA	42,7 oC
ÓLEO MULTIPLICADORA	36,9 oC
AMBIENTE	25,1 oC
GRUPO HIDRÁULICO	32,7 oC
MANCAL LADO ACOPLAMENTO	29,0 oC
MANCAL LADO OPÓSTO ACOPL	28,3 oC
ANEIS GERADOR	28,4 oC
TEMP. MAX. ENROLAMENTOS GER.	33,3 oC
TEMP. MAX. TRANSFORMADORES	80,9 oC
MÓDULO DE CONTROLO	42,8 oC
EMBARRADO	27,0 oC
RADIADOR SUPERIOR	28,2 oC
RADIADOR INFERIOR	28,2 oC

FECHAR

Figura 30. Janela de temperaturas

A janela de temperaturas permite dar a conhecer valores de temperaturas de todos os equipamentos do interior da nacelle, o que inclui gerador, transformador e multiplicadora. Esta janela fornece valores de temperatura referente aos motores responsáveis pela orientação da nacelle e dos barramentos.

UNIFILAR					
Dados eléctricos					
TENSÃO DE REDE	699,5 V	TEMP. ANILLOS GERADOR	30,5 oC		
FREQUÊNCIA DE REDE	50,0 Hz	VELOCIDADE DO GERADOR	899 rpm		
POTÊNCIA ESTATOR	94,2 KW	POTÊNCIA ROTOR	0,0 KW		
POTÊNCIA TOTAL	48,4 KW	TENSÃO GERADA	700,2 V		
POTÊNCIA REACTIVA	15,8 KVAR	FREQUÊNCIA GERADA	50,0 Hz		
COEF. PHI	0,949				
TEMP. MAX. ENROLAMENTOS GER.	39,9 oC	TENSÃO DE BUS	800,9 V		
TEMP. MAX. TRANSFORMADORES	84,3 oC				
Corrente eficaz					
ROTOR	114,3	ESTATOR	70,3	REDE	43,1

FECHAR

Figura 31. Janela de dados eléctricos

A nível eléctrico, é possível obter apartir desta janela todos os dados eléctricos referente aos equipamentos mais importantes do aerogeradores (correntes, potências, etc).

Este sistema de monitorização possui um registo histórico de alarmes e de estados onde é possível consultar a hora e o dia em que foi accionado um alarme. Aqui são também registadas todas as mudanças de estado.

Sumário de Alarmes/Estados						
Tag	Aerog.	Descrição	Data ON	Data OFF	Durac.	
GA286_001ST1	1	Windturbine READY	08/06/2006 17:03:50	08/06/2006 17:18:01	00:14:11	▲
GA286_001ST3	1	Windturbine RUNNING	08/06/2006 16:53:00	08/06/2006 17:03:50	00:10:50	
GA286_001ST5	1	Windturbine READY	08/06/2006 16:34:16	08/06/2006 16:53:00	00:18:44	
GA286_001ST3	1	Windturbine RUNNING	08/06/2006 16:28:50	08/06/2006 16:34:16	00:05:26	
GA286_001ST6	1	Windturbine READY	08/06/2006 16:28:01	08/06/2006 16:28:50	00:00:49	
GA286_001ST2	1	Windturbine PAUSE	08/06/2006 15:25:55	08/06/2006 16:28:01	01:02:06	▼

Figura 32. Janela de sumário de alarmes e mudança de estado

O sistema de gestão integral não monitoriza e controla apenas os aerogeradores. As suas potencialidades vão para além disso. Com ele é possível visualizar a rede de MT, a subestação e a linha de AT.

