



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Projeto de Instalação de uma Turbina de Vapor

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

Autor

Amândio Marques Jorge Ginja

Orientador

Professor Doutor José Carlos Góis

Júri

| | |
|-------------------|--|
| Presidente | Professor Doutor Ricardo António Lopes Mendes Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra Professor Doutor José Carlos Miranda Góis Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira da Silva |
| Vogais | Ribeiro Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra |

Coimbra, Janeiro, 2015

Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento.

Ao Professor Doutor José Carlos Góis,
Pela disponibilidade e orientação que me transmitiu.

Ao Professor Doutor Amílcar Lopes Ramalho,
Pela amizade e incentivo no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Doutor Armando Lopes Ramalho,
Pela amizade e incentivo no desenvolvimento deste trabalho.

À minha família,
Pelo apoio e compreensão durante e execução do trabalho.

Resumo

O objetivo deste trabalho é apresentar todas as fases do Projeto de Instalação de uma Turbina a Vapor.

A metodologia seguida no trabalho segue, aproximadamente, o desenvolvimento cronológico dos trabalhos executados ao longo de todo o projeto, realçando os objetivos específicos, dificuldades e resultados mais relevantes, enquadrando-os, sempre que possível, com as melhores práticas descritas em normalização de referência aplicável, como garantia de qualidade na instalação da turbina.

Com este trabalho procura-se contribuir para a partilha de experiências, dificuldades e alguns resultados obtidos, associadas a projetos estratégicos da indústria Portuguesa, que permitam a prevenção de erros e a melhoria contínua de processo de Gestão de Projetos: desde o estudo inicial, às fases de pré-manutenção e avaliação de resultados.

Palavras-chave: Turbina, Vapor, Energia, Eficiência, Segurança, Manutibilidade.

Abstract

The objective of this paper is to present all stages of installation project of a Steam Turbine.

The methodology used in the work follows approximately the chronological development of the work performed throughout the project, highlighting the specific objectives, difficulties and most relevant results, framing them, whenever possible, with the best practices described in the reference standards applicable, needed for a quality assurance in the turbine installation.

This work seeks to contribute up to share experiences, difficulties and some results, associated with strategic projects of Portuguese industry, enabling the prevention of errors and continuous improvement of project management process: from the initial study till the stages related to pre-maintenance and evaluation of results.

Keywords Turbine, Steam, Power, Efficiency, Safety, Maintainability.

Índice

| | |
|---|------|
| Índice de Figuras | vi |
| Índice de Tabelas | viii |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Enquadramento do Trabalho | 1 |
| 1.2. Descrição do Processo Fabril | 1 |
| 2. ANÁLISE DE PROCESSO E OPÇÃO DE AQUISIÇÃO DA TURBINA | 3 |
| 2.1. Análise do Processo de Produção e Consumo de Vapor | 3 |
| 2.2. Requisitos de Aquisição e Opção de Compra da Turbina | 4 |
| 3. CARACTERÍSTICAS DA TURBINA | 6 |
| 3.1. Descrição da Turbina | 6 |
| 3.1.1. Turbina | 6 |
| 3.1.2. Alternador | 7 |
| 3.2. Características Funcionais da Turbina | 8 |
| 3.2.1. Características de Funcionamento | 8 |
| 3.2.2. Descrição do Funcionamento da Turbina | 11 |
| 3.3. Fabrico da Turbina | 11 |
| 3.3.1. Plano de Fabrico | 11 |
| 3.3.2. Teste de Funcionamento em Fábrica (<i>Test Run</i>) | 13 |
| 4. PROJECTO E EXECUÇÃO DAS INFRAESTRUTURAS PARA A INSTALAÇÃO DA TURBINA | 15 |
| 4.1. Projeto e Execução Civil das Infraestrutura | 15 |
| 4.1.1. Local de Implantação da Nova Turbina | 15 |
| 4.1.2. Projeto da Base da Turbina | 16 |
| 4.1.3. Execução da Obra Civil | 19 |
| 4.2. Projeto e Execução de Interligações Mecânicas | 20 |
| 4.2.1. Descrição das Interligações Mecânicas Existentes | 20 |
| 4.2.2. Requisitos para o Projeto de Interligações | 23 |
| 4.2.3. Projeto de Linhas de Vapor | 26 |
| 4.2.4. Execução das Linhas de Vapor | 35 |
| 5. MONTAGENS E COMISSIONAMENTO DA TURBINA | 46 |
| 5.1. Montagem das Infraestruturas e da Turbina | 46 |
| 5.1.1. Montagem da Turbina | 46 |
| 5.1.2. Montagem das Infraestruturas | 51 |
| 5.2. Comissionamento da Turbina | 53 |
| 5.2.1. Requisitos de Início de Comissionamento | 53 |
| 5.2.2. Descrição das Fases de Comissionamento | 54 |
| 6. FORMAÇÃO | 62 |
| 6.1. Requisitos de Sucesso para a Formação | 62 |
| 6.2. Documentação de Projeto para Formação | 62 |

| | |
|--|----|
| 7. PRÉ-MANUTENÇÃO | 65 |
| 7.1. Nomenclatura Processual e Técnica | 65 |
| 7.2. Plano de Lubrificação | 66 |
| 7.3. Plano de Inspeções | 66 |
| 8. Conclusões..... | 68 |
| 8.1. Recomendações | 68 |
| 8.2. Plano de Execução | 70 |
| LISTA DE NORMAS E LEGISLAÇÃO USADAS NA ELABORAÇÃO DO PROJETO | 71 |
| ANEXO A | 73 |
| ANEXO B | 74 |
| ANEXO C | 75 |
| ANEXO D | 76 |
| ANEXO E..... | 77 |
| ANEXO F..... | 78 |
| ANEXO G | 79 |
| ANEXO H | 80 |
| ANEXO I..... | 81 |
| ANEXO J..... | 82 |
| ANEXO K | 83 |
| ANEXO L..... | 84 |
| ANEXO M..... | 85 |
| ANEXO N | 86 |
| ANEXO O | 87 |
| ANEXO P..... | 88 |
| ANEXO Q | 89 |
| ANEXO R | 90 |
| ANEXO S..... | 91 |
| ANEXO T..... | 92 |
| ANEXO U | 93 |
| ANEXO V | 94 |
| ANEXO X | 95 |
| ANEXO Y | 96 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1. Esquema de produção de vapor de processo..... | 4 |
| Figura 2.2. Imagem da turbina adquirida. | 5 |
| Figura 3.1. Fabrico da turbina. | 6 |
| Figura 3.2. Fabrico do Alternador. | 8 |
| Figura 3.3. Esquema de funcionamento da turbina. | 9 |
| Figura 4.1. Local de implantação da turbina a substituir..... | 16 |
| Figura 4.2. Base da turbina a aproveitar. | 17 |
| Figura 4.3. Desenho da base da turbina. | 18 |
| Figura 4.4. Projeto de escoramento da cofragem da base da turbina. | 19 |
| Figura 4.5. Plano de execução da obra civil da base da turbina. | 20 |
| Figura 4.6. Implantação de linhas de vapor existentes. | 21 |
| Figura 4.7. Coletor de baixa pressão 3,5 bar _g | 22 |
| Figura 4.8. Coletor de média pressão. | 23 |
| Figura 4.9. Linha de vapor de alta pressão. | 27 |
| Figura 4.10. Ciclone separador. | 28 |
| Figura 4.11. Isométrica da linha de vapor alta pressão. | 29 |
| Figura 4.12. Distribuição de tensões na linha de vapor alta pressão. | 30 |
| Figura 4.13. Implantação de linhas de vapor média pressão. | 31 |
| Figura 4.14. Alçado da linha de vapor 13,5 bar _g (média pressão). | 32 |
| Figura 4.15. Distribuição de tensões na linha de vapor 13,5 bar _g (média pressão). | 33 |
| Figura 4.16. Alçado da linha de vapor de baixa pressão (3,5 bar _g). | 34 |
| Figura 4.17. Distribuição de tensões da linha de vapor baixa pressão (3,5 bar _g). | 34 |
| Figura 4.18. Válvula de seccionamento da linha de vapor alta pressão. | 36 |
| Figura 4.19. Válvula de purga da linha de vapor alta pressão. | 36 |
| Figura 4.20. Purgador da linha de vapor alta pressão. | 37 |
| Figura 4.21. Suporte da linha de vapor alta pressão. | 37 |
| Figura 4.22. Alvo para limpeza linha de vapor alta pressão. | 38 |
| Figura 4.23. Alvos da limpeza das linhas de vapor alta pressão. | 39 |
| Figura 4.24. Suporte de mola SP1 da linha de vapor 13,5 bar _g | 40 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.25. Suporte de mola SP2 da linha de vapor 13,5 bar _g | 41 |
| Figura 4.26. Compensadores da linha de vapor 13,5 bar _g | 42 |
| Figura 4.27. Válvula seccionamento da linha de vapor 13,5 bar _g | 42 |
| Figura 4.28. Válvula Segurança da linha de vapor 13,5 bar _g | 43 |
| Figura 4.29. Válvula Controlo da linha de vapor 13,5 bar _g | 43 |
| Figura 4.30. Válvula Retenção da linha de vapor 13,5 bar _g | 43 |
| Figura 4.31. Purgador Bimetálico BK45 da linha de vapor 13,5 bar _g | 44 |
| Figura 4.32. Suporte de mola da linha de vapor 3,5 bar _g | 45 |
| Figura 5.1. Simulação de movimentação de cargas. | 47 |
| Figura 5.2. Movimentação de carga do alternador. | 49 |
| Figura 5.3. Posicionamento do alternador. | 50 |
| Figura 5.4. Posicionamento das turbinas. | 50 |
| Figura 5.5. Execução Tubagens de vapor. | 52 |
| Figura 5.6. Certificado de limpeza de linhas de vapor. | 55 |
| Figura 5.7. Certificado de carga de linhas de vapor. | 56 |
| Figura 5.8. Protocolo de cablagem. | 58 |
| Figura 5.9. Valores de controlo de pressões. | 59 |
| Figura 5.10. Valores de vibração. | 60 |
| Figura 5.11. Localização dos pontos de medida. | 61 |
| Figura 6.1. Procedimento de arranque da turbina. | 63 |
| Figura 6.2. Procedimento de operação da turbina. | 64 |
| Figura 7.1. Nomenclatura processual da turbina. | 65 |
| Figura 7.2. Plano de lubrificação da turbina. | 66 |
| Figura 7.3. Análise de vibrações. | 67 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 2.1. Valores de Produção e Consumo de Vapor no Início do Projeto. | 3 |
| Tabela 3.1. Dados de funcionamento da turbina. | 10 |
| Tabela 3.2. Limites de funcionamento da turbina. | 10 |
| Tabela 4.1. Limites de carga e deslocamento de linhas de vapor..... | 25 |
| Tabela 4.2. Limites de limpeza de linhas de vapor. | 26 |
| Tabela 5.1. Limites de valores de vibração. | 59 |

1. INTRODUÇÃO

Os custos de energia ou a eficiência energética no processo produtivo assumem um protagonismo crescente na estratégia de desenvolvimento da indústria, contribuindo para a manutenção da sua viabilidade económica e sustentabilidade ambiental.

Com a evolução de processos de atualização tecnológica na indústria surgem oportunidades de otimização ou necessidades crescentes de energia para as quais é necessário dar resposta através de projetos de otimização energética.

1.1. Enquadramento do Trabalho

Na empresa onde o projeto decorreu, devido a um aumento importante de capacidade de produção e o conseqüente aumento de consumo de vapor utilizado no processo, foi identificada a necessidade de melhorar a eficiência energética, melhorando globalmente a competitividade da empresa não só em termos de capacidade de produção, mas também em custos de energia consumida.

Com este trabalho pretende-se descrever as soluções encontradas para a oportunidade de otimização energética identificada, realçando as diferentes fases do projeto.

O trabalho está estruturado em capítulos relacionados com as três grandes fases do projeto: Análise e decisão de soluções a considerar; Aquisição de equipamentos e infraestruturas; Montagem, comissionamento e colocação em serviço.

1.2. Descrição do Processo Fabril

O processo de fabrico utilizado pela empresa necessita de vapor para consumo nas diversas fases de produção.

A empresa produz assim vapor de alta pressão que, ao passar numa turbina de condensação, produz energia elétrica e vapor de média (13.5 bar_g) e baixa pressão (3.5 bar_g) utiliza no processo de produção.

O vapor sobreaquecido produzido na Caldeira Principal, a cerca de 430°C e 64 bar_g, é expandido numa turbina de condensação, sendo extraído da mesma a pressões mais baixas, 3,5 bar_g e 13,5 bar_g, para utilização no processo.

Existe ainda uma Caldeira Auxiliar com capacidade de produção de vapor com as mesmas características de pressão e temperatura (430°C e 64 bar_g).

Esta caldeira é utilizada em situações de necessidade de produção adicional de vapor para processo.

De seguida apresentam-se as principais características dos equipamentos referidos:

- Caldeira de Principal: Caudal de Vapor: 90 t/h (430° C; 64 bar_g);
- Caldeira Auxiliar: Caudal de Vapor: 20 t/h (430° C; 64 bar_g);
- Turbina Condensação:
 - Potência (acoplamento): 14250 kW;
 - Rotação: 9480/1500 rpm;
 - Vapor Entrada: 93,6 t/h (62 bar_g, 450° C);
 - Vapor Extração Média: 19,8 t/h (13,5 bar_g, 330° C);
 - Vapor Extração Baixa: 57,6 t/h (3,5 bar_g, 250° C);
 - Vapor Condensador (min.): 2 t/h (0,08 bar_{abs}, 120° C);
 - Vapor Condensador (max.): 16,2 t/h (0,08 bar_{abs}, 120° C).

2. ANÁLISE DE PROCESSO E OPÇÃO DE AQUISIÇÃO DA TURBINA

2.1. Análise do Processo de Produção e Consumo de Vapor

Com o aumento de produção na empresa, também as necessidades de vapor de processo foram incrementadas. Esta evolução na produção veio a criar uma situação para qual a turbina de condensação existente deixaria de ter capacidade para suprir nas necessidades de consumo de vapor, obrigando a que parte do vapor de baixa pressão tivesse de ser produzido com recurso a uma estação de redução.

O referido desequilíbrio foi-se agravando até que um caudal de vapor de cerca de 10 t/h tivesse de passar na válvula redutora para suprir as necessidades de processo. Situação que deu origem a uma primeira análise da viabilidade do projeto de instalação da nova turbina.

Apresenta-se de seguida a Tabela 2.1 com os valores mais significativos relativos à produção e consumos de vapor existente na altura do desenvolvimento do projeto. Estes valores são representativos da situação de processo, podendo apresentar oscilações função do ritmo da produção, desempenho da caldeira de principal, bem como outras variáveis relacionadas com os diversos consumidores finais.

Tabela 2.1. Valores de Produção e Consumo de Vapor no Início do Projeto.

| Produção: | (t/h) | Turbina | (t/h) | Consumo Fábrica: | (t/h) |
|---------------------------|--------------|------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| C Principal | 90 | M Pressão | 20 | M Pressão | 20 |
| CAuxiliar | 10 | B Pressão | 60 | B Pressão | 70 |
| Total | 100 | Val. Red. | (t/h) | | |
| Limpeza Caldeira | 10 | B Pressão | 10 | | |
| Disponível Fábrica | 90 | | | | |

A Figura 2.1 ilustra a situação que deu origem ao projeto de instalação da nova turbina.

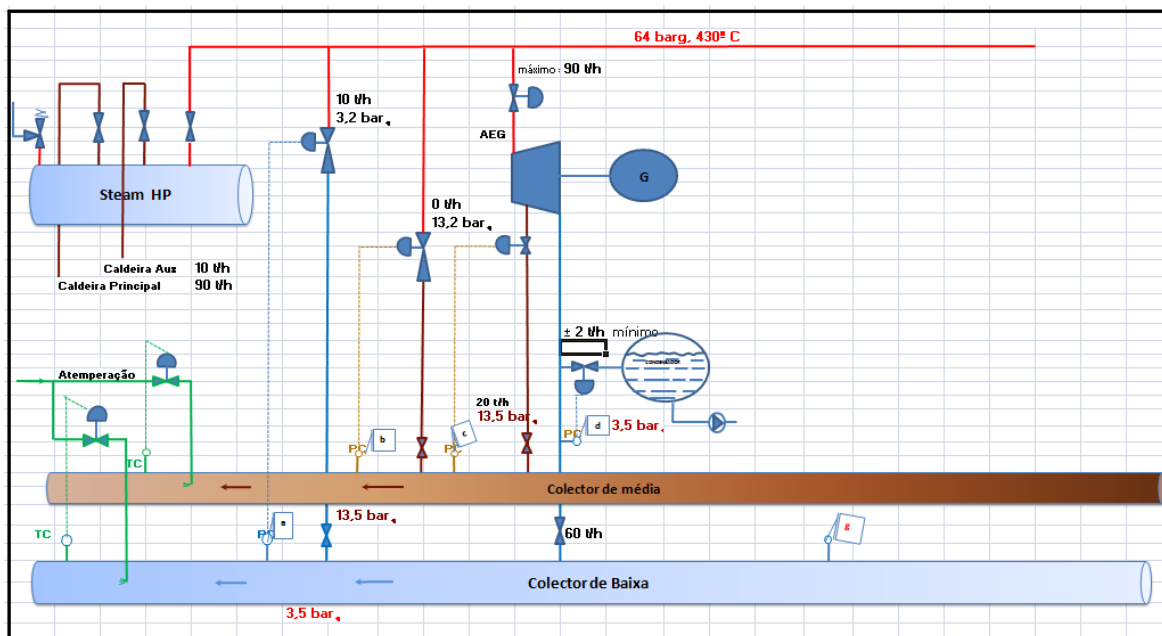


Figura 2.1. Esquema de produção de vapor de processo.

2.2. Requisitos de Aquisição e Opção de Compra da Turbina

Identificada a oportunidade de melhoria, foram definidos alguns requisitos prioritários para os quais a nova turbina deveria dar resposta:

1. A nova turbina deveria ser de contrapressão;
2. Funcionar na mesma gama de pressão de vapor produzido nas caldeiras;
3. Permitir extrações de vapor conforme características de vapor de processo existente na fábrica;
4. Poder turbinar até cerca de 90 t/h de vapor;
5. Funcionar numa gama de caudal mínimo de vapor de cerca de 10 t/h.

De entre as opções analisadas decidiu-se adquirir uma turbina conforme se ilustra na Figura 2.2.

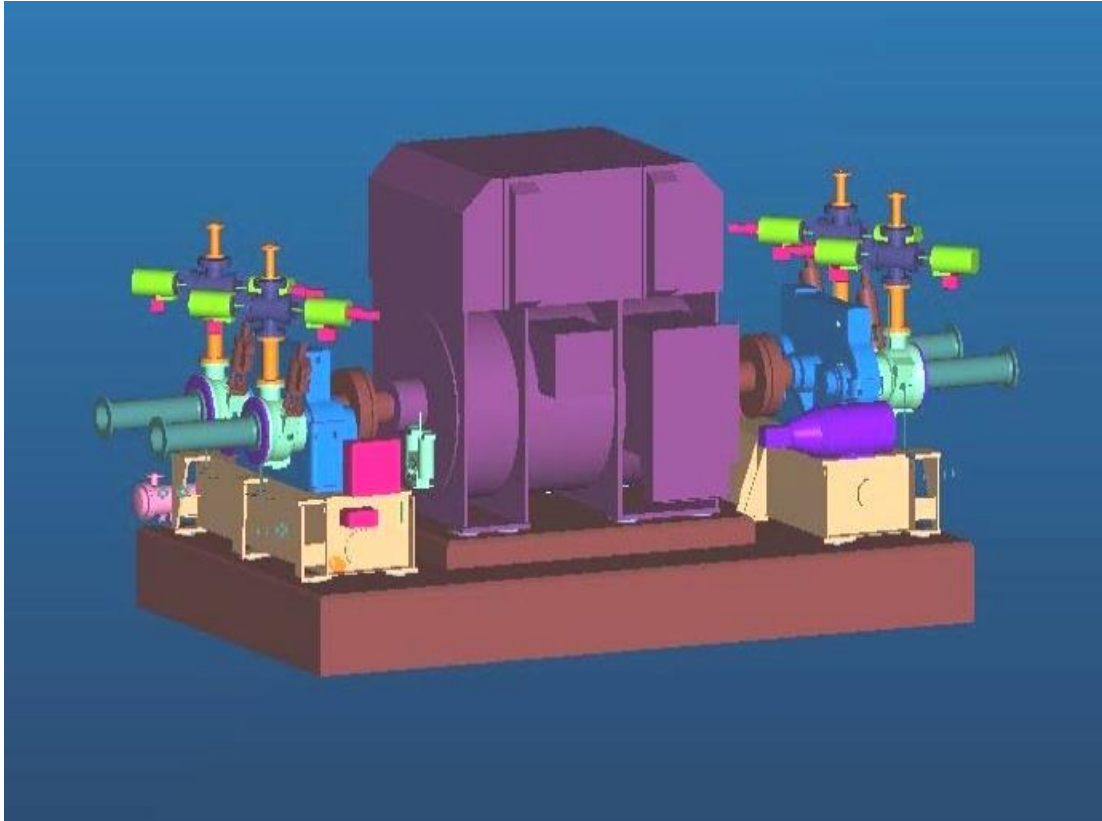


Figura 2.2.Imagem da turbina adquirida.

A solução caracteriza-se por duas turbinas de contrapressão a funcionar em tandem num mesmo alternador.

As pressões de funcionamento e extração respondem aos requisitos definidos, e é possível funcionar isoladamente com qualquer uma das turbinas, desacoplando a que fique parada, permitindo o funcionamento com um caudal mínimo inferior a 10 t/h.

3. CARACTERÍSTICAS DA TURBINA

3.1. Descrição da Turbina

A solução adquirida é constituída por um conjunto de duas turbinas ligadas ao mesmo alternador. As turbinas podem funcionar em simultâneo ou individualmente, desacoplando, para o efeito, a turbina que no momento não se pretenda colocar em funcionamento.

No Anexo A apresenta-se o desenho geral da instalação, constituída pelo conjunto das duas turbinas e do alternador.

3.1.1. Turbina

Cada turbina é constituída por um conjunto de dois rotores independentes, ligados a um redutor único, composto por dois pinhões paralelos e uma roda central ligada ao veio de saída para o alternador.

O rotor de alta pressão é constituído por uma turbina tipo Curtis de \varnothing 400 mm e o de baixa pressão é constituído por uma turbina de fluxo axial com \varnothing 600 mm.

A Figura 3.1 mostra uma fotografia da turbina, com a turbina Curtis de alta pressão na direita, e o rotor de fluxo axial de baixa pressão, de \varnothing 600 mm, na esquerda da imagem.

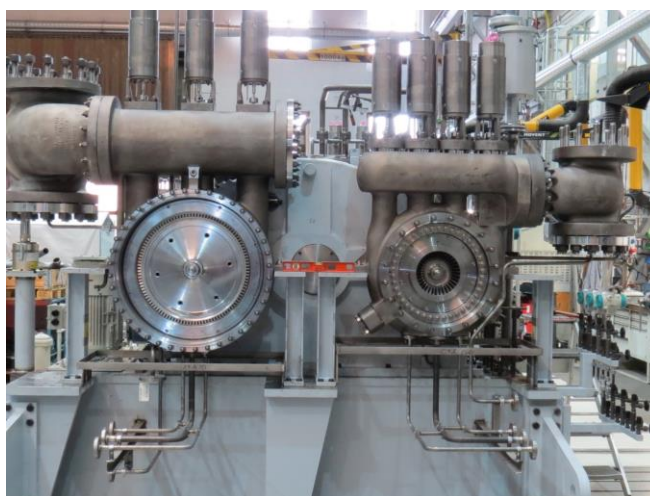


Figura 3.1. Fabrico da turbina.

O redutor apresenta as seguintes características:

- Fabrico segundo norma DIN 3990;
- Engrenagens helicoidais;
- Chumaceiras de casquilho com lubrificação hidrodinâmica;
- A caixa do redutor é construída em ferro fundido GG 25.

3.1.2. Alternador

O Alternador adquirido com o conjunto das turbinas apresenta as seguintes características:

- Potência 13750 kVA;
- Fator de potência nominal de 0,8;
- Tensão nominal de 6 kV;
- Frequência 50 Hz;
- Velocidade nominal 1500 rpm;
- Refrigeração IC81W - Sistema de arrefecimento em circuito fechado;
- Chumaceiras de mancais;
- Lubrificação com óleo a pressão controlada.

No Anexo B está apresentado um desenho do Alternador e no Anexo C as características apresentadas pelo fabricante.

A Figura 3.2 seguinte mostra uma imagem do fabrico do alternador.



Figura 3.2.Fabrico do Alternador.

3.2. Características Funcionais da Turbina

3.2.1. Características de Funcionamento

As turbinas são iguais embora para poderem funcionar no mesmo alternador, apenas o sentido de rotação é diferente em cada uma.

As turbinas têm um sistema de alimentação de vapor e restantes componentes de controlo de funcionamento independentes, permitindo que cada uma funcione de forma individual com o alternador.

No Anexo D apresenta-se a curva de potência da turbina em função do caudal, para diferentes extrações de vapor.

A Figura 3.3 ilustra o funcionamento do conjunto das duas turbinas

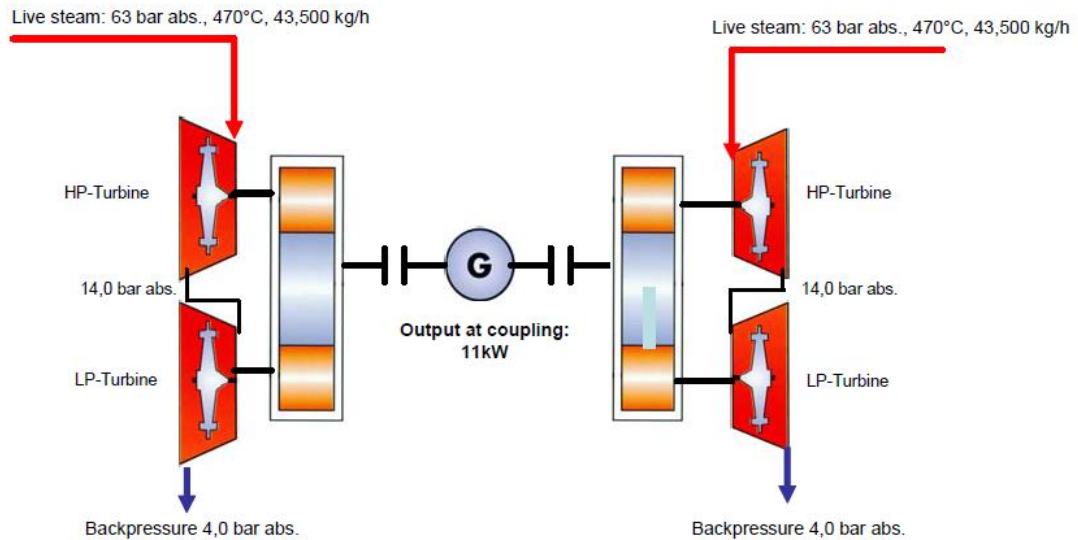


Figura 3.3. Esquema de funcionamento da turbina.

A Tabela 3.1 seguinte mostra as condições nominais de funcionamento e as condições relativas a caudal mínimo definidas pelo fabricante, aplicadas a cada turbina de forma individual.

Os valores apresentados relativos a pressão de admissão e temperatura, extração de média e extração de baixa pressão, podem oscilar dentro de determinados limites definidos pelo fabricante, conforme ilustrado na Tabela 3.2.

Tabela 3.1. Dados de funcionamento da turbina.

| | 1 | 2 |
|-----------------------|--------------|--------------|
| | Main data | min |
| Turbine part A | | |
| Inlet pressure | 63.00 bar(a) | 63.00 bar(a) |
| Inlet temperature | 470 °C | 470 °C |
| Exhaust pressure | 14.00 bar(a) | 14.00 bar(a) |
| Exhaust temperature | 310 °C | 360 °C |
| Enthalpy | 3,055 kJ/kg | Engineering |
| Turbine speed | 13,364 rpm | 13,364 rpm |
| Mass flow | 43,500 kg/h | 7,500 kg/h |
| Turbine part B | | |
| Inlet pressure | 13.90 bar(a) | 13.90 bar(a) |
| Inlet temperature | 309 °C | 360 °C |
| Exhaust pressure | 4.00 bar(a) | 4.00 bar(a) |
| Exhaust temperature | 201 °C | 265 °C |
| Enthalpy | 2,863 kJ/kg | Engineering |
| Turbine speed | 10,889 rpm | 10,889 rpm |
| Mass flow | 43,500 kg/h | 7,500 kg/h |
| Performance | | |
| Outlet speed | 1,500 rpm | 1,500 rpm |
| Output at coupling | 5,663 kW | 416 kW |
| Power at terminals | 5,500 kW | 370 kW |

Tabela 3.2. Limites de funcionamento da turbina.

| | Turbine part A | | Turbine part B | |
|------------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| | Min | Max | Min | Max |
| Inlet pressure | 58.00 bar(a) | 68.00 bar(a) | 12.51 bar(a) | 15.29 bar(a) |
| Inlet temp. | 420 °C | 480 °C | 260 °C | 424.8 °C |
| Exhaust pressure | 12.60 bar(a) | 15.40 bar(a) | 3.00 bar(a) | 5.00 bar(a) |

3.2.2. Descrição do Funcionamento da Turbina

A descrição de funcionamento da turbina irá basear-se no desenho relativo ao Processo e Instrumentação da Instalação, apresentado parcialmente no Anexo E.

Garantidas as temperaturas nas linhas de alimentação de vapor e exaustão da turbina, com remoção de condensado das mesmas, bem como as condições de lubrificação e controlo hidráulico da turbina, o sistema de controlo da turbina está preparado para iniciar um processo de “Preparação de Arranque “, que consiste em fazer passar vapor pela válvula (ref 343), de forma a aquecer a linha de alimentação até que a temperatura a montante da válvula de entrada na turbina (ref 203.1) atinja um vapor definido de 370° C.

Garantida a temperatura na entrada da turbina, o sistema de controlo liberta a sequência de arranque. Nesta altura a válvula (ref 203.1) vai abrir deixando as válvulas de controlo e distribuição radial de vapor ao rotor de alta pressão a alimentar vapor de forma gradual, incrementando a rotação da turbina.

Nesta fase pretende-se apenas garantir a rotação adequada da turbina, pelo que, durante cerca de 30 s, a válvula (ref 342) mantêm-se a libertar todo o vapor, e a válvula (ref. 203.2), de entrada no rotor de baixa pressão, se mantém fechada.

Concluído este processo, a válvula (ref 342) fecha-se e abre-se a válvula (ref 203.2) de alimentação ao rotor de baixa pressão, iniciando-se a extração de média ou baixa pressão para a rede, consoante os valores de controlo de pressão da rede definidos.

3.3. Fabrico da Turbina

3.3.1. Plano de Fabrico

A turbina foi fabricada em conformidade com um conjunto de normas que regulam o procedimento de fabrico e garantem a qualidade exigida dos equipamentos.

No Anexo F apresenta-se parcialmente o Plano de Qualidade de Fabrico da Turbina definido pelo fabricante.

Seguidamente apresentam-se algumas das normas de referência consideradas no fabrico da turbina:

- DIN 4312 (Construction of Steam Turbines);

- DIN 3960, 3961/62, 3990 (for Gearing);
- DIN 1943 (Acceptance Test of Steam Turbines);
- DIN EN 563 (Safety of machinery – Temperatures of touchable surfaces);
- DIN ISO 1940 (Mechanical vibration – Balance quality requirements of rigid rotors);
- DIN ISO 10816 (Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts);
- VDI 2059 (Shaft vibrations of turbosets);
- AD-Merkblätter (calculation, manufacturing rules and testing of pressure parts);
- ANSI / AGMA 2101 - C95 (Fundamental rating factors and calculation methods for involute spur and helical gear teeth);
- NEMA SM 23 (National Electric Manufacturers Association, Steam turbines for mechanical drive service).

A Turbina e restante instalação associada cumprem com os requisitos da Diretiva 2006/42/CE do Parlamento e do Conselho Europeu, de 17 de Maio de 2006 "Diretiva de Máquinas", apresentando marcação CE na chapa de características.

Os equipamentos foram ainda projetados e produzidos em conformidade com as determinações das seguintes diretivas:

- Diretiva 97/23/CE do Parlamento e do Conselho Europeu de 29 de Maio de 1997 "Equipamentos de pressão";
- Diretiva 2004/108/CE do Parlamento e do Conselho Europeu de 15 de Dezembro de 2004 "Compatibilidade eletromagnética";
- Diretiva 2006/95/CE do Parlamento e do Conselho Europeu de 12 de Dezembro de 2006 "Material elétrico destinado a ser utilizado dentro de certos limites de tensão".

Foram ainda respeitadas as seguintes normas relacionadas:

- EN ISO 12100-1; 2003, Safety of machinery -- Basic concepts, general principles for design -- Part 1: Basic terminology, methodology;

- EN ISO 12100-2; 2003, Safety of machinery -- Basic concepts, general principles for design -- Part 2: Technical principles;
- EN ISO 13732-1; 2006, Ergonomics of the thermal environment -- Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces -- Part 1: Hot surfaces;
- EN ISO 13850; 2006, Safety of machinery -- Emergency stop -- Principles for design;
- EN ISO 14121-1, 2007, Safety of machinery -- Risk assessment -- Part 1: Principles.

A turbina foi fabricada e fornecida em cerca de 6 meses de trabalho. Este prazo foi contratado no processo de encomenda e depende muito de diversos fatores: o tipo de turbina; dimensão; plano de fabrico da fábrica etc.

No Anexo G apresenta-se o Plano de Fabrico da Turbina onde estão detalhadas as diversas fases que conduziram ao fornecimento no prazo estabelecido.

3.3.2. Teste de Funcionamento em Fábrica (*Test Run*)

Concluído o fabrico e montagem da turbina, incluindo o sistema de válvulas de controlo, a turbina é ensaiada ainda na fábrica para testar o seu funcionamento com vapor.

Pretende-se com este *Test Run* avaliar todos os componentes e proceder a correções se necessário.

O ensaio consiste em alimentar a turbina com vapor até que esta atinja a velocidade nominal, permanecendo nesta situação até estabilizar a temperatura do óleo de lubrificação e controlo. Desta forma verifica-se a rampa de aumento de velocidade, o ajuste das válvulas de controlo e o sistema de lubrificação.

Seguidamente apresenta-se o plano com as principais referências do *Test Run*:

1. Funcionamento da Turbina:

Durante uma hora a turbina será colocada em funcionamento sem estar ligada a um alternador (não será feito teste de carga).

Neste ensaio, em que a turbina atinge temperaturas próximo das que se irão verificar em funcionamento normal, são observadas eventuais fugas de vapor, condensado ou óleo, ajustando-se o aperto dos componentes se necessário.

Durante os testes os seguintes valores serão registradas:

- Pressão de vapor;
- Temperatura do vapor;
- Pressão de vapor de escape;
- Velocidade de operação;
- Pressão de óleo lubrificante;
- Pressão do óleo do controle;
- Temperatura do óleo na saída do permutador de óleo;
- Temperaturas rolamentos (PT 100);

2. Verificação das Vibrações no Redutor:

- Os valores de vibração em todas as chumaceiras são registados;
- São recolhidos valores em cada ponto nas direções x, y e z;
- Os valores obtidos não deverão ultrapassar os 2,3mm/sec.

3. Teste de Sobre Velocidade da Turbina:

Pretende-se validar o sistema de segurança de sobre velocidade.

- A proteção por sobre velocidade é ajustada para 1650 rpm;
- O ensaio é repetido três vezes, sendo admitindo uma tolerância nos valores de atuação da proteção de $\pm 1\%$;
- Todos os valores obtidos serão registados.

4. PROJECTO E EXECUÇÃO DAS INFRAESTRUTURAS PARA A INSTALAÇÃO DA TURBINA

Neste capítulo são apresentados os projetos das infraestruturas relacionadas com a instalação da turbina de vapor.

Atendendo ao orçamento de execução definido, as opções de projeto deveriam cumprir com os requisitos de qualidade exigidos pelo fabricante da turbina, mas também minimizar quando possível os custos de execução. Neste sentido, a opção que contribuiu decisivamente para reduzir custos de instalação, condicionando todas as opções de projeto, foi a de instalar esta nova turbina por substituição de uma outra existente, que se encontrava obsoleta. Desta forma, o edifício, a base de assentamento da turbina e as tubagens de vapor, foram avaliados quanto ao seu possível aproveitamento.