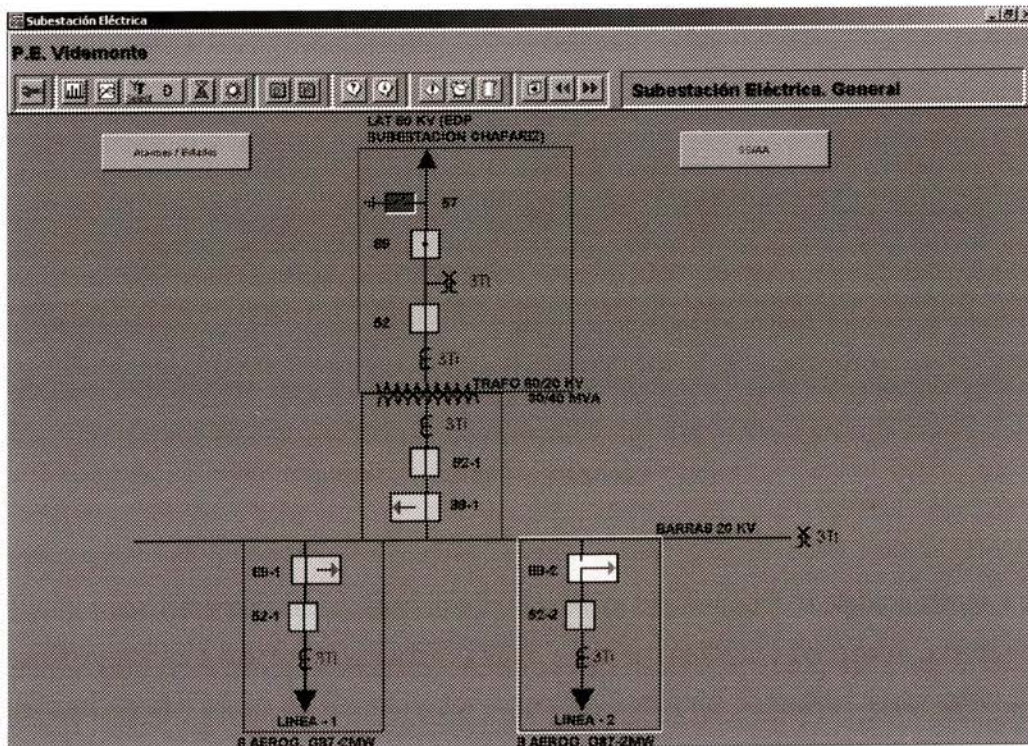


Figura 33. Janela Subestação

Através da janela principal da subestação, é possível monitorizar e controlar o funcionamento de toda a subestação. É possível aceder às celas dos circuitos e manobrar os disjuntores para manobras de manutenção ou outras. Da mesma forma, é possível aceder aos disjuntores do transformador, tanto no lado AT como no lado BT. Para além das capacidades de controlo, o SGIPE permite receber o estado dos alarmes em tempo real de diversas zonas da subestação. As manobras efectuadas, tanto nesta janela como em todas as janelas em que é possível manobrar equipamentos da subestação, o estado dos equipamentos é identificado por cores. O verde significa "passagem ou circuito fechado", o amarelo significa "ligação à terra" e o vermelho "circuito aberto"

Em baixo, é possível analisar a janela da linha de AT a 60kV. Esta permite verificar se algum alarme activado por intermédio de actuação de alguma protecção. Para além disso, pode-se ver o estado da linha, nomeadamente, o estado da aparelhagem de corte e seccionamento. Está também disponível para monitorização as grandezas principais da linha bem como contadores de energia.

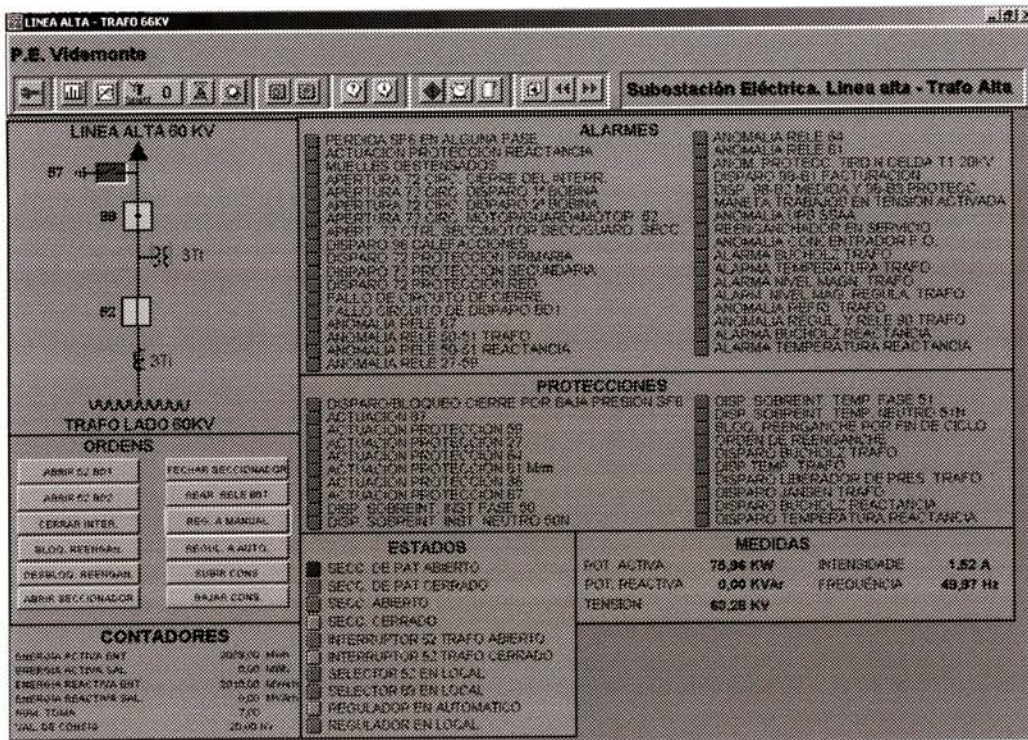


Figura 34. Janela do Transformador - lado AT

No SGIPE é possível analisar o funcionamento da lado BT do transformador de potência, desde a saída do transformador até à ligação do barramento a 20kV. A sua apresentação é semelhante ao lado de AT. A janela apresenta o estado dos alarmes e das protecções, bem como as medidas das grandezas mais importantes que fluem no lado MT.