A opção de aproveitar parte da infraestrutura existente veio influenciar a execução dos diferentes projetos. As opções já não se iriam caracterizar por soluções típicas de projetos semelhantes para turbinas novas anteriores, mas seriam condicionadas pela instalação existente, a qual deveria ser modificada e garantir os diversos requisitos de projeto definidos pelo fabricante da nova turbina.

4.1. Projeto e Execução Civil das Infraestrutura

4.1.1. Local de Implantação da Nova Turbina

Decidida a instalação da nova turbina no local de uma existente a remover, implicou, em primeiro lugar, o desmantelamento da turbina existente a retirar de serviço.

A Figura 4.1 mostra uma parte da planta do edifício onde estava localizada a turbina a desmantelar.

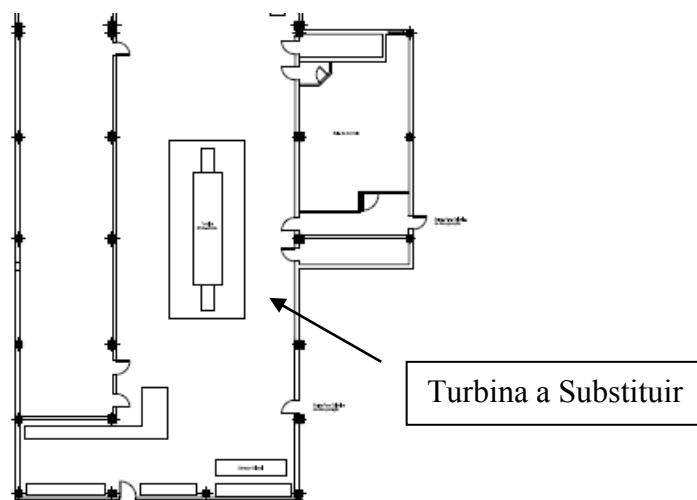


Figura 4.1. Local de implantação da turbina a substituir.

A antiga turbina estava localizada no 1º piso do edifício, a cerca de 7 metros do r/c. Por baixo da turbina desenvolve-se a generalidade das linhas de distribuição de vapor à fábrica em serviço. Este facto revelou-se uma preocupação ao longo de toda a obra, obrigando a alterações aos traçados de linhas de vapor para permitir a execução do desmantelamento da turbina, e posterior execução da obra civil da nova turbina.

4.1.2. Projeto da Base da Turbina

Definida a localização da nova turbina, no local de outra a desmantelar, para a execução do projeto foram definidos alguns requisitos mais relevantes que deveriam ficar refletidos na obra.

Os aspetos mais relevantes relacionados com o contexto de obra foram os seguintes:

- A nova turbina deveria localizar-se no mesmo local da turbina desmantelada. No 1º Piso do edifício;
- Deveria ser equacionada a possibilidade de aproveitamento da base da turbina anterior, evitando-se assim o trabalho extra de demolição de betão numa zona de acesso limitado;

A execução do projeto revelou algumas dificuldades associadas à necessidade de responder às cargas definidas nas especificações do fabricante da turbina, mas também relacionadas com a limitação de espaço para a localização da nova turbina. Foi necessário proceder a diversas alterações de traçados de linhas de vapor sob o piso da turbina, e mesmo assim não foi possível evitar alguma assimetria na solução final da base da turbina, conforme Figura 4.3.

No Anexo J apresenta-se o desenho completo da solução considerada e aprovada pelo fabricante da turbina.

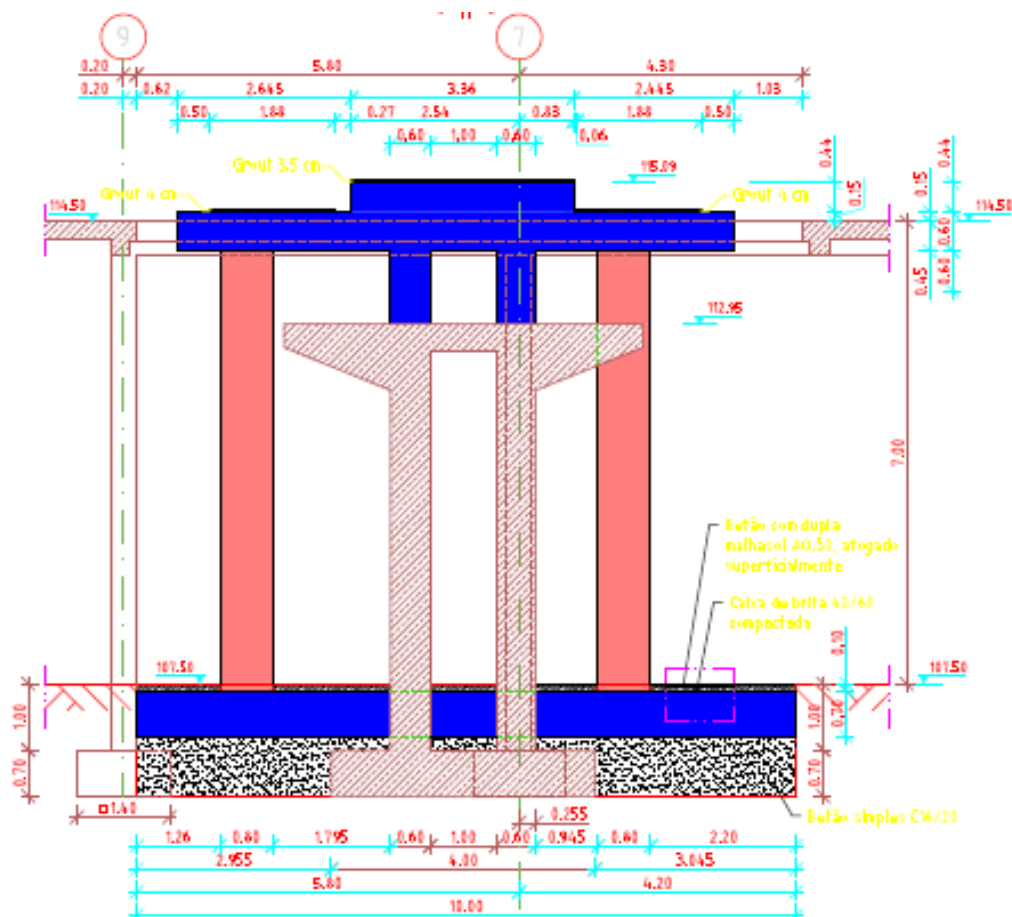


Figura 4.3. Desenho da base da turbina.

4.1.3. Execução da Obra Civil

A execução da obra civil foi muito condicionada pelo local de obra. Os trabalhos foram realizados no interior do edifício, com diversos equipamentos e linhas de processo em funcionamento. Verificou-se inclusive a necessidade de proceder ao fabrico e instalação de proteções metálicas a linhas de vapor de alta pressão.

A execução da obra civil ao nível do piso de funcionamento da turbina, a cerca de 7 m da base, e com linhas de vapor em serviço localizadas sob a zona de obra, deu origem a que o escoramento das cofragens de apoio à construção deveria estar garantido com projeto de estabilidade.

A Figura 4.4 seguinte mostra uma imagem do projeto de cofragem executado.

Na imagem é visível a necessidade de adaptar o escoramento devido à presença de linhas de vapor em serviço.

No Anexo K apresenta-se o desenho completo do Projeto da Estabilidade do Escoramento da Cofragem.

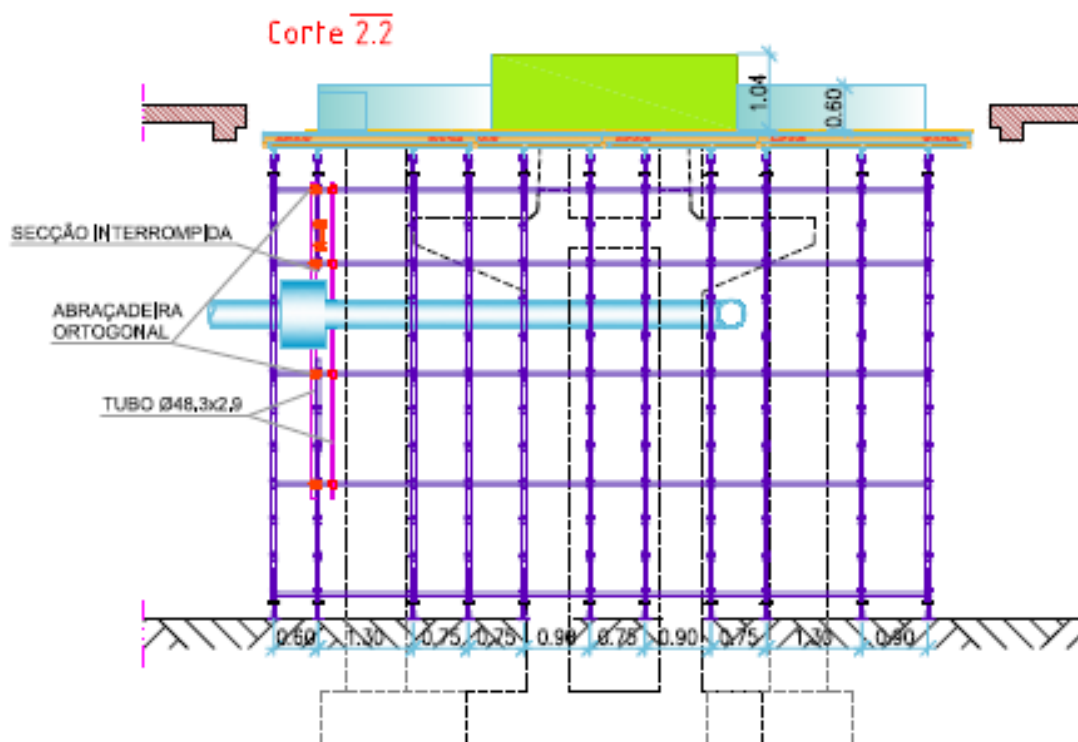


Figura 4.4. Projeto de escoramento da cofragem da base da turbina.

Na Figura 4.6 seguinte mostra-se a implantação das linhas de vapor de baixa (3,5 bar_g) e média pressão (13,5 bar_g) existentes.

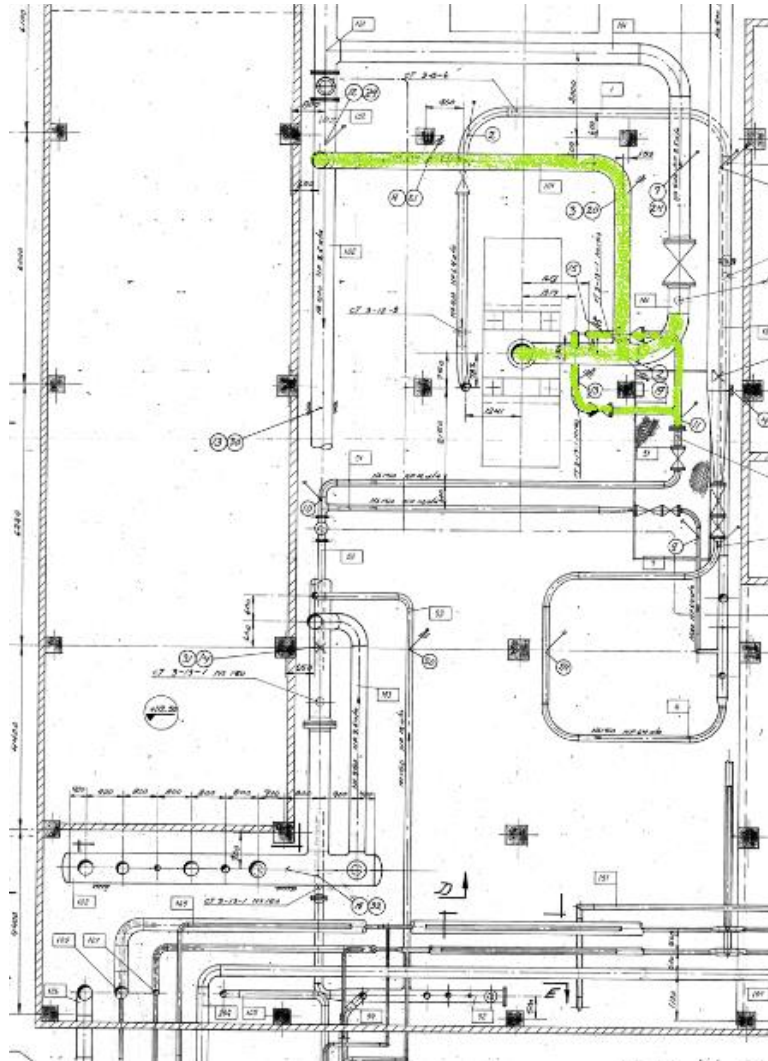


Figura 4.6. Implantação de linhas de vapor existentes.

Na Figura 4.7 apresenta-se o corte DD relativo ao coletor de baixa pressão (3,5 bar_g) e respetivos consumidores de processo.

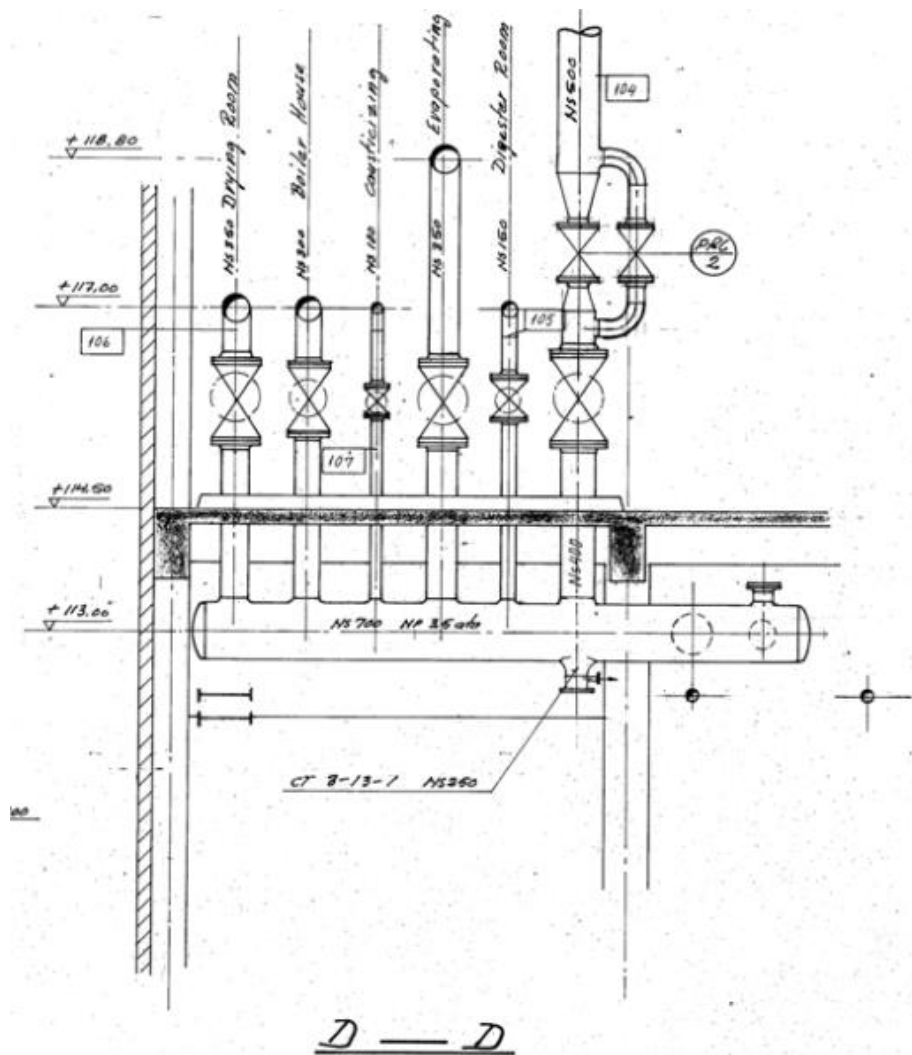


Figura 4.7. Coletor de baixa pressão 3,5 bar_g.

Na Figura 4.8 apresenta-se o corte EE relativo ao coletor de média pressão (13,5 bar_g) e alguns consumidores de processo.

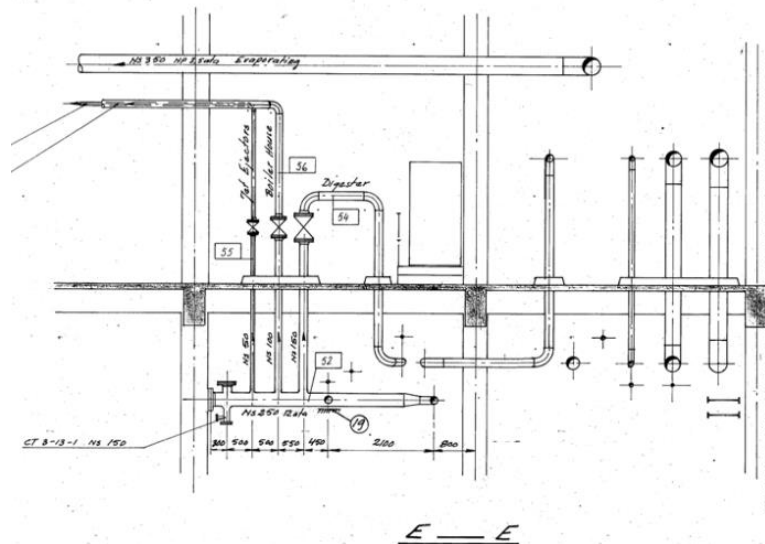


Figura 4.8. Coletor de média pressão.

Na Figura 4.6 é possível observar-se a localização da base da turbina antiga e as linhas de vapor relativas às extrações de 3,5 bar_g e 13,5 bar_g. Estas linhas estão ligadas às linhas principais que vão alimentar os respetivos coletores de vapor ilustrados nos detalhes DD e EE.

Com a instalação da nova turbina, todas as linhas relativas às extrações de vapor foram projetadas com novo traçado, mantendo-se as linhas principais de alimentação aos coletores de 3,5 bar_g e 13,5 bar_g.

4.2.2. Requisitos para o Projeto de Interligações

Com o fornecimento da turbina, o fornecedor apresentou um conjunto de desenhos e especificações técnicas que deveriam ser respeitadas na elaboração do projeto de interligações relativas à instalação da turbina.

No anexo I é apresentado o índice com aspetos considerados no documento com as principais especificações para projeto de interligações definidas pelo fabricante da turbina.

Seguidamente apresentam-se alguns detalhes mais relevantes na especificação de projeto das interligações:

- De forma a ser garantida a necessária qualidade do vapor, seco e sem sujidade, na alimentação à turbina, é recomendada a instalação de um separador eficaz que garanta o nível e filtração desejado;
- O traçado da linha de vapor à turbina deverá ter em consideração a necessária remoção de condensados, instalando, para o efeito, purgadores e purgas de arranque, que permitam um funcionamento adequado da instalação;
- O projeto das linhas deverá ter em consideração os limites de pressão e temperatura de vapor considerados nos desenhos fornecidos pelo fabricante da turbina;
- O traçado das linhas de vapor de escape (extrações de vapor de 3,5 bar_g e 13,5 bar_g), deverão de igual forma facilitar a remoção de condensados. Sendo particularmente importante impedir o retorno de condensados à turbina;
- As linhas de vapor no estado frio ou quente deverão imprimir esforços controlados nas flanges ligadas à turbina;

Na Tabela 4.1 apresenta-se um quadro resumo com os limites a considerar:

Tabela 4.1. Limites de carga e deslocamento de linhas de vapor.

| Max. zulässige äußere Kräfte und Momente an den Turbinenstützen ± MAX. PERMISSIBLE EXTERNAL FORCES AND MOMENTS ON THE TURBINE BRANCHES ± | |
|---|--|
| Frischdampfstützen LIVE STEAM BRANCH Pos.: 3.1+3.2+203.1+203.2 | Abdampfstützen EXHAUST STEAM BRANCH Pos.: 4.1+4.2+204.1+204.2 |
| Fx = 1500 N Fy = 1500 N Fz = 1500 N Mx = 1500 Nm My = 1500 Nm Mz = 750 Nm | Fx = 1500 N Fy = 1500 N Fz = 1500 N Mx = 1500 Nm My = 1500 Nm Mz = 750 Nm |
| Stützenverschiebung BRANCHES DISPLACEMENT | |
| Frischdampfstützen (3.1) LIVE STEAM BRANCH | Abdampfstützen (4.1) EXHAUST STEAM BRANCH |
| x = -1.6 mm y = +4.8 mm z = +5.1 mm | x = -2.3 mm y = +0.8 mm z = ±0 mm |
| Frischdampfstützen (3.2) LIVE STEAM BRANCH | Abdampfstützen (4.2) EXHAUST STEAM BRANCH |
| x = +0.4 mm y = +6.0 mm z = -4.5 mm | x = -2.2 mm y = +0.8 mm z = ±0 mm |
| Frischdampfstützen (203.1) LIVE STEAM BRANCH | Abdampfstützen (204.1) EXHAUST STEAM BRANCH |
| x = +1.6 mm y = +4.8 mm z = -5.1 mm | x = +2.3 mm y = +0.8 mm z = ±0 mm |
| Frischdampfstützen (203.2) LIVE STEAM BRANCH | Abdampfstützen (204.2) EXHAUST STEAM BRANCH |
| x = -0.4 mm y = +5.9 mm z = +4.4 mm | x = +2.2 mm y = +0.8 mm z = ±0 mm |

- As flanges deverão garantir um paralelismo adequado às flanges da turbina, não sendo admitido um desalinhamento superior a 0,2 mm no diâmetro;
- É particularmente importante garantir uma adequada e rigorosa limpeza das linhas de vapor de alimentação à turbina. Toda a sujidade e materiais resultantes da construção das linhas deverão ser totalmente removidos. Neste sentido, foram definidos pelo fabricante da turbina procedimentos de limpeza conforme referência apresentada no Anexo L, e cujos limites estão resumidos na Tabela 4.2 seguinte.

Tabela 4.2. Limites de limpeza de linhas de vapor.

| | |
|---|---|
| Dimensões recomendadas para o espelho de purga | 40 x 40 mm |
| Material | St 37 (aço de construção simples) eventualmente Alu, Cu, Austenit |
| Diâmetro de impacto e densidade | Em 40 x 40 mm (St 37) nenhum > 1,0 mm Ø menos de 4 > 0,5 mm Ø menos de 10 > 0,2 mm Ø |
| Diâmetro da conduta de purga | conforme a conduta a ser purgada |

4.2.3. Projeto de Linhas de Vapor

Para execução do projeto de interligações, na sua maioria linhas de vapor, foram apresentados alguns requisitos a destacar, aos quais o projeto deveria dar resposta:

- O projeto deveria ter em consideração o contexto do local de obra, nomeadamente as linhas de vapor e condensados existentes;
- Os requisitos para execução de projeto de interligações apresentado pelo fabricante da turbina, particularmente alguns referidos como muito importantes, deveriam ser refletidos nas soluções de projeto;
- Garantir o fornecimento das instalações necessárias ao funcionamento da turbina, conforme limites de fornecimento definidos.

O projeto veio a revelar-se complexo, particularmente no que respeita à definição de soluções que respondessem favoravelmente aos requisitos impostos. Nomeadamente, os relacionados com o local de obra e as reduzidas cargas nas flanges da turbina.

Depois de diversas soluções apresentadas, ajustamentos e diversas correções, a solução final aceite está globalmente representada no Anexo M.

4.2.3.1. Linhas de Vapor de Alta Pressão

Por razões de segurança o traçado das linhas de vapor de alta pressão desenvolve-se na sua maior parte no piso inferior da turbina, fora da zona de operação dos equipamentos.

A Figura 4.9 seguinte mostra um pormenor da linha de vapor. A linha, inicialmente única e de DN 200 mm, deriva para duas alimentações independentes a cada turbina. Só na parte final do traçado as linhas sobem ao piso da sala de operação, até às flanges de entrada de vapor de cada turbina.

Em cada linha DN 150mm de alimentação às turbinas estão instaladas uma válvula automática, seguida de outra manual, ambas de seccionamento, e um ciclone separador, conforme previsto nos requisitos de projeto.

As linhas foram consideradas no material EN grade, 13 Cr Mo 4-5.

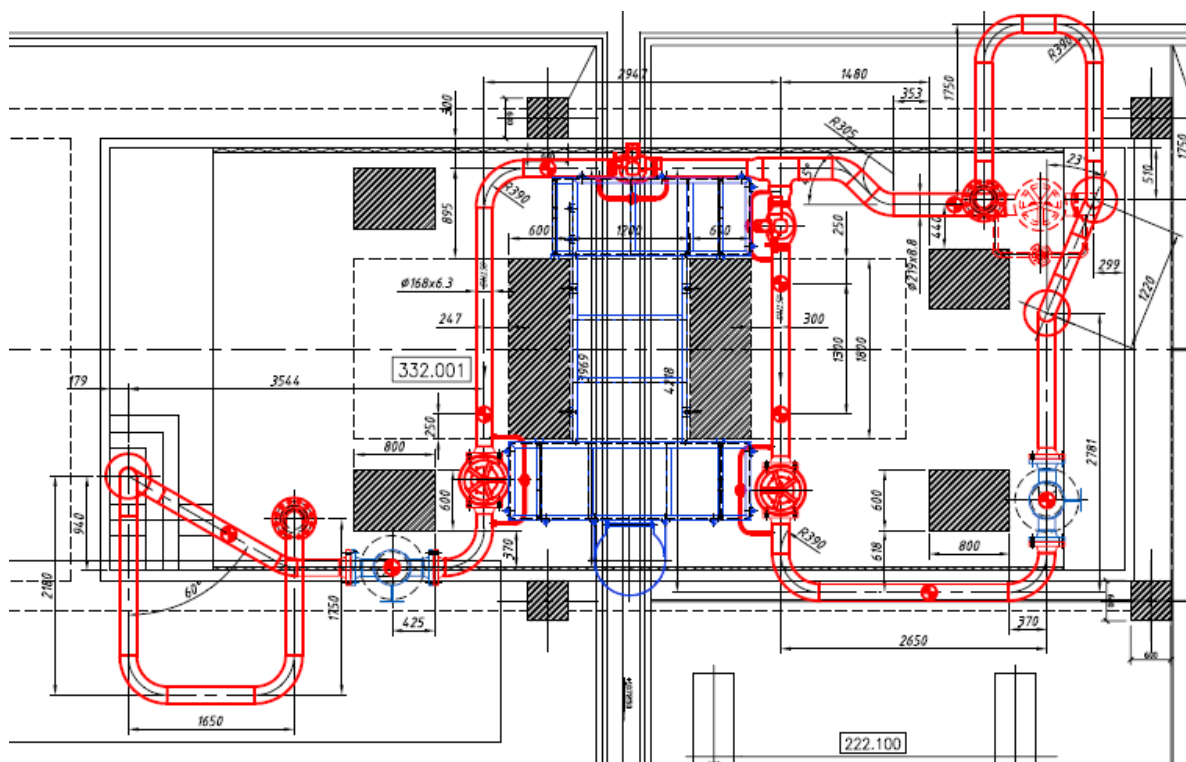


Figura 4.9. Linha de vapor de alta pressão.

O ciclone separador foi um dos requisitos fundamentais do fabricante da turbina e constitui um dos principais componentes de segurança da instalação.

Na Figura 4.10 seguinte ilustra-se a solução considerada para o ciclone.

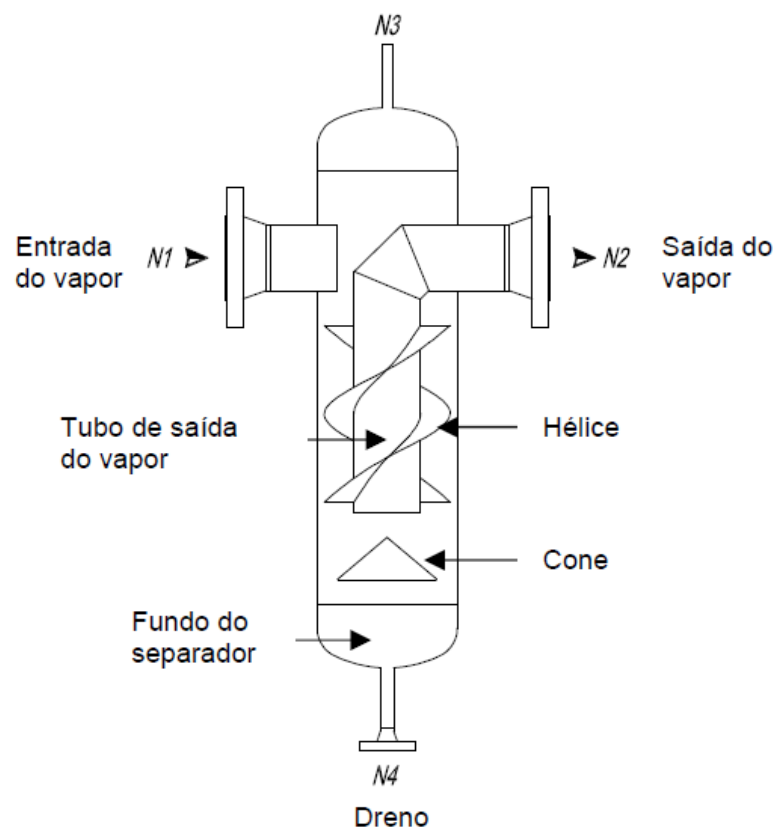


Figura 4.10. Ciclone separador.

A Figura 4.11 seguinte mostra uma isométrica da linha de vapor de alta pressão. Na imagem é possível identificar o início da linha no nó 55, a jusante de uma válvula de seccionamento existente.

O traçado da linha, molas de apoio e suporte construídos foram concebidos para responder às reduzidas cargas nas flanges das turbinas.

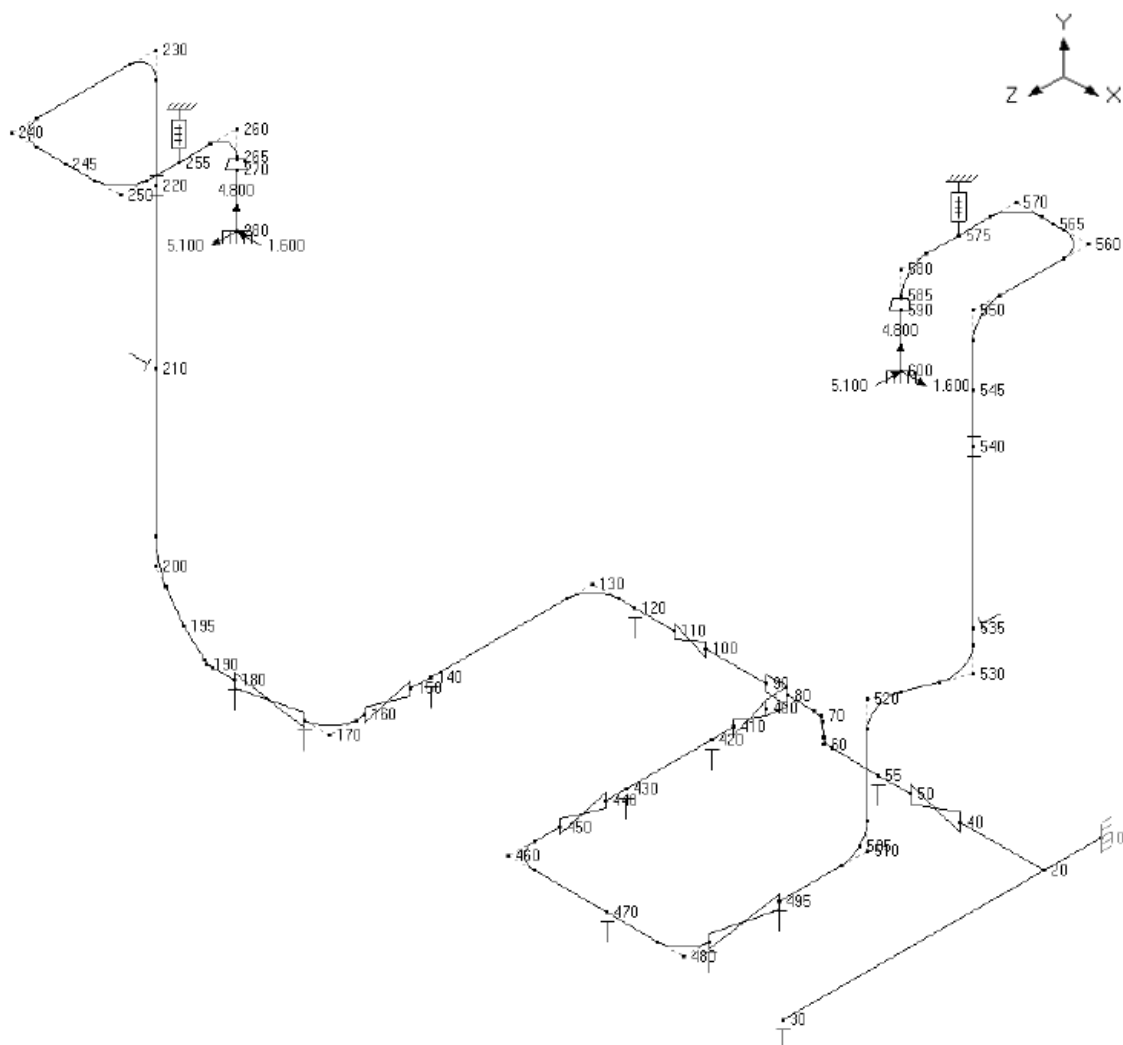


Figura 4.11. Isométrica da linha de vapor alta pressão.

A Figura 4.12 seguinte mostra uma isométrica com a distribuição de tensões resultantes na linha em funcionamento. Os valores estão representados em MPa.

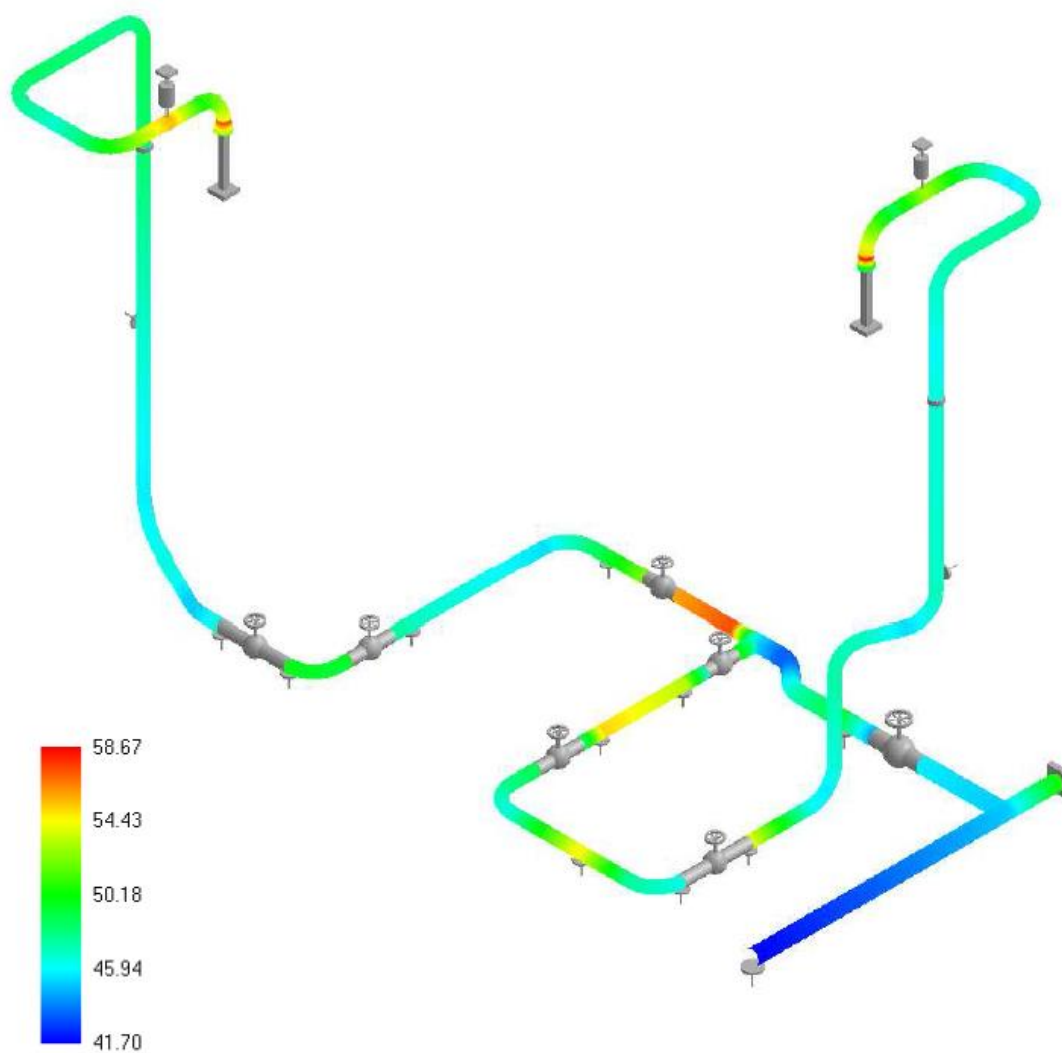


Figura 4.12. Distribuição de tensões na linha de vapor alta pressão.