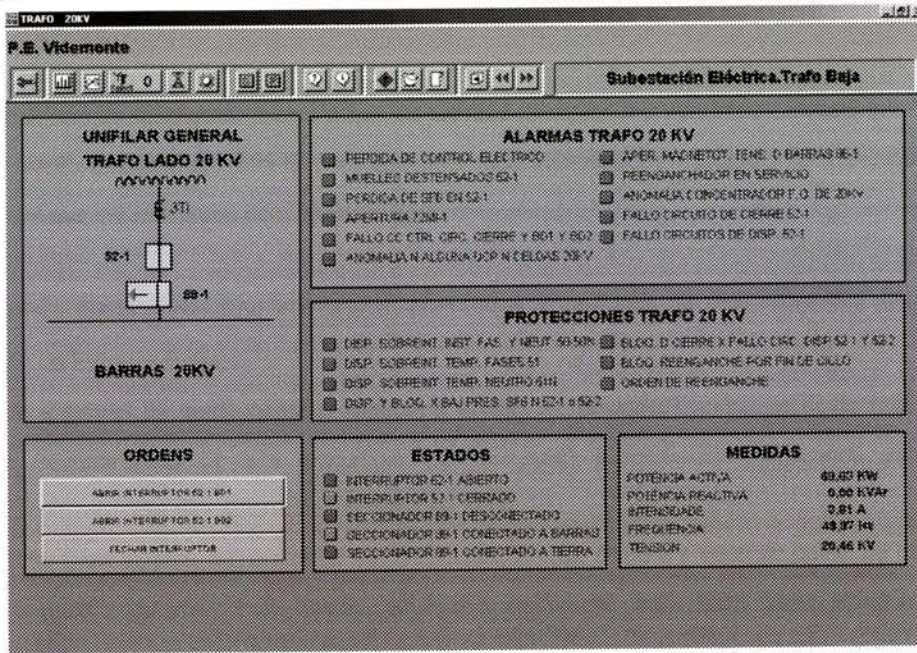


Figura 35. Janela do Transformador - lado MT

A janela de circuito é do formato apresentado em baixo. O Parque possui duas janelas iguais a esta, sendo uma para cada circuito, com a possibilidade de monitorizar e controlar o estado de cada circuito.

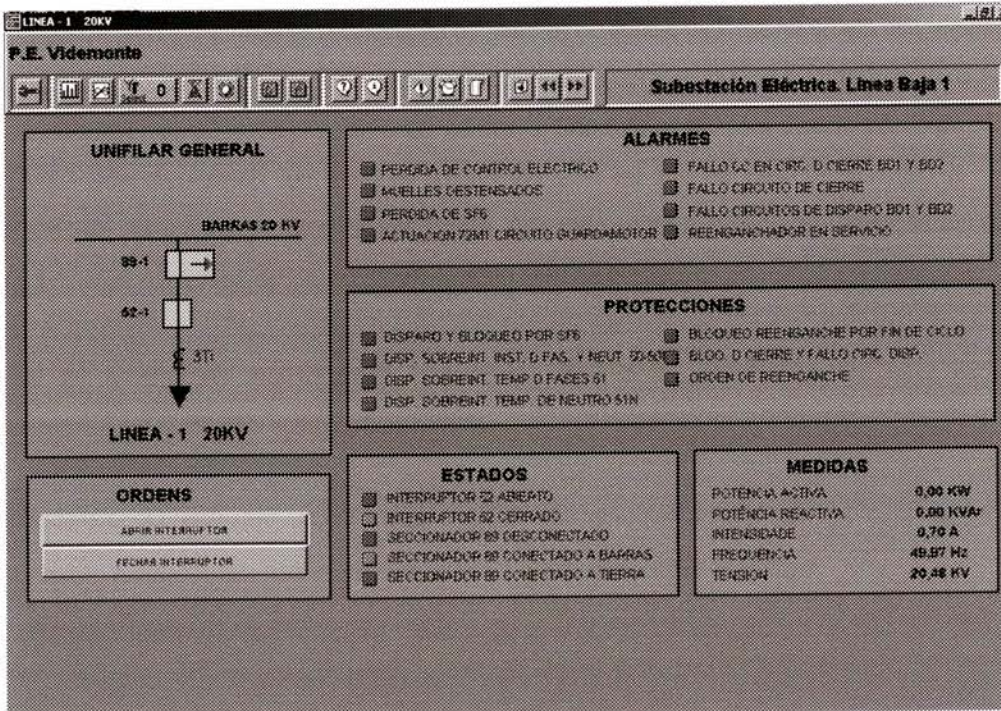


Figura 36. Janela de Circuito

Conclusões

O Parque Eólico de Videmonte é um Parque de elevado rendimento e viabilidade. Possui um número de horas de vento bastante elevado e, para que este seja aproveitado, o projecto de implementação do Parque teve que ser elaborado com bastante rigor.

O estágio efectuado possibilitou a aplicação bem como a aquisição de conhecimentos no âmbito da construção de Parques Eólicos.

A nível de sistemas de monitorização, controlo e protecção, objectivos principais deste estágio, foram aplicados equipamentos de alta tecnologia que oferecem a viabilidade necessária para o bom funcionamento, em fase de exploração, do Parque Eólico.

Aplicando-se relés digitais, em zonas de monitorização fulcrais, como é o caso do painel de interligação, é possível monitorizar valores de tensão, corrente e frequência. Para além disso, estes oferecem a protecção necessária em caso de condições de funcionamento anormais ou de defeito.

Os relés monitorizam constantemente os valores das grandezas, actuando de acordo com o programado.

A nível de condições de operação, conclui-se que o Parque não tem capacidade por si só de fornecer energia reactiva suficiente em horas fora de vazão, de acordo com o estipulado por lei (40% de P).

Por análise de projecto verifica-se a colocação de baterias de condensadores na ordem dos 9MVar. Com o estudo realizado, concluiu-se que a aplicação das baterias é necessária para o fornecimento de reactiva e que os valores propostos em projecto estão correctos. Concluiu-se também a necessidade da utilização do transformador de potência com tomadas no primário, uma vez que, em caso de produção de reactiva, as tensões do Parque sobem para valores limites. Actuando sobre a tomada de regulação em carga é possível diminuir os valores de tensão para o mesmo nível de produção.

A nível do sistema de monitorização e controlo, via Internet, concluiu-se ser uma ferramenta imprescindível para uma utilização local ou remota.

A possibilidade de controlar, não só este Parque mas também outros, permite uma facilidade de monitorização extraordinária não sendo necessária a gestão presencial do Parque.

Lista de Tabelas

Tabela 1. Peso dos elementos dos aerogeradores	7
Tabela 2. Características do gerador.....	8
Tabela 3. Características da multiplicadora	8
Tabela 4. Características do transformador.....	9
Tabela 5. Níveis de protecção do sistema de controlo	9
Tabela 6. Características gerais do sistema de controlo	11
Tabela 7. Características dos cabos MT (Pirelli Cables y Sistemas S.A.).....	15
Tabela 8. Distância entre aerogeradores.....	15
Tabela 9. Rede MT - Características	16
Tabela 10. Rede MT - Valores p.u.....	16
Tabela 11. Transformador de Potência - Características	17
Tabela 12. Transformadores de intensidade – Características	20
Tabela 13. Transformadores de tensão - Características	20
Tabela 14. Disjuntor - Características.....	22
Tabela 15. Seccionador Tripolar – Características.....	23
Tabela 16. Transformador serviços auxiliares – Características	23
Tabela 17. Ensaio de medida	41
Tabela 18. Ensaio de corrente de fase e neutro.....	41
Tabela 19. Valores para o ensaio de medida de tensão.....	44
Tabela 20. Valores para o ensaio de medida de corrente	44
Tabela 21. Valores para o ensaio de medida de corrente reactiva.....	45
Tabela 22. Ensaio do conteúdo de harmónicos.....	46
Tabela 23. Ensaio das unidades de sub/sobrefrequência	48
Tabela 24. Características do gerador nacelle	49
Tabela 25. PowerWorld - Características do transformador 0,69/20kV	50
Tabela 26. PowerWorld - Características da rede MT	50
Tabela 27. PowerWorld - Características do transformador 20/60kV	51
Tabela 28. PowerWorld - Características das baterias de condensadores	51
Tabela 29. PowerWorld - Características da linha AT 60kV	51
Tabela 30. Subestação de Chafariz - Tensão de referência.....	53
Tabela 31. Caso 1 - Níveis de produção	53
Tabela 32. Caso 1 - Tensões nos barramentos.....	54
Tabela 33. Caso 1 - Balanço de potência	54
Tabela 34. Caso 1 - Perdas activas.....	54

Tabela 35. Caso 2 - Níveis de produção	54
Tabela 36. Caso 2 - Tensões nos barramentos	55
Tabela 37. Caso 2 - Balanço de potência	55
Tabela 38. Caso 2 - Perdas activas	55
Tabela 39. Caso 3 - Níveis de produção	55
Tabela 40. Caso 3 - Tensões nos barramentos	56
Tabela 41. Caso 3 - Balanço de potência	56
Tabela 42. Caso 3 - Perdas activas	56
Tabela 43. Condições gerais	56
Tabela 44. Balanço de potência	57
Tabela 45. Tensões nos barramentos	57
Tabela 46. Caso 4 - Níveis de produção	57
Tabela 47. Caso 4 - Tensões nos barramentos	58
Tabela 48. Caso 4 - Balanço de potência	58
Tabela 49. Caso 4 - Perdas activas	58
Tabela 50. Caso 5 - Níveis de produção	58
Tabela 51. Caso 5 - Tensões nos barramentos	59
Tabela 52. Caso 5 - Balanço de potência	59
Tabela 53. Caso 5 - Perdas activas	59
Tabela 54. Caso 6 - Níveis de produção	59
Tabela 55. Caso 6 - Tensões nos barramentos	60
Tabela 56. Caso 6 - Balanço de potência	60
Tabela 57. Caso 6 - Perdas activas	60
Tabela 58. Caso 7 - Níveis de produção	61
Tabela 59. Caso 7 - Tensões nos barramentos	61
Tabela 60. Caso 7 - Balanço de potência	61
Tabela 61. Caso 7 - Perdas activas	61
Tabela 62. Caso 8 - Níveis de produção	61
Tabela 63. Caso 8 - Tensões nos barramentos	62
Tabela 64. Caso 8 - Balanço de potência	62
Tabela 65. Caso 8 - Perdas activas	62
Tabela 66. Caso 9 - Níveis de produção	62
Tabela 67. Caso 9 - Tensões nos barramentos	63
Tabela 68. Caso 9 - Balanço de potência	63
Tabela 69. Caso 9 - Perdas activas	63