A Figura 4.14 seguinte mostra uma imagem complementar da linha de vapor de média pressão (13,5 bar_g).

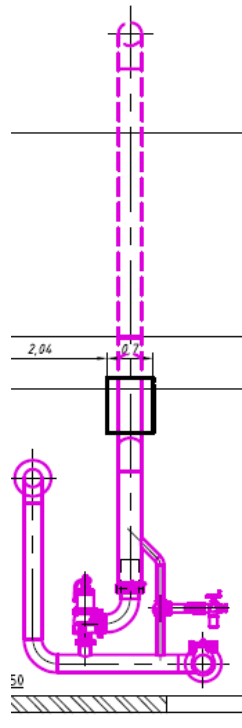


Figura 4.14. Alçado da linha de vapor 13,5 bar_g (média pressão).

Junto da válvula de segurança está instalada a válvula de escape usada no arranque da turbina. Nesta fase de arranque, a turbina irá aumentar a sua rotação até valores normais de operação, antes de ser comunicada à rede de vapor de processo da fábrica.

Também neste caso foram consideradas soluções particulares para respeitar os limites de carga nas flanges das turbinas.

A figura seguinte mostra uma isométrica da linha de vapor de média pressão (13,5 bar_g), na zona próxima da turbina, com a distribuição de tensões (valores em MPa).

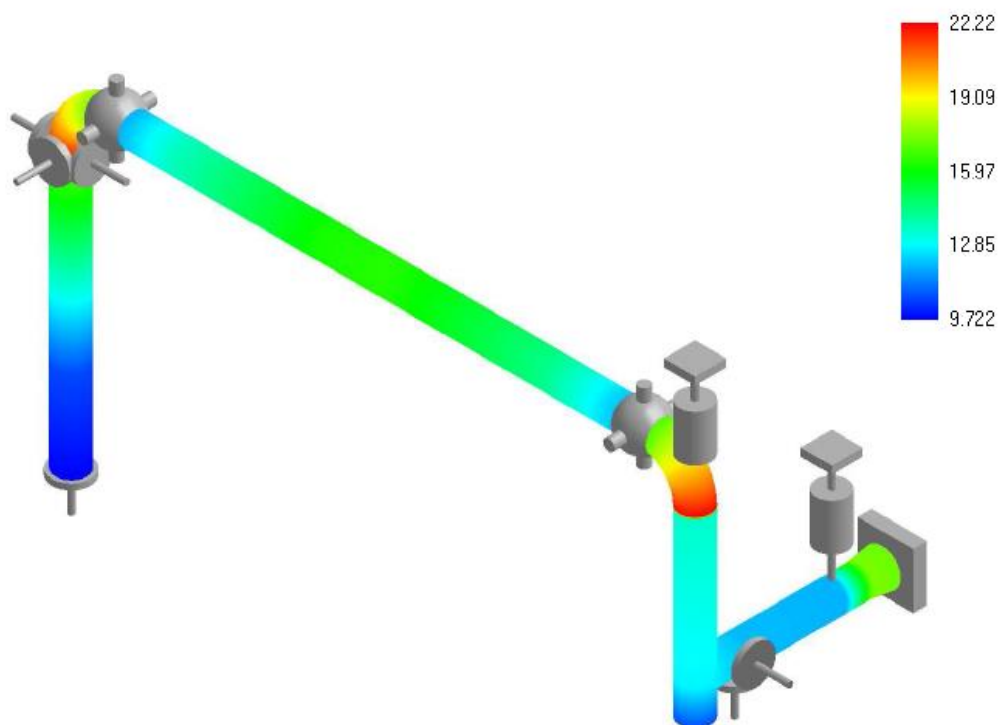


Figura 4.15. Distribuição de tensões na linha de vapor 13,5 bar_g (média pressão).

4.2.3.3. Linhas de Vapor de Baixa Pressão

A Figura 4.13 mostra também a linha de vapor de baixa pressão (cor roxo mais claro). Na imagem a linha sai do rotor de baixa pressão da turbina e segue um traçado concebido para dar resposta às cargas reduzidas na flange da turbina.

A linha foi considerada nas medidas correspondentes a um DN 400 mm e no material de construção EN grade, P235GH-TC1.

A Figura 4.16 seguinte mostra um alçado da linha, onde é possível verificar a existência de uma válvula de segurança, uma válvula de retenção e uma válvula de seccionamento, que isola a extração de baixa pressão (3,5 bar_g) da turbina da linha geral de baixa pressão da fábrica, que se encontra sob o piso de operação.

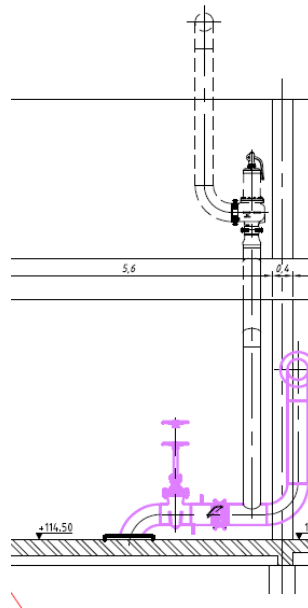


Figura 4.16. Alçado da linha de vapor de baixa pressão (3,5 bar_g).

Também neste caso foram consideradas soluções muito exigentes do ponto de vista construtivo para que fossem respeitados os limites de carga nas flanges das turbinas, definidos pelo fabricante.

A Figura 4.17 seguinte mostra a distribuição e tensões obtidas na linha em funcionamento (valores em MPa).

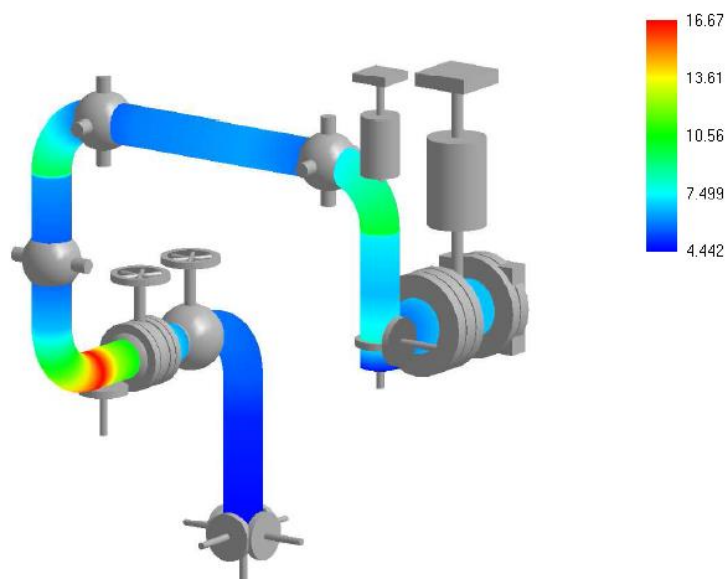


Figura 4.17. Distribuição de tensões da linha de vapor baixa pressão (3,5 bar_g).

4.2.4. Execução das Linhas de Vapor

A execução das linhas de vapor iniciou-se em oficina com o pré-fabrico de troços de linha e acessórios. Com algum material disponível, iniciaram-se posteriormente algumas montagens em obra nas linhas de vapor sob o piso da turbina. Pretendia-se que o piso da turbina permanecesse livre de equipamentos de modo a facilitar a montagem da turbina e alternador.

As ligações finais à turbina, relativas a linhas de vapor e utilidades, foram realizadas após montagem da turbina e alternador nas posições finais de funcionamento. Inclusive com o alinhamento das turbinas ao alternador concluído.

A execução das linhas seguiu as especificações definidas no projeto aprovado, e o controlo de qualidade das soldaduras foi supervisionado por organismo inspetor reconhecido.

O controlo de qualidade de construção teve como principais atividades:

- Validar os certificados dos materiais utilizados nas construções;
- Validar os procedimentos de soldadura;
- Validar os certificados de soldadores envolvidos na execução da obra;
- Validar a execução das soldaduras, acompanhando a preparação das mesmas, e seguir os ensaios não destrutivos considerados adequados em cada caso (radiografias, líquidos penetrantes, magnetoscopia, ultrassons).

4.2.4.1. Execução das Linhas de Vapor de Alta Pressão

A linha de vapor de alta pressão foi executada conforme isométrica de projeto apresentada no Anexo N.

A linha foi construída na sua maior parte nas dimensões relativas a DN150 mm e PN 100, com material 13 CrMo 4-5.

Os ciclones construídos em cada linha individual de alimentação a cada turbina foram executados conforme projeto, e já referidos na Figura 4.10.

Conforme requerido pela Siemens, na linha de vapor de alta pressão de cada turbina foram instaladas duas válvulas de seccionamento: uma automática; e outra manual (Figura 4.18).

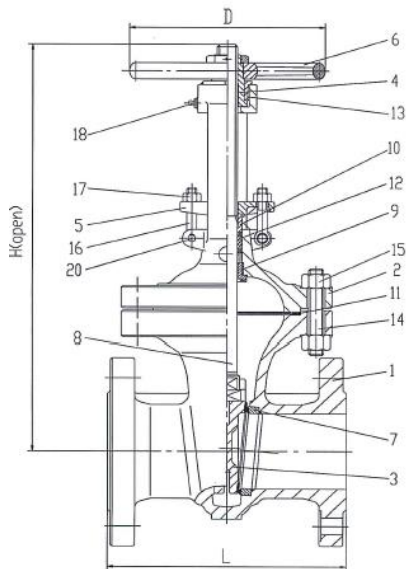


Figura 4.18. Válvula de seccionamento da linha de vapor alta pressão.

Para as diversas válvulas instaladas de menores dimensões, utilizadas em *bypasses* a válvulas maiores e purgas de linhas de vapor, optou-se pelo modelo ilustrado na Figura 4.19.

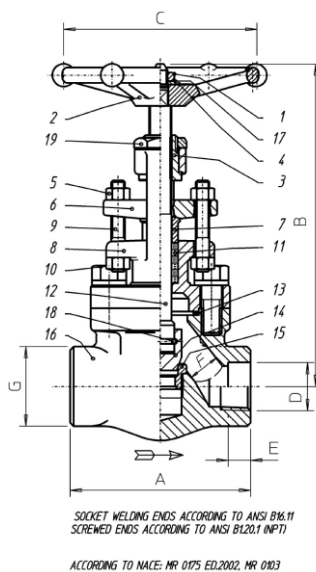


Figura 4.19. Válvula de purga da linha de vapor alta pressão.

No Anexo O apresenta-se a informação relativa à mola do suporte da Linha de Alta Pressão.

Concluídas as soldaduras e restantes montagens de válvulas nas linhas de vapor de alta pressão para as turbinas, iniciaram-se os preparativos para a limpeza das linhas conforme previsto na especificação de fabrico definida.

Seguindo as indicações da especificação do Anexo L, relativo às limpezas de linhas de vapor, fabricou-se um alvo conforme Figura 4.22, onde se colocaram espelhos de amostragem fabricados em alumínio.

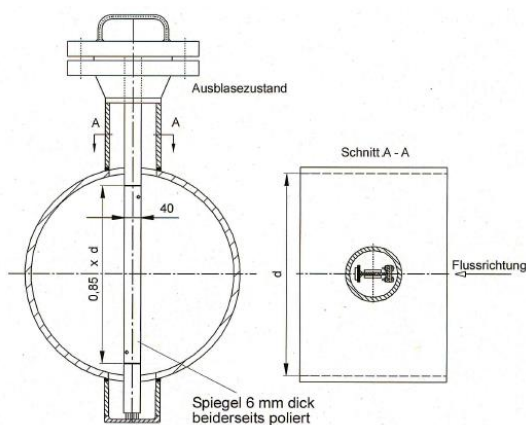


Figura 4.22. Alvo para limpeza linha de vapor alta pressão.

As linhas de vapor foram modificadas junto da entrada de cada turbina de forma a desviar o vapor não só de entrar nos equipamentos, mas também para permitir a instalação dos alvos de controlo de limpeza, conduzindo o vapor para uma zona exterior ao edifício, em condições de segurança.

Concluídos os preparativos definiram-se dois períodos diários de sopragem das linhas com vapor de alta pressão disponibilizado da rede geral da fábrica.

De forma a garantir a mais eficaz limpeza das linhas de vapor, foram seguidas as recomendações do procedimento descrito no Anexo L. Com a sopragem pretende-se limpar as linhas de vapor de qualquer sujidade que possa por em risco a integridade da turbina durante o seu funcionamento.

A sopragem realizada seguiu resumidamente o seguinte procedimento:

- Preparação do *by-passe* à turbina;
- Execução de linhas de escape do vapor para local seguro;
- Instalação de alvos de controlo de limpeza;
- Sopragem de cada linha de alimentação às turbinas individualmente;
- Garantiu-se um caudal de vapor de cerca de 25 t/h;
- Cada sopragem teve uma duração média de 10 min, com uma temperatura de cerca de 140°C, medida na superfície da tubagem das linhas de vapor a limpar;
- Entre cada sopragem foi garantido o total arrefecimento das linhas de vapor pelo que esta operação de limpeza deverá ser realizada com a totalidade das linhas a limpar sem qualquer isolamento térmico;
- Foram realizadas tantas sopragem quantas as necessárias até serem garantidos dois alvos seguidos com padrões de aceitação definidos no procedimento de referência. No caso presente a sopragem decorreu durante uma semana.

A Figura 4.23 seguinte mostra dois alvos de cada linha obtidos durante a sopragem.



Figura 4.23. Alvos da limpeza das linhas de vapor alta pressão.

4.2.4.2. Execução das Linhas de Vapor de Média Pressão

A execução da linha de vapor relativa às extrações de média pressão (13,5 bar_g) seguiu a isométrica representada no Anexo P. A linha foi executada nas dimensões relativas a um DN 250 e PN 25 no material grade EN 16 Mo3;

Saindo do 1º rotor da turbina, relativo à extração de média pressão, a linha desenvolve-se segundo um traçado que permita conduzir o vapor até à linha existente de vapor de processo de média pressão ou alimentar a 2º turbina de baixa pressão.

O traçado foi condicionado principalmente para responder às exigências de carga nas flanges das turbinas, definidas pelo fabricante do equipamento. Neste sentido, foram considerados para a linha da turbina 1 dois suportes de mola SP1 e SP2, conforme indicado no Anexo P. A Figura 4.24 lista o suporte de mola SP1.

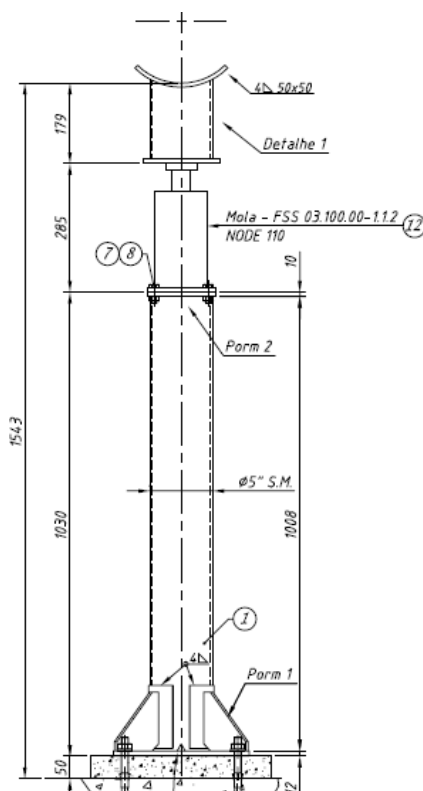


Figura 4.24. Suporte de mola SP1 da linha de vapor 13,5 bar_g.

A Figura 4.25 ilustra o suporte de mola SP2.

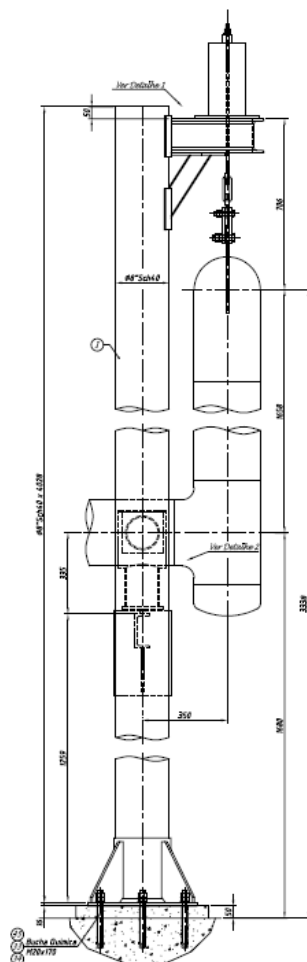


Figura 4.25. Suporte de mola SP2 da linha de vapor 13,5 bar_g.

As molas instaladas nos suportes SP1 e SP2 foram adquiridas ao mesmo fornecedor indicado (Anexo O).

Para além dos suportes referidos, foram ainda instalados compensadores de solução especial para que a dilatação nas linhas não alterasse as cargas nas flanges das turbinas.

Os compensadores JD1 e JD2 indicados no desenho do Anexo P estão representados na Figura 4.26 seguinte.

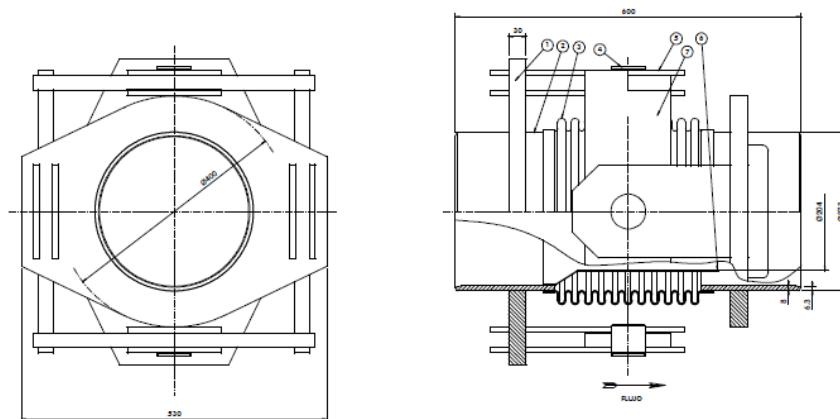


Figura 4.26. Compensadores da linha de vapor 13,5 barg.