Lista de Figuras

Figura 1. Curva de potência G87 - 2.0MW	12
Figura 2. Aproximação da curva de potência.....	13
Figura 3. Transformador de Potência	18
Figura 4. Descarregadores de tensão	19
Figura 5. Contador de descargas	19
Figura 6. Transformadores de intensidade	21
Figura 7. Transformadores de tensão.....	21
Figura 8. Disjuntor.....	22
Figura 9. Seccionador Tripolar.....	23
Figura 10. Transformador de serviços auxiliares	24
Figura 11. Relé de BuchHolz	24
Figura 12. Celas de MT	25
Figura 13. Celas - Painél de manobra do seccionador	26
Figura 14. Armário do Transformador de Potência.....	31
Figura 15. Armário de Interligação.....	36
Figura 16. Armário de serviços auxiliares.....	40
Figura 17. Esquema de ensaio da unidade diferencial	46
Figura 18. PowerWorld - modelo de um aerogerador.....	52
Figura 19. PowerWorld - modelo de um circuito	52
Figura 20. PowerWorld - ligação à rede do Parque Eólico	53
Figura 24. Perdas activas - Produção de potência activa.....	64
Figura 25. Perdas activas - Produção de potência activa e reactiva	64
Figura 26. Perdas activas - Produção de potência activa e reactiva (c/ bateria de condensadores).....	64
Figura 27. Esquema Arquitectura Geral	72
Figura 28. Esquema Arquitectura SLPE.....	73
Figura 29. Esquema Arquitectura SAPE.....	75
Figura 30. Janela Principal	77
Figura 31. Janela Aerogerador	77
Figura 32. Janela da nacelle.....	78
Figura 33. Janela de temperaturas	79
Figura 34. Janela de dados eléctricos	79
Figura 35. Janela de sumário de alarmes e mudança de estado	80
Figura 36. Janela Subestação	80
Figura 37. Janela do Transformador - lado AT	81
Figura 38. Janela do Transformador - lado MT.....	82
Figura 39. Janela de Circuito	82

Lista de Anexos

Anexo A: Constituição da nacelle da G87 – 2.0MW

Anexo B: PEV – Disposição dos aerogeradores

Anexo C: Esquema unifilar da rede MT

Anexo D: Esquema unifilar da Subestação

Anexo E : Descrição das celas MT (Edif. de comando)

Anexo F : Funções dos dispositivos de protecção

Anexo G : Esquema unifilar da rede de fibra óptica

Anexo H : Esquema do Parque Eólico, PowerWorld®

Referências

J. A. Peças Lopes, "Tipos de Aerogeradores. Modelização, controlo e protecções", MEEC 2005/2006

José Rui Ferreira, "Protecção de sistemas de Energia", Apontamentos da disciplina SP

C. Russell Mason, "The art and science of protective relaying", General Electric Company

http://www.generalcablecat.com/cabos_energia_dados/carac_condutores.html

<http://www.global.estgp.pt/engenharia>

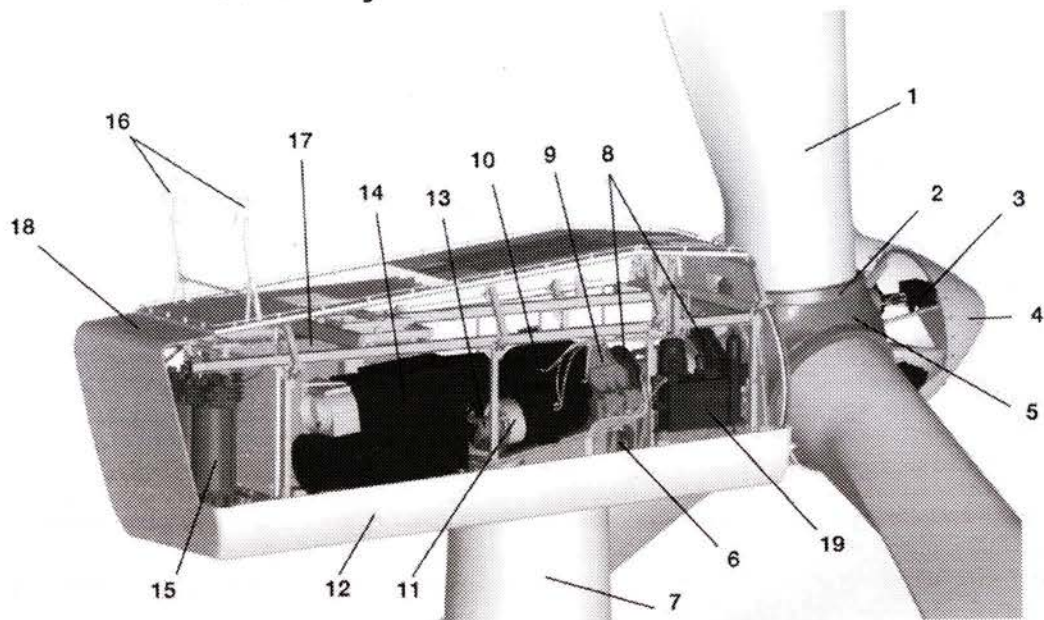
<http://www.ziv.es>

Anexos

Anexo A

Constituição da nacelle da G87 – 2.0MW

Constituição da nacelle da G87 – 2.0MW



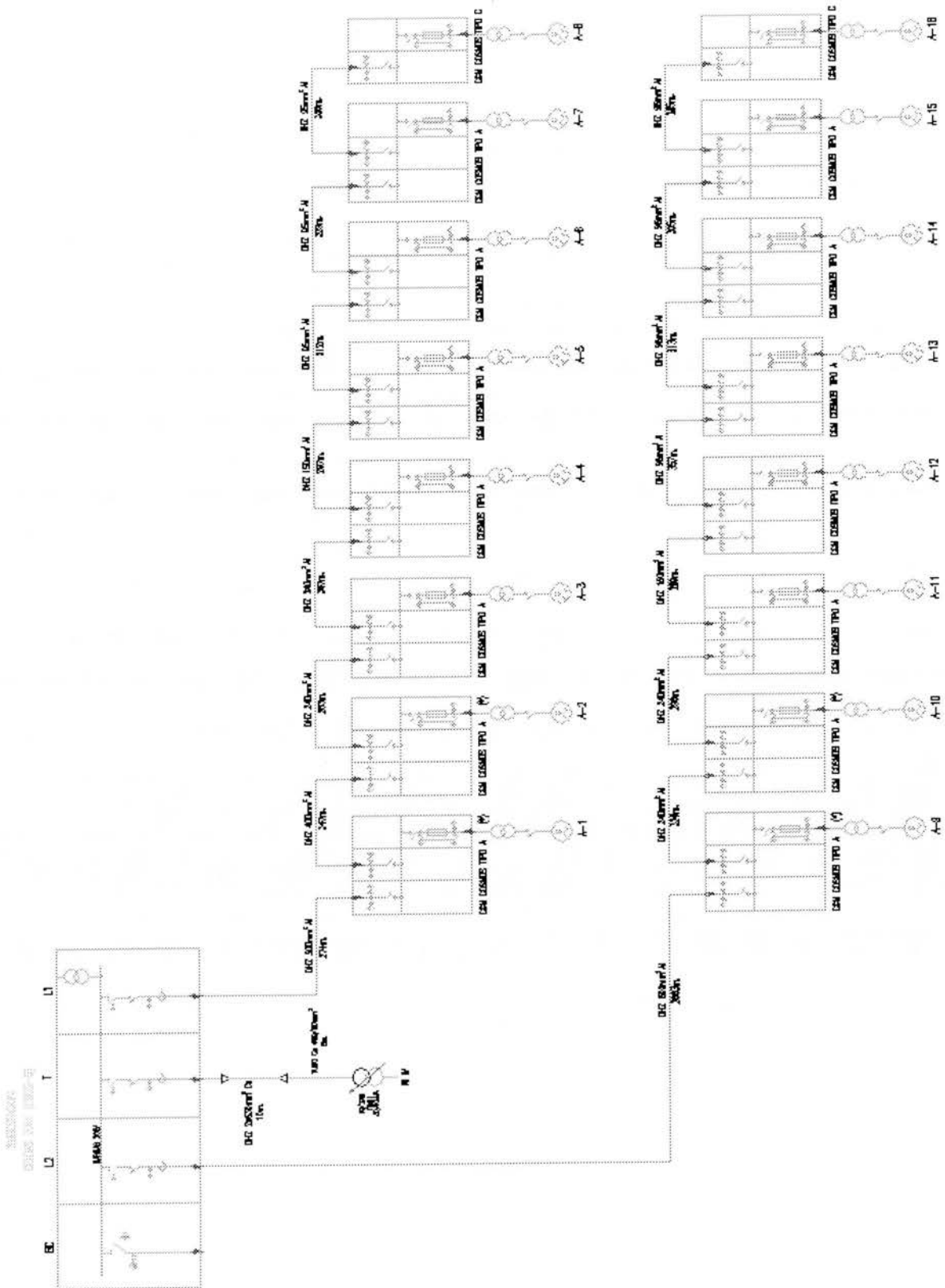
1. Pá
2. Rolamento da pá
3. Controlador hidráulico do pitch
4. Cobertura do hub
5. Hub
6. Controlador de orientação
7. Torre
8. Rolamento Principal
9. Eixo principal
10. Multiplicadora
11. Travão de disco principal
12. Suporte da nacelle
13. Eixo de ligação
14. Gerador Assíncrono duplamente alimentado
15. Transformador
16. Anemómetro
17. Painel de Controlo
18. Cobertura da nacelle
19. Unidade hidráulica