Conforme previsto no projeto da linha foram instaladas diversas válvulas para segurança e operação da instalação. As Figura 4.27, Figura 4.28, Figura 4.29, Figura 4.30 e Figura 4.31 seguintes ilustram, respetivamente, as válvulas de seccionamento, segurança, de controlo, de retenção e purgadores instalados.

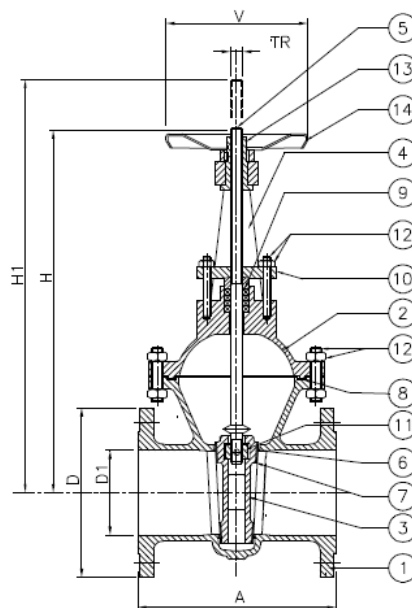


Figura 4.27. Válvula seccionamento da linha de vapor 13,5 barg.

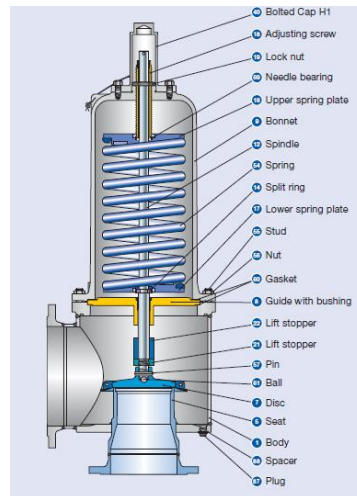


Figura 4.28. Válvula Segurança da linha de vapor 13,5 bar_g.

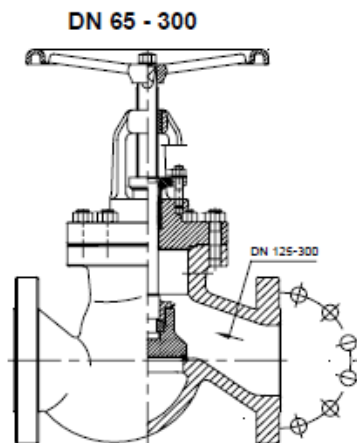


Figura 4.29. Válvula Controlo da linha de vapor 13,5 bar_g.

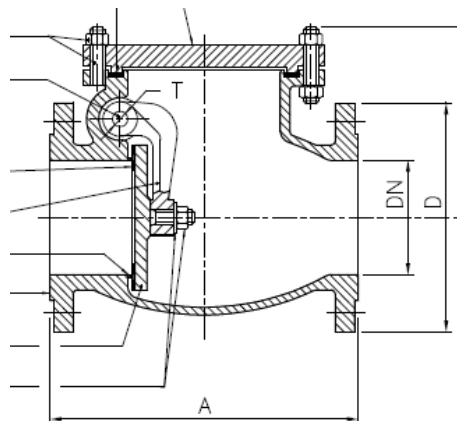


Figura 4.30. Válvula Retenção da linha de vapor 13,5 bar_g.

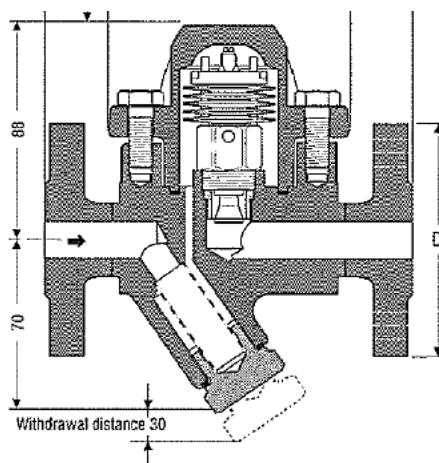


Figura 4.31. Purgador Bimetálico BK45 da linha de vapor 13,5 bar_g.

4.2.4.3. Execução das Linhas de Vapor de Baixa Pressão

A linha de extração de baixa pressão foi executada conforme isométrica do Anexo Q. A linha foi construída nas dimensões relativas a um DN 400 e PN16, no material grade EN P235GH-TC1.

Também neste caso o traçado da linha foi condicionado pelos requisitos de carga reduzidos nas flanges das turbinas. Foram instalados suportes e compensadores de construção pouco usual para que as dilatações na linha mantivessem as exigências definidas no projeto.

Os suportes de mola à linha seguiram soluções semelhantes às adotadas no caso da linha de média pressão. Na Figura 4.32 seguinte ilustra-se um dos suportes da linha.

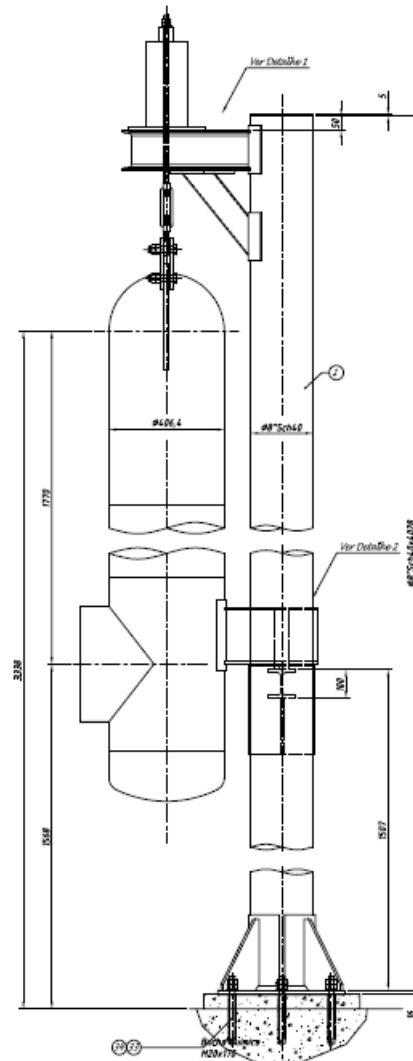


Figura 4.32. Suporte de mola da linha de vapor 3,5 bar_g.

As válvulas e purgadores instalados estão ilustrados também nas figuras apresentadas na linha de média pressão, apenas com alteração na dimensão instalada. Neste caso da linha de baixa pressão com dimensões relativas a DN 400 e PN 16.

5. MONTAGENS E COMISSIONAMENTO DA TURBINA

5.1. Montagem das Infraestruturas e da Turbina

5.1.1. Montagem da Turbina

Nesta fase de montagem da turbina pretendia-se colocar os equipamentos principais no local de funcionamento, concluir a obra civil das fundações e permitir dar seguimento às restantes montagens elétricas e mecânicas das interligações.

A montagem da turbina seguiu o plano apresentado no Anexo R, e caracterizou-se pelas principais fases de trabalho seguintes:

- Preparação da Montagem da Turbina;
- Montagem da Turbina.

5.1.1.1. Preparação da Montagem da Turbina

De forma a garantir que o processo de montagem da turbina fosse realizado conforme a data prevista e segundo o plano acordado, foram validadas algumas condições para que o trabalho pudesse ter início. Algumas das condições tidas em consideração na obra que libertaram o início do processo de montagem foram as seguintes:

- As fundações deveriam encontrar-se nas condições previstas para receber os equipamentos. Nomeadamente, no que respeita a verificação dimensional das fundações e acabamento das superfícies.

Neste sentido, foi assegurando ainda antes da betonagem final da base da turbina, a validação dimensional detalhada da obra por supervisor do fabricante da turbina;

- Todo o local de obra foi limpo e assegurado que as zonas de aplicação de betão final se encontrassem devidamente limpas;
- O Local de obra deveria encontra-se limpo e arrumado, com libertação do espaço envolvente necessário à colocação de equipamentos e manobras de montagem;
- Os meios de movimentação de cargas deveriam estar assegurados. Nomeadamente, gruas que permitissem descarregar e instalar os equipamentos no local de funcionamento, no interior do edifício;
- O edifício deveria estar preparado para receber os equipamentos. Neste sentido, procedeu-se a aberturas no telhado e alteração das estruturas do mesmo de forma a permitir a movimentação de cargas.

Foi ainda simulada a movimentação de cargas de forma a garantir que a abertura no telhado seria suficiente à movimentação dos equipamentos.

A Figura 5.1 seguinte ilustra alguma das simulações realizadas;

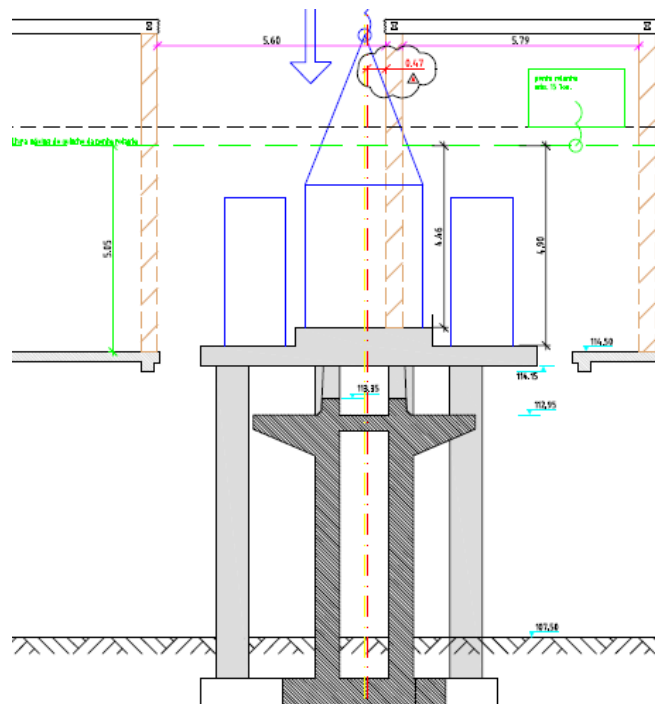


Figura 5.1. Simulação de movimentação de cargas.

- Os meios humanos e ferramentas especiais deveriam estar disponíveis para assegurar os trabalhos previstos.

Para que a preparação da montagem fosse assegurada e aceite por parte do fabricante da turbina, validando-se assim que as condições de início dos trabalhos estariam devidamente salvaguardadas, foi recomendado a elaboração de um documento onde as condições estivessem definidas e reconhecidas por ambas as partes: o dono do equipamento e a empresa fornecedora.

No ANEXO S apresenta-se o documento utilizado na confirmação das condições de montagem.

5.1.1.2. Montagem da Turbina

Garantidas as condições relacionadas com a preparação da montagem, seguiu-se a montagem propriamente dita da turbina, supervisionada por técnicos do fabricante.

Nesta fase de trabalhos foram definidas algumas condições e recomendações relativas ao serviço por forma a garantir o correto desenvolvimento das montagens.

Principais condições ou recomendações de montagens:

- Foi definido como limite de responsabilidade de fornecimento dos equipamentos, o fabrico e transporte dos mesmos até à sua entrega nas instalações da fábrica do cliente. Neste sentido, todos os equipamentos entregues foram verificados pelos técnicos da empresa fornecedora quanto ao seu estado, e validada a sua conformidade, libertando os equipamentos para montagem;
- As condições acordadas relativas à preparação da montagem foram verificadas pelos supervisores do fabricante da turbina;
- As especificações de montagem definidas pelo fabricante da turbina foram esclarecidas com toda a equipa envolvida, antes do início dos trabalhos. A Figura 5.2 seguinte ilustra alguns cuidados a respeitar na movimentação do alternador.

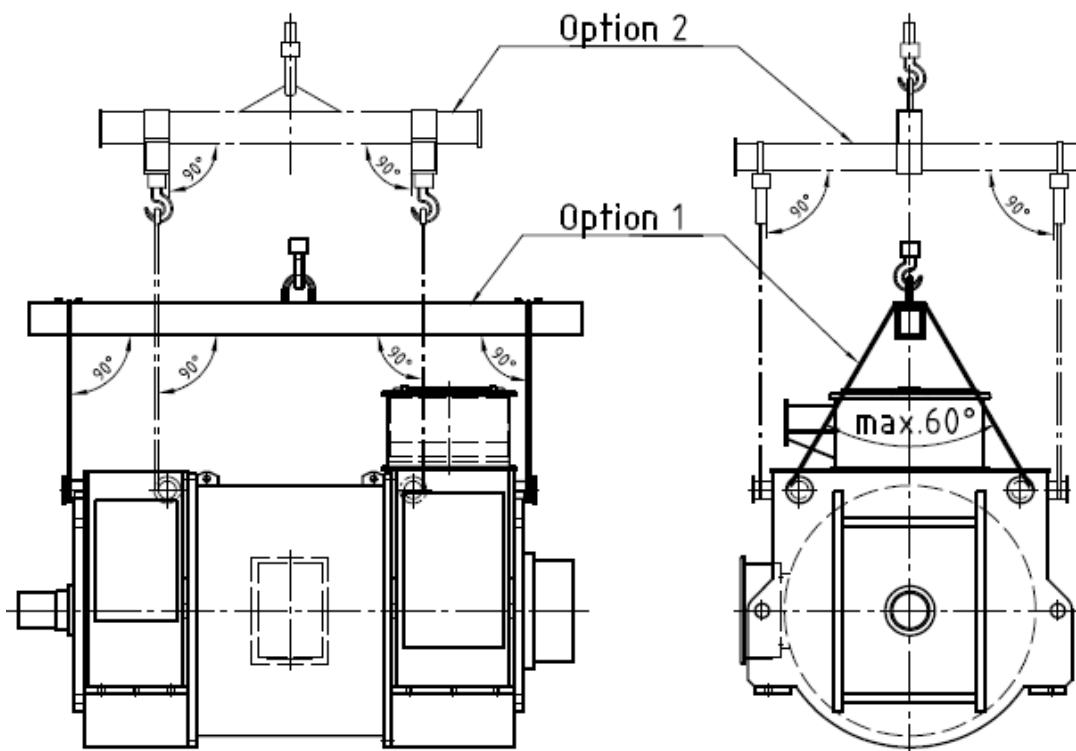


Figura 5.2. Movimentação de carga do alternador.

Verificadas as condições para início da montagem, os trabalhos começaram com as tarefas relativas à descarga dos equipamentos principais e acessórios do transporte, distribuindo-os pelas zonas de montagem mais adequados à sequência de montagens seguintes.

Depois de preparadas as aberturas na base (limpeza para aplicação de *grout*) e preparado o alternador com a colocação dos chumbadouros, o equipamento foi movimentado até ao local de funcionamento.

Na Figura 5.3 mostra-se o posicionamento do alternador na base construída. Veja-se o cuidado requerido para que o mesmo fique posicionado no local definitivo e devidamente nivelado.

Depois de colocado o alternador na base, é muito difícil proceder à limpeza das aberturas dos chumbadouros. Razão pela qual essa operação é feita previamente.



Figura 5.3. Posicionamento do alternador.

Posicionado o alternador, procedeu-se da mesma forma com a montagem das turbinas nos respetivos locais de funcionamento.

A Figura 5.4 seguinte mostra o conjunto das duas turbinas montadas já com o cimento de acabamento *Grout* aplicado em todos os chumbadouros, dando-se por concluída a obra civil.



Figura 5.4. Posicionamento das turbinas.

Após alguns dias de cura do betão final, dependendo das características e forma da aplicação do mesmo, procede-se ao realinhamento das turbinas ao alternador, ficando os equipamentos na posição final de funcionamento. Só após esta fase estar concluída, é dada como finalizada a montagem do conjunto de turbinas e alternador, libertando o início das restantes montagens das interligações mecânicas à turbina e ao alternador.

5.1.2. Montagem das Infraestruturas

O fabrico e montagem das infraestruturas seguiram um plano de execução contratado representado no Anexo T.

O plano apresentado teve em consideração as especificações para projeto e montagem de infraestruturas definidas pelo fabricante da turbina, e o contexto operacional do local de obra, de forma a cumprir com as datas contratadas à conclusão dos trabalhos.

A execução do projeto decorreu, numa primeira fase, em cerca de dois meses conforme previsto no plano. Todavia esta fase do trabalho veio a revelar-se mais extensa devido às dificuldades associadas aos limites das cargas nas flanges das turbinas. As soluções encontradas foram muito condicionadas pela limitada capacidade de resposta do mercado relativamente às características exigidas aos compensadores das linhas de vapor.

Definidos em termos gerais os detalhes do projeto, a fase relativa ao aprovisionamento de materiais revelou-se muito extensa devido aos elevados prazos de entrega de alguns equipamentos. Nomeadamente, compensadores e válvulas de seccionamento e controlo. De referir que em alguns casos os prazos de entrega de equipamentos relativos à montagem são de tal forma extensos que acabam por constituir o principal condicionamento ao prazo de execução da obra.

Neste caso, embora se tenha previsto um período de aprovisionamento de cerca de dois meses e meio, na realidade as montagens iniciaram-se quando se conseguiu disponibilizar em obra os compensadores e algumas válvulas de seccionamento, que permitisse uma execução sem interrupções do fabrico e montagens. Esta situação veio a traduzir-se em algumas semanas de atraso na execução das montagens.

O pré-fabrico não revelou dificuldades no cumprimento dos prazos. Normalmente é uma fase que apenas se encontra condicionada pela entrega de materiais e pode ser controlada por planos de fornecimento e execução em oficina.

A montagem da infraestruturas, para além das dificuldades já referidas, relacionadas com o atraso de alguns equipamentos (compensadores, e algumas válvulas de seccionamento), revelou-se também algumas semanas mais extensa que o previsto no plano de execução inicial, devido às exigências de qualidade e pormenores de montagem que seriam objeto de verificação apertada pelos supervisores do fabricante da turbina, e algumas dificuldades não previstas própria de contexto de obra que, embora tendo sido ultrapassadas, influenciaram o prazo de execução.

A Figura 5.5 seguinte mostra um pormenor de execução de tubagens de vapor.



Figura 5.5. Execução Tubagens de vapor.

Apresenta-se de seguida um resumo das principais dificuldades observadas no fabrico e execução e infraestruturas.