Anexo B

PEV – Disposição dos aerogeradores

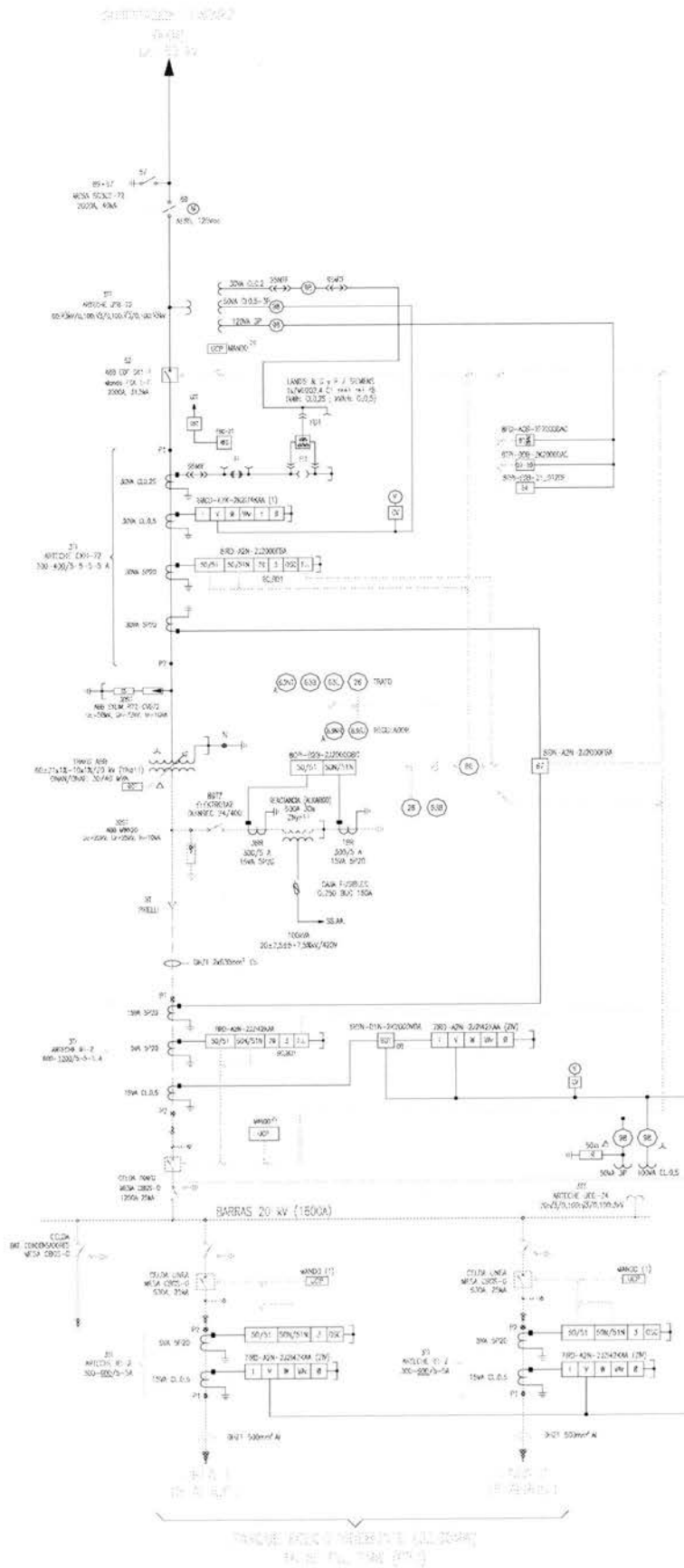
Anexo C

Esquema unifilar da rede MT



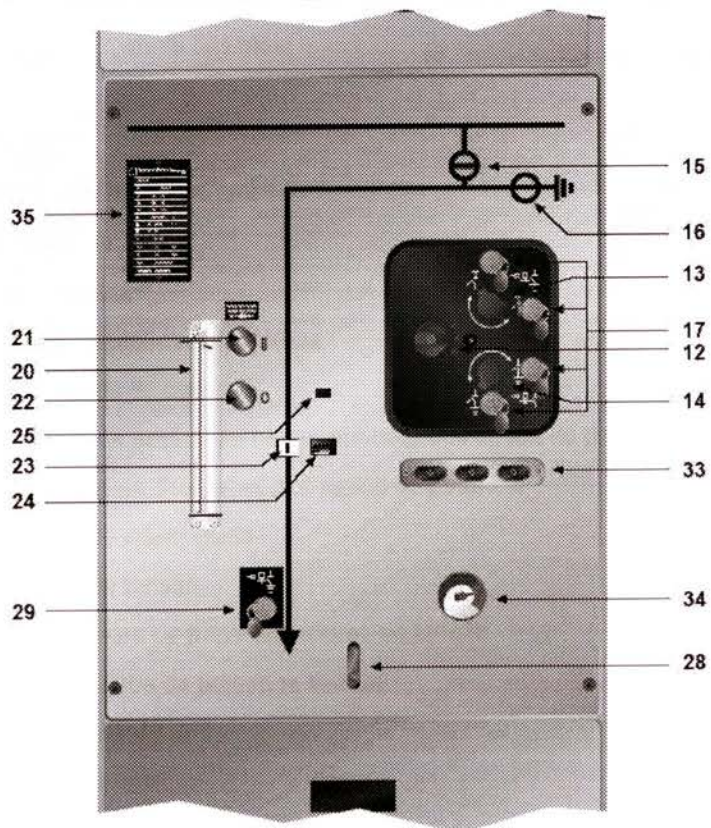
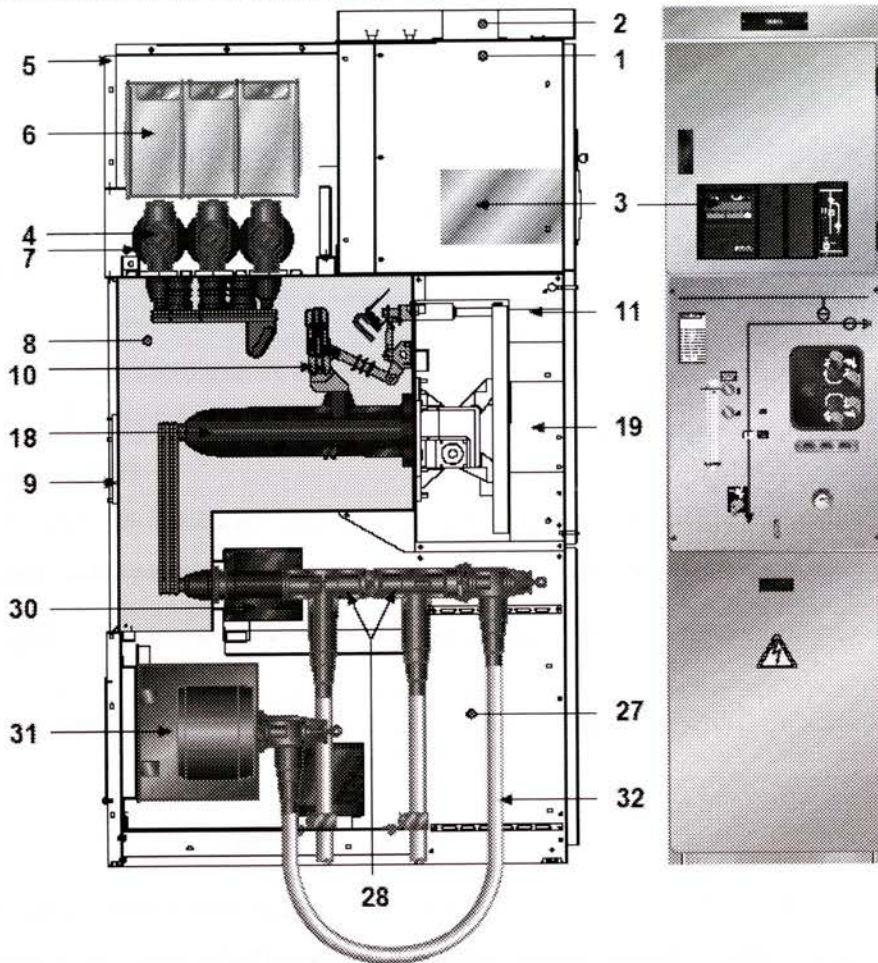
Anexo D

Esquema unifilar da Subestação



Anexo E

Descrição das celas MT (Edif. de comando)



1. Caixa de BT
2. Calha para cabos BT
3. Relé de monitorização e controlo
4. barramento principal com isolamento sólido unipolar e janela exterior de colocação à terra
5. Fecho do compartimento do barramento principal
6. Transformadores de tensão
7. Transformadores toroidais de corrente
8. Cuba metálica isolada a SF6
9. Escape de gases
10. Seccionador de 3 posições
11. Comando do seccionador
12. Selector do comandor do seccionador
13. Selector seccionador: aberto/fechado
14. Selector terra: aberto/fechado
15. Indicador Seccionador: aberto/fechado
16. Indicador terra: aberto/fechado
17. Fechaduras de bloqueio
18. Disjuntor automático
19. Comando do disjuntor automático
20. Acesso para carga manual das mola
21. Botão de fecho
22. Botão de abertura
23. Indicador de posição: aberto/fechado
24. Carga das molas
25. Contador de manobras
26. Compartimento dos cabos de potência
27. Terminais dos cabos de potência
28. Manípulo da porta de acesso ao compartimento dos cabos de potência
29. Fechadura de bloqueio das terras dos cabos de potência
30. Transformadores de intensidade
31. Transformadores de tensão
32. Pontes de ligação para os transformadores de tensão
33. Indicadores capacitivos de presença de fase
34. Manómetro indicador de SF6
35. Chapa de características

Anexo F

Funções dos dispositivos de protecção

Funções dos Dispositivos de Protecção

27 – Relé de mínimo de tensão. Valor típico: 0,95 p.u.

50 – Relé instantâneo de sobreintensidade e de aumento de intensidade. É activado instantaneamente com um valor excessivo ou com uma subida rápida da corrente.

50N – Relé instantâneo para defeitos à terra.

51 – Relé temporizado de sobreintensidade com característica de tempo definida sendo em geral, de característica inversa.

51N – Relé temporizado para defeitos à terra.

59 – Relé de máximo de tensão. Valor típico: 1,1 p.u.

81 – Relé de máximo e mínimo de frequência.

87 – Relé de protecção diferencial

90 – Relé de regulação

Anexo G

Esquema unifilar da rede de fibra óptica

Anexo H

Esquema do Parque Eólica, PowerWorld®



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000105238