Dificuldade mais relevantes:

- Definição de soluções de projeto que respeitassem as exigências definidas nas especificações do fabricante da turbina;
- Encontrar no mercado alguns compensadores que servissem as exigências de projeto;

- Garantir os prazos de entrega de equipamentos (compensadores e válvulas), em tempo útil à execução da obra, garantindo os prazos de execução acordados;
- Garantir o cumprimento de alguns requisitos de qualidade de construção e montagem exigidas nas especificações do fabricante da turbina. Nomeadamente, a garantia dos limites de paralelismo das flanges das linhas de vapor às flanges das turbinas. Atendendo à configuração das linhas e apoios flexíveis necessários, essa exigência veio a revelar-se bastante complexa e de execução demorada em obra;
- Executar diversas alterações ao traçado previsto de novas linhas de forma a adequar o novo projeto com o conjunto de linhas e equipamentos existentes;
- Trabalhar num recinto fechado, com diversos equipamentos em funcionamento, foi também uma dificuldade presente em toda a obra. Por vezes a falta de espaço de trabalho, nomeadamente na execução de novas linhas, não permitiu a adoção de melhores traçados de projeto.

5.2. Comissionamento da Turbina

5.2.1. Requisitos de Início de Comissionamento

O comissionamento, sendo uma atividade de verificação da conformidade das montagens com os requisitos apresentados nas especificações do projeto de interligações definidas pelo fabricante da turbina, pressupõe que as mesmas montagens se encontrem concluídas no que seja exigido no início deste processo.

Embora alguns pormenores de montagem aguardassem verificação durante o comissionamento para se concluírem, outras montagens deveriam estar devidamente concluídas.

No caso da montagem da turbina em questão, alguns requisitos, acordados com o fabricante da turbina, deveriam estar garantidos para que o comissionamento pudesse ter início.

Principais requisitos necessários ao início do comissionamento:

- Os principais equipamentos deveriam estar montados;
- As tubagens de óleo de lubrificação deveriam estar concluídas;
- As tubagens de água de arrefecimento deveriam estar concluídas;
- As tubagens de vapor deveriam estar concluídas. Embora não apertadas às flanges da turbina. Estas deveriam ser controladas antes do aperto final das flanges;
- A sopragem ou limpeza das linhas de vapor deveria estar concluída;
- Toda a instalação elétrica e instrumentação deveriam estar concluídas, em condições de serem verificadas.

Estes e outros requisitos necessários ao início do comissionamento foram devidamente acordados e resumidos num documento apresentado no Anexo U.

5.2.2. Descrição das Fases de Comissionamento

A verificação da conclusão e qualidade especificada das montagens decorre, normalmente, em duas fases distintas:

- Comissionamento a Frio: Integra as verificações de montagens e equipamentos auxiliares, necessárias aos testes com vapor no equipamento principal, no comissionamento a quente;
- Comissionamento a Quente: Nesta fase é testado o funcionamento do equipamento principal, ainda sem carga e desligado da rede fabril.

O conjunto das tarefas e plano de execução, relativos ao comissionamento, foram devidamente detalhados e dados a conhecer a todos os intervenientes no processo.

Os Anexo V e Anexo X mostram, respetivamente, o documento com as tarefas do comissionamento e o plano de trabalhos previsto.

5.2.2.1. Comissionamento a Frio

O Comissionamento a Frio decorreu conforme plano, mas ainda numa fase final de montagens de algumas linhas de vapor. Nesta fase decidiu-se que algumas montagens fossem já supervisionas pelo técnico do fabricante da turbina, para evitar correções e atrasos posteriores.

Algumas das verificações mais relevantes deram origem a documentos de suporte de forma que a qualidade ficasse documentada.

A Figura 5.6 seguinte ilustra o documento relacionado com a aceitação da limpeza ou sopragem das linhas de vapor de alta pressão, de alimentação às turbinas.

The signer confirms that the live steam pipe to the turbine is blown out in accordance to the recommendations as given in the " instalation guidelines for STE-machines ".

The numbers and sizes of the impacts at the surface of the control-target is within the tolerances of the STE-standards.

This written record is only in apply to the present condition of the inlet steam pipes. Any further worsening of this will not be in the responsibility of STE.

remarks :

.....

confirmed by :

.....

company

name

date

signature

.....

Figura 5.6. Certificado de limpeza de linhas de vapor.

Uma das verificações de maior exigência do projeto das interligações mecânicas e também da própria montagem foi a relacionada com as cargas e paralelismo das flanges das linhas de vapor com as flanges das turbinas. Estas verificações foram também documentadas conforme Figura 5.7 seguinte.

The signer confirms that the pipe-stress either in cold or hot (operating) condition at the live- and exhaust steam branches of the turbine is within the maximum permissible range as given in the STE-errection/assembly drawing.

This written record is only in apply to the present condition (unit not in operation, thermal cold and valid only on the in-and outlet branches of the machine).

Any further worsening of this condition because of an alteration later on will not be in the responsibility of STE.

remarks: Check of the parallelism of the turbine connecting flanges (each turbine 3) has been carried out by STE- representative.
 The customer confirms, that the steam inlet and steam outlet area (area of steam pipe connections) at all of the turbines are absolutly clean and free of any loose parts.

confirmed by

NAME

COMPANY

DATE

Figura 5.7. Certificado de carga de linhas de vapor.

5.2.2.2. Comissionamento a Quente

O objetivo do comissionamento a quente é realizar os testes finais com toda a instalação em funcionamento. Os ensaios deverão ser realizados de forma planeada e faseada, primeiro nos equipamentos auxiliares e finalmente nas próprias turbinas e alternador.

Depois de cada ensaio deverão ser analisados e validados alguns dados de funcionamento que confirmem o correto desempenho dos equipamentos.

Para início desta fase de comissionamento a quente é indispensável que os requisitos seguintes estejam satisfeitos:

- O comissionamento a frio esteja concluído. Ou seja, todas as verificações validadas, inclusive as eventuais correções executadas e aceites;
- Toda a instalação Elétrica e de Controlo dos equipamentos estejam concluídas e testadas. Neste caso é recomendável a elaboração de um documento a evidenciar a conformidade das instalações;

Na Figura 5.8 apresenta-se um exemplo de Protocolo de Cablagem.

- Nesta fase, porque serão envolvidos meios humanos a executar os ensaios, é fundamental que os mesmos sejam devidamente divulgados e esclarecidos com todos os intervenientes;
- Alguns dos ensaios irão envolver a necessidade de disponibilizar grandes quantidades de vapor pelo que, estes ensaios em particular, deverão ser devidamente planeados e coordenados com a disponibilidade da fábrica.

Realizados todos os testes preliminares relacionados com o comissionamento a quente, com aceitação dos dados de ensaios recolhidos, procedeu-se ao primeiro ensaio de rotação da primeira turbina em 28 de Fevereiro de 2013.

Num primeiro ensaio de rotação, cada turbina foi ensaiada individualmente, sem estar acoplada ao alternador. Pretendia-se avaliar o comportamento dinâmico e ajustes de contacto nos dentes dos respetivos redutores. Neste caso, os ajustes que se verificaram serem necessários realizar nos redutores contribuíram com alguns dias de atraso nos ensaios previstos das turbinas.

The listed drawings sheets, belong to this protocol:

(Fazem parte deste protocolo as folhas:)

“Lista de cabos” LP01 e LP02 sheets 1 to 4

(“Lista de cabos” LP01 e LP02 páginas 1 a 4)

“Lista de cabos” of “Comando da Turbina” sheets 157 and 158

(“Lista de cabos” do Comando da Turbina páginas 157 e 158)

From Siemens manuals of this project.

(dos manuais da Siemens para este projecto.)

- All the cables marked in yellow on the “lista de cabos” are installed.

(- São considerados como “Instalados” os cabos das listagens anexas marcados a amarelo)

- All the cables marked in green on the “lista de cabos” are connected and tested.

(- São considerados “ Verificados” os cabos rubricados e marcados a verde.)

Data: _____ / _____ / _____

Figura 5.8. Protocolo de cablagem.

Finalizados os ensaios preliminares com sucesso, seguiram-se os ensaios de cada turbina agora ligadas ao alternador. Nestes ensaios foi dada particular relevância aos ajustes das pressões de controlo de vapor que cada turbina deveria garantir.

Com os ajustes definidos em cada turbina, e validado o ensaio no alternador, procedeu-se ao ensaio final das duas turbinas em funcionamento simultâneo com o alternador. Pretendia-se avaliar o comportamento dos equipamentos nesta situação, e validar eventuais ajustes que fosse necessário realizar no comportamento das turbinas a controlarem as pressões de vapor de entrada e extração de vapor. Os valores de pressão ajustados na instalação estão resumidos na Figura 5.9.

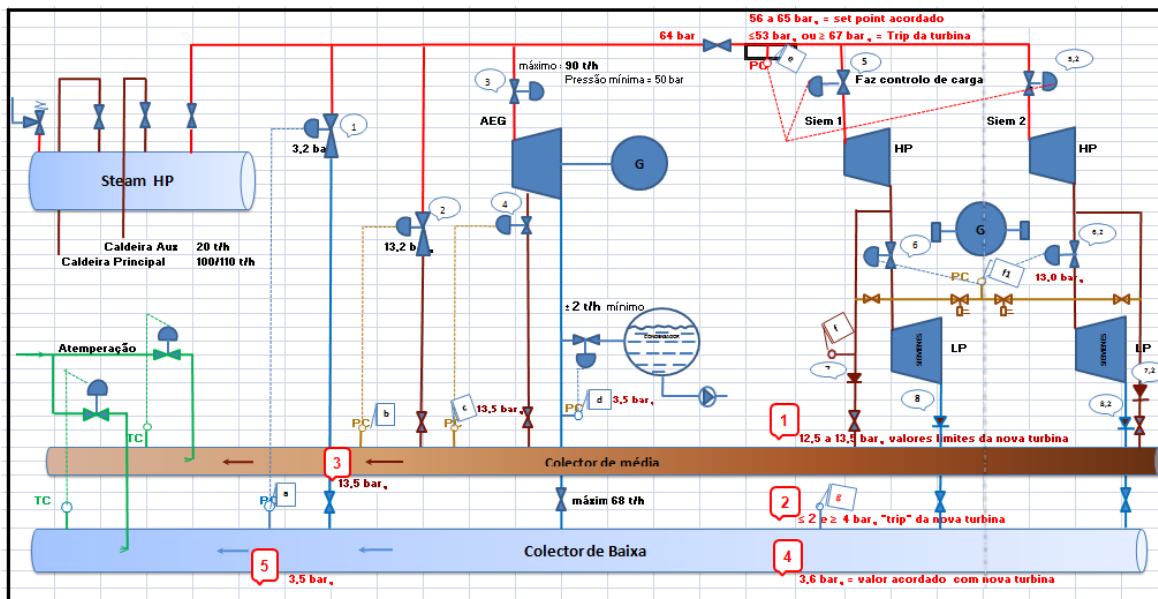


Figura 5.9. Valores de controlo de pressões.

Finalizados os ensaios previstos no comissionamento a quente, ajustados os valores de controlo de operação das turbinas, nas diversas soluções de funcionamento previstos, e feitas as correções necessárias, acordou-se a realização prevista em contrato do *Test Run* de cada turbina individualmente e em conjunto com o alternador, por um período de funcionamento de 24h.

Durante estes ensaios foram realizadas medições de vibração nos equipamentos não só para se obter a "assinatura" dos mesmos, mas também para garantir que os valores apurados estão dentro do esperado nas normas aplicáveis. A Tabela 5.1 seguinte ilustra os limites valores a considerar.

Tabela 5.1. Limites de valores de vibração.

| ISO 10816 Part III Group1 - Large machines with rated power below 50 MW | |
|---|--------------------------------------|
| Boundary | R.m.s. Vibration velocity (mm/s RMS) |
| A / B | 3,5 |
| B / C | 7,1 |
| C / D | 11 |

A Figura 5.10 lista alguns dos dados recolhidos nos diversos pontos de medição previstos nos equipamentos.

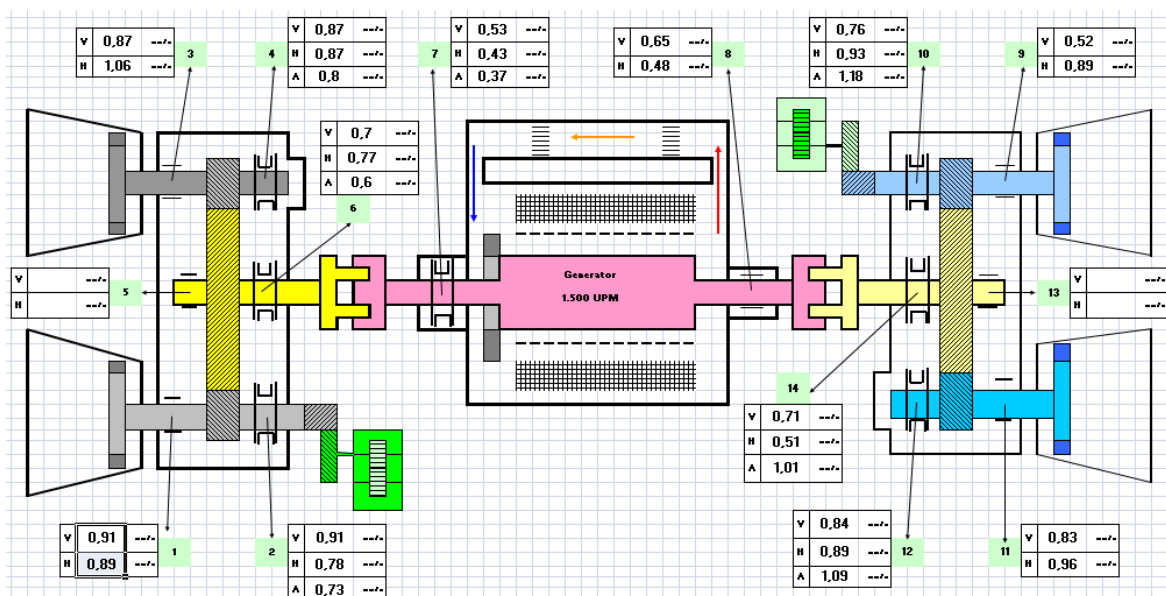


Figura 5.10. Valores de vibração.

No mesmo período de ensaios de *Test Run* foram ainda realizadas medições de ruído com o objetivo de verificar a conformidade com o Decreto-lei 182/2006, de 6 Setembro, que transpõe para ordem jurídica interna a Diretiva n.º2003/10/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 6 de Fevereiro, relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devido ao ruído.

A Figura 5.11 seguinte ilustra a localização nos pontos de medida: próximo da turbina 1 (P1) ou próximo da turbina 2 (P2).

Os resultados obtidos formam os seguintes:

P1: 91,8 dBA

P2: 89,4 dBA

O local de operação da turbina é feito no interior de uma sala de controlo devidamente insonorizada. Dado que os valores obtidos são superiores a 87 dBA (limite de segurança), os operadores terão que usar proteção individual sempre que ocasionalmente se tenham que deslocar junto dos equipamentos.

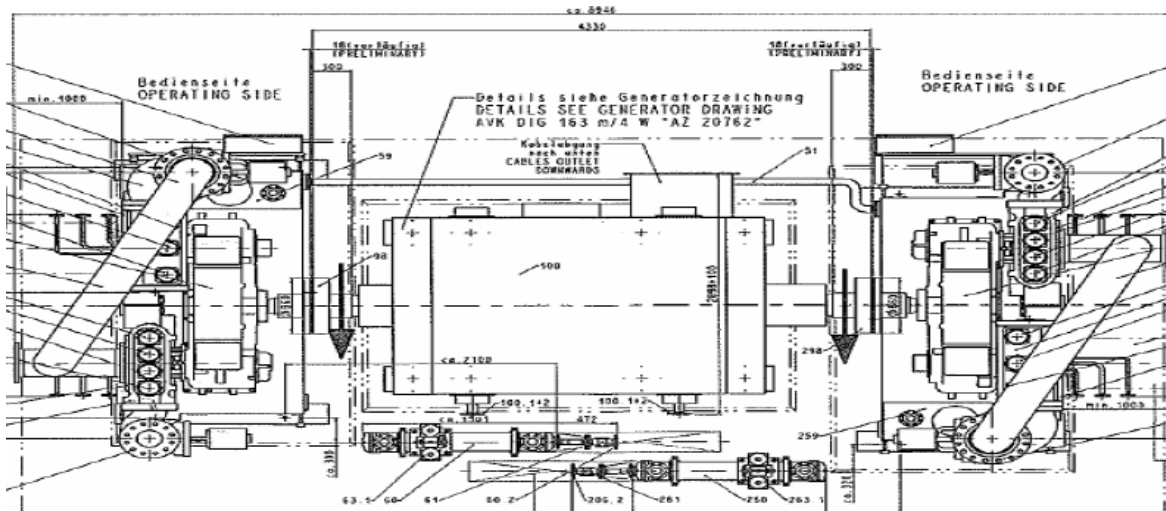


Figura 5.11. Localização dos pontos de medida.

↑
P1

↑
P2

Os ensaios de *Test Run* previstos no contrato, e nas diferentes modalidades de funcionamento possíveis, foram considerados concluídos e aceites no dia 19 Março de 2013.

A aceitação da obra foi formalmente descrita em ata onde foram apresentadas melhorias ou correções que, não sendo impeditivas da aceitação da obra, definiram responsabilidades quanto à sua resolução para efeitos de garantia.

6. FORMAÇÃO

A formação é uma atividade fundamental ao sucesso da implementação do projeto, mas principalmente na vida útil dos equipamentos.

Com a formação pretende-se garantir que os equipamentos irão funcionar nas condições previstas de operação e em condições de manutenção que assegurem a disponibilidade desejada.

6.1. Requisitos de Sucesso para a Formação

Para a definição da estratégia das ações de formação a desenvolver no projeto, foram definidos os seguintes requisitos tidos como fundamentais à eficácia da mesma:

- A documentação de suporte ao projeto deveria ser apresentada, logo que os dados estejam disponíveis, a todos os intervenientes de operação e manutenção dos equipamentos;
- A formação prática deveria ser iniciada logo durante a construção das infraestruturas e montagens da turbina;
- As equipas de operação e manutenção, devidamente preparadas e coordenadas pelos técnicos do fabricante da turbina, deveriam assegurar a operação dos equipamentos durante os diversos ensaios previstos no comissionamento e ensaios finais dos equipamentos.

6.2. Documentação de Projeto para Formação

Para assegurar a informação necessária a uma adequada formação, foram elaborados atempadamente diversos documentos para além dos manuais técnicos de operação e manutenção do fornecedor dos equipamentos.

No processo de formação foram fundamentais os esquemas de funcionamento com a definição das pressões de controlo já apresentadas na Figura 5.9, mas também descrições simplificadas de operação das máquinas conforme ilustrado nas Figura 6.1 e Figura 6.2 seguintes.

➤ **Arranque a frio**

- Abrir o by-pass da válvula eléctrica e manual da linha de alta pressão
- Abrir os drenos da linha de alta pressão
- Abrir os drenos manuais da turbina
- Após a temperatura de entrada de vapor vivo estar nos 300 °C, abrir a válvula manual (completamente) na linha de alta
- Carregar no botão **"preparação para o arranque"**

O botão irá ficar a "piscar", *(Agora a válvula de aquecimento da linha de vapor até à turbina, irá abrir. Quando a temperatura atingir os 370 °C, são dadas condições para sequência de arranque).*

Quando o botão **"preparação para o arranque"** ficar ligado em contínuo, significa que a turbina está pronta para iniciar (atingiram-se os 370 °C).

- Verificar que o colector de MP tem 13,2 bar_g
- Verificar que o colector de BP tem entre 3,6 bar_g
- Virar o botão **"comando"** para local.



- No quadro da turbina virar o botão da imagem seguinte para **"2= Turbina iniciar"** e largar

Figura 6.1. Procedimento de arranque da turbina.

Instruction for Start up of the TG – Unit (19.03.2013)**Preparation:**

- Preselect the operation mode at the electrical cabinet (single T1 or T2 or tandem)
- Open the valve in the 1" intermediate line (MP 13 bar) where the pressure transmitter is placed. If the unit will be operated in tandem mode, both of the valves must be open. Otherwise the valve of the side, which turbine will be operated must be open only.
- The switch for the auxiliary oil pumps and the switch both of the oil mist separator must be in position "Automatic – Mode".
- Also, the switch for the emergency oil pumps (DC) must be in position "auto".
- Check all of the drain lines in the live steam line, the MP line and the LP line, according the operating mode, which has been chosen
- Open the drain lines of the turbine which will be operated; the manual operated drain lines and the automatically operated drain lines too
- Open the block valve in the exhaust line (LP 3,5 bar)
- Open the block valve in the extraction line (MP 13 bar)
- Open the bypass valves for the block valve and the motor valve in the live steam line (HP 60 bar)
- Preheating the live steam line (HP 60 bar), by using the manual drain lines in the live steam line and the one of the turbine until the live steam temperature will be about 300°C
- Open the block valve (manual) in the live steam line (Help: to make it more easier, close the manual live steam drain valve at the turbine and wait until the live steam pressure before and after the block valve is equal)
- Reset the trip – alarms (red) at the touch panel.
- Press the button "Start Preparation" The motor valve in the live steam line, the blow off valve in the MP- line and the preheating motor valve for live steam will open. The auxiliary oil pump and the oil mist separators starting. At the touch panel will be displayed the status of the motor valves – for that press the soft button "Valves"
- Open the manual live steam drain valve for HP (60 bar) at the turbine again.
- Press the soft button "Start release" at the touch panel and it will be displayed, which one of the start conditions are missing.
- The button "Start Preparation" flashing, until all of the start conditions will be o.k.
- When this button changing from flashing to permanent on, the TG – Unit will be ready for start.
- According the position of the selector switch "Local / remote" the turbine can be started from the LCP (at the turbine) or in "remote" at the cabinet. The stop – command will be active all times at the LCP or the Cabinet independent of the position of the selector switch.
- The button "Emergency Stop" will be active all time at the local panel of the T1 and T2 and at the cabinet too.

Figura 6.2. Procedimento de operação da turbina.

7. PRÉ-MANUTENÇÃO

A preparação da organização da manutenção iniciou-se logo na fase de projeto, refletida já em algumas opções de execução que foram consideradas.

Durante o desenvolvimento do projeto foi-se preparando a informação que iria dar origem ao plano de manutenção da turbina. Pretendia-se, deste modo, que o plano de manutenção e meios humanos afetos à manutenção dos novos equipamentos estivessem preparados já na fase de montagens e arranque das novas instalações.

7.1. Nomenclatura Processual e Técnica

O plano de manutenção dos equipamentos iniciou-se com a definição da nomenclatura processual e técnica.

A nomenclatura processual definida baseia-se numa lógica de áreas, cadeias e unidades funcionais, funções e itens de manutenção numerados. A Figura 7.1 seguinte ilustra parte da nomenclatura criada para a turbina.

| AREA | DESIGNAÇÃO |
|------------------|--|
| T033 | Produção de Energia |
| T033-05 | Turbina Vapor |
| T033-05-01 | Turbina nº1 |
| T033-05-01-05 | Turbina de Alta Pressão (CRF 5) |
| T033-05-01-05-01 | Turbina 1 |
| T033-05-01-05-02 | Entrada de Vapor |
| | Válvula on/off (TRIP) |
| T033-05-01-05-03 | Válvula de Controlo |
| T033-05-01-05-04 | Difusores |
| T033-05-01-06 | Alimentação de Vapor à Turbina de Alta Pressão |
| T033-05-01-06-01 | Válvula manual |
| T033-05-01-06-02 | Válvula Motorizada |
| T033-05-01-06-03 | Motor da Válvula motorizada |
| T033-05-01-06-04 | Ciclone |
| T033-05-01-06-05 | V. Pré aquecimento |
| T033-05-01-06-06 | Motor da Válvula Pré-Aquecimento |

Figura 7.1. Nomenclatura processual da turbina.

7.2. Plano de Lubrificação

O plano de lubrificação seguiu as recomendações de lubrificação e lubrificantes do fabricante dos equipamentos. Qualquer ajustamento que seja solicitado deverá ser previamente validado pelo fabricante da turbina.

Na Figura 7.2 seguinte apresenta-se o plano de lubrificação definido para turbina.

| Mapa de Lubrificação por Localização | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----|---------|-------------------|-----------|-----------------------------|-------------|-------|--------------------|--|
| 24/01/13 | | | | | T033 - | | | | |
| Orgão a Lubrificar | Qt. | No. Pts | Lubrificante | Capac. UM | Acção | Tempo hh:mm | Freq. | Percurso No. Ordem | |
| Equipamento: GALPT33-13 - TURBINA | | | | | Local: | | | | |
| CARTER -1 | 1 | 1 | TURBINOIL 46 | 1800.0 | Ver nível/Atestar | 0.03 | 1 S | P3 | |
| CARTER -1 | 1 | 1 | TURBINOIL 46 | 1800.0 | Purgar | 0.12 | 2 S | P3 | |
| CARTER -1 | 1 | 1 | TURBINOIL 46 | 1800.0 | Retirar amostra | 0.12 | 26 S | P3 | |
| CARTER -1 | 1 | 1 | TURBINOIL 46 | 1800.0 | Mudar Condição Análise | 0.12 | 26 S | P3 | |
| CARTER-1, M.ELEC. AUX.-1 | 1 | 2 | BELONA PLEX 135-3 | | Lubrificar | 0.12 | 26 S | P3 | |
| CARTER -2 | 1 | 1 | TURBINOIL 46 | 1800.0 | Ver nível/Atestar | 0.03 | 1 S | P3 | |
| CARTER -2 | 1 | 1 | TURBINOIL 46 | 1800.0 | Purgar | 0.12 | 2 S | P3 | |
| CARTER -2 | 1 | 1 | TURBINOIL 46 | 1800.0 | Retirar amostra | 0.12 | 26 S | P3 | |
| CARTER -2 | 1 | 1 | TURBINOIL 46 | 1800.0 | Mudar Condição Análise | 0.12 | 26 S | P3 | |
| CARTER-2, M.ELEC. AUX.-2 | 1 | 2 | BELONA PLEX 135-3 | | Lubrificar | 0.12 | 26 S | P3 | |
| CH. ALTERNADOR, LA | 1 | 1 | TURBINOIL 46 | 1800.0 | Ver nível/Atestar | 0.03 | 1 S | P3 | |
| CH. ALTERNADOR, LOA | 1 | 1 | TURBINOIL 46 | 1800.0 | Ver nível/Atestar | 0.03 | 1 S | P3 | |
| FILTRO DUPLO DE ÓLEO | 1 | 1 | TURBINOIL 46 | 3600.0 | INSPECÇÃO VISUAL DE AMOSTRA | 0.12 | 4 S | P3 | |

Figura 7.2. Plano de lubrificação da turbina.

7.3. Plano de Inspeções

O plano de inspeções foi executado tendo como base o nº de pontos de medida indicados na Figura 5.10, com uma periodicidade mensal, e executado nos seguintes equipamentos:

- Turbinas;
- Alternador;
- Bombas do circuito de lubrificação.

O plano foi implementado num programa específico de controlo de condição que permite recolha de dados e análise da condição dos equipamentos.

A Figura 7.3 seguinte mostra uma imagem da análise de um ponto de medição no plano da turbina.

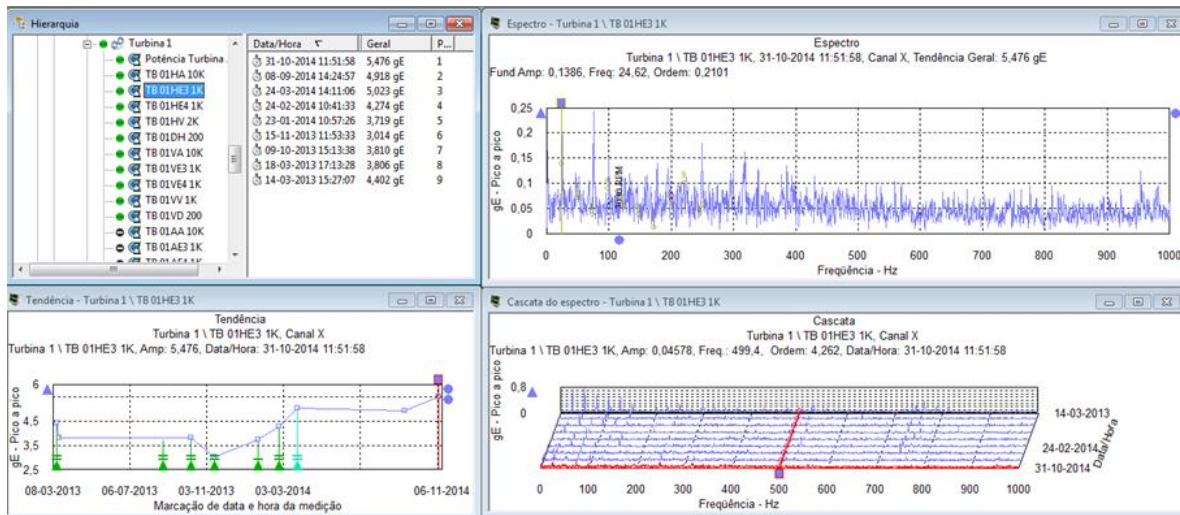


Figura 7.3. Análise de vibrações.

8. CONCLUSÕES

Neste trabalho apresentaram-se as diversas fases de execução do Projeto de Instalação de uma Turbina de Vapor, realçando as dificuldades e cuidados a ter em cada etapa da implementação do projeto, algumas das quais determinantes para o sucesso da implementação do mesmo.

Numa primeira fase, a análise do processo fabril permite caracterizar as necessidades e requisitos a que a nova turbina deve dar resposta, sendo por isso uma fase determinante ao sucesso dos resultados do projeto.

O projeto de infraestruturas para a instalação dos novos equipamentos é muito condicionado pelas características dos equipamentos adquiridos, mas também pelo contexto operacional do local de obra que se decida implementar. Neste sentido, a estratégia de integração dos novos equipamentos nas instalações fabris existentes é uma decisão com significativa influência técnica e económica no projeto.

A qualidade e controlo das montagens em equipamentos de elevada precisão são fundamentais para que a fiabilidade esperada dos novos equipamentos seja também refletida nas infraestruturas implementadas, contribuindo globalmente para o sucesso do projeto.

Finalmente a formação e participação dos intervenientes nas diversas atividades de projeto, desde o início da sua conceção, à montagem, comissionamento e arranque dos novos equipamentos é determinante para o sucesso do projeto e qualidade de operação e manutenção durante a vida dos equipamentos

8.1. Recomendações

Cada fase de execução do projeto apresenta diversos aspetos a ter em consideração. Alguns destes aspetos poderão não se verificar em outros projetos e será normal que surjam outros próprios do contexto operacional de cada projeto em concreto.

Procura-se aqui, fruto da experiência vivida neste projeto, destacar alguns requisitos considerados mais relevantes ao sucesso do mesmo.

- A análise do processo fabril e a caracterização dos requisitos técnicos dos novos equipamentos é determinante para o sucesso do projeto;
- A escolha dos equipamentos a adquirir é igualmente muito relevante, os mesmos deverão dar resposta aos requisitos definidos e condicionam totalmente o sucesso do projeto;
Nesta fase é muito importante o conhecimento das características funcionais dos novos equipamentos e, se possível, conhecer o seu comportamento em outras aplicações já ao serviço;
- O processo de aquisição deverá ser devidamente documentado quanto ao âmbito de fornecimento, limites de responsabilidades e prazos/planos de execução. Esta informação é determinante para os cadernos de encargos a definir para os serviços de fabrico e montagens;
- Os requisitos técnicos recomendados pelo fabricante do equipamento deverão estar rigorosamente refletidos nos cadernos de encargos das empresas envolvidas no fabrico e montagens das instalações. A fiabilidade das novas instalação depende diretamente das características dos equipamentos mas também da qualidade das montagens associadas;
- A supervisão da qualidade do fabrico e das montagens, conforme as melhores práticas de fabrico e montagens, bem como a verificação do cumprimento em obra dos requisitos do fabricante, é indispensável às garantias da execução do projeto. Neste sentido, é recomendável a intervenção de empresas de inspeção e controlo de qualidade durante a execução do projeto;
- A verificação da conformidade das montagens pelo fabricante dos equipamentos, conforme requisitos definidos, deverá estar prevista no contrato de fornecimento dos equipamentos. Pode significar um custo significativo na obra, e é uma tarefa necessária à execução do projeto;
- A formação dos intervenientes na operação e manutenção dos equipamentos deverá ser ministrada com a antecedência possível, envolvendo inclusive os diversos intervenientes nas fases iniciais de projeto, até à execução das verificações de comissionamento e ensaios

de arranque. Esta preparação é fundamental à correta operação e manutenção das instalações na vida útil dos equipamentos.

8.2. Plano de Execução

Com o plano apresentado no Anexo Y pretende-se resumir as principais fases de execução do Projeto de Instalação de uma Turbina de Vapor, indicando os tempos de execução e interligação de tarefas, de forma a constituir um auxiliar a projetos similares.

Os tempos de execução deverão ser ajustados a cada realidade concreta, dependendo do contexto operacional e soluções técnicas a consideradas.

Particularmente o tempo de fabrico e entrega da turbina pode oscilar consideravelmente, dependendo do tipo e dimensão da turbina em aquisição.

LISTA DE NORMAS E LEGISLAÇÃO USADAS NA ELABORAÇÃO DO PROJETO

- ANSI / AGMA 2101 - C95. 1996, Fundamental rating factors and calculation methods for involutes spur and helical gear teeth.
- Dec. Lei nº 182/2006 de 6 de Setembro. “Diário da República nº 172 – 1ª Série”. Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social. Lisboa.
- DIN 1943. 1975, Thermal acceptance tests of steam turbines.
- DIN 3960. 1987, Concepts and parameters associated with cylindrical gears and cylindrical gear pairs with involutes teeth.
- DIN 4024. 1955, Machine foundations.
- DIN 4312, 1983. Industrial-type turbines; steam turbines and gas expansion turbines; construction principles for industrial-type turbines.
- DIN EN 563. 2000, Safety of machinery – Temperatures of touchable surfaces.
- DIN ISO 10816-3. 2009, Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts.
- DIN ISO 1940-1. 2003, Mechanical vibration – Balance quality requirements of rigid rotors.
- Diretiva 2004/108/CE de 15 de Dezembro. Parlamento e Conselho Europeu.
- Diretiva 2006/42/CE de 17 de Maio. Parlamento e Conselho Europeu.
- Diretiva 2006/95/CE de 12 de Dezembro. Parlamento e Conselho Europeu.
- Diretiva 97/23/CE de 29 de Maio. Parlamento e Conselho Europeu.
- Diretiva 97/23/CE de 29 de Maio. Parlamento e Conselho Europeu.
- EN ISO 12100-1. 2003, Safety of machinery -- Basic concepts, general principles for design -- Part 1: Basic terminology, methodology.
- EN ISO 12100-2. 2003, Safety of machinery -- Basic concepts, general principles for design -- Part 2: Technical principles.
- EN ISO 13732-1. 2006, Ergonomics of the thermal environment -- Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces -- Part 1: Hot surfaces.
- EN ISO 13850. 2006, Safety of machinery -- Emergency stop -- Principles for design.
- EN ISO 14121-1. 2007, Safety of machinery -- Risk assessment -- Part 1: Principles.
- ISO 10816-3. 2009, Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts - Part 3: Industrial machines with nominal

power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15000 r/min when measured in situ.

VGB R-513. 2006, Internal cleaning of water-tube steam generating plants and associated pipe work.

ANEXO A

Desenho de Conjunto Turbinas e Alternador

ANEXO B

Desenho do Alternador

ANEXO C

Características do Alternador

ANEXO D

Curva de Potência da Turbina

ANEXO E

Desenho de Processo e Instrumentação

ANEXO F

Plano de Qualidade de Fabrico da Turbina

ANEXO G

Plano de Fabrico da Turbina

ANEXO H

Dimensões e Cargas da Turbina

ANEXO I

Especificação Geral para Projeto de Infraestruturas

ANEXO J

Desenho da Base da Turbina

ANEXO K

Desenho do Escoramento da Cofragem

ANEXO L

Procedimento para Limpeza de Linhas de Vapor

ANEXO M

Desenho Geral de Interligações

ANEXO N

Isométrica da Linha de Vapor de Alta Pressão

ANEXO O

Mola do Suporte da Linha de Vapor de Alta Pressão

ANEXO P

Isométrica da Linha de Vapor de Média Pressão (turbina1)

ANEXO Q

Isométrica da Linha de Vapor de Baixa Pressão (turbina1)

ANEXO R

Plano de Montagem da Turbina

ANEXO S

Confirmação das Condições de Montagem

ANEXO T

Plano de Execução e Montagem de Infraestruturas

ANEXO U

Confirmação das Condições de Comissionamento

ANEXO V

Descrição das Tarefas de Comissionamento

ANEXO X

Plano dos Trabalhos de Comissionamento

ANEXO Y

Plano de Instalação de uma Turbina de Vapor