

## CENTRAL MINI-HÍDRICA DO MEIMÃO – APROVEITAMENTO HIDROAGRÍCOLA DA COVA DA BEIRA

**Silvério RAMALHO**

*Eng.º Electrotécnico, Direcção de Produção – Centrais Hídricas, Efacec Engenharia e Sistemas SA, Carnaxide, Portugal,  
sramalho@efacec.com*

**João ORNELAS**

*Eng.º Mecânico, Gestão de Projectos – Centrais Hídricas, Efacec Engenharia e Sistemas SA, Carnaxide, Portugal,  
joao.ornelas@efacec.com*

### RESUMO

A central mini-hídrica do Meimão é uma infra-estrutura de produção de energia hidroeléctrica. A produção de energia é realizada através da turbinagem do caudal de água, transferido da albufeira da barragem do Sabugal para a albufeira da barragem da Meimoa, aproveitando o desnível médio de cerca de 215m existente entre as duas albufeiras.

A sua construção foi adjudicada em 2008, pela Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural ao consórcio Efacec Engenharia SA (Efacec)/Chupas e Morrão SA, com um prazo de execução de 540 dias. A Efacec foi responsável pela engenharia, fornecimento, montagem e comissionamento dos equipamentos eléctricos e electromecânicos da central.

A conversão da energia é realizada por uma turbina do tipo Francis, de eixo horizontal, acoplada a um gerador síncrono com uma potência de 6270kVA e tensão de produção de 6kV. A emissão para a rede eléctrica nacional é feita a 15kV, através de um transformador elevador de potência. A central é totalmente automatizada, com supervisão remota, permitindo, à excepção da realização das rotinas de manutenção programada, um regime de funcionamento “abandonado”.

Toda a engenharia do sistema de comando e controlo e das instalações eléctricas foi desenvolvida pela Efacec e traduz a sua experiência, ao longo de mais de 30 anos de actividade, nesta área. Os equipamentos eléctricos de Média Tensão são também de tecnologia Efacec e fabricados em Portugal.

No que diz respeito ao desenvolvimento da empreitada, utilizaram-se procedimentos e metodologias recomendadas pelo *Project Management Institute* ©, o que permitiu a conclusão da obra dentro do prazo e no orçamento previsto.

Palavras-Chave: energia hidroeléctrica, mini-hídrica, Meimão, Efacec

## 1. INTRODUÇÃO

A central mini-hídrica do Meimão é a infra-estrutura de produção de energia hidroeléctrica do aproveitamento hidroagrícola da Cova da Beira. A empreitada de construção da central foi promovida pela Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural e os trabalhos foram consignados em Maio de 2008, ao agrupamento de empresas formado pela Efacec Engenharia SA e Chupas e Morrão SA. A Efacec Engenharia SA foi o líder do consórcio e a empresa responsável pelo fornecimento dos equipamentos da central.

Esta comunicação pretende, sob ponto de vista do âmbito de fornecimento da Efacec, apresentar os principais equipamentos fornecidos e respectivos sistemas envolvidos na produção de energia da mini-hídrica do Meimão. Também se aborda sumariamente as principais fases deste projecto.

## 2. CENTRAL MINI-HÍDRICA

A central mini-hídrica, apresentada na figura 1, localiza-se na margem direita da ribeira da Meimoa, junto à albufeira da barragem com o mesmo nome. Pertence à freguesia de Meimão, concelho de Penamacor no distrito de Castelo Branco. Esta infra-estrutura insere-se no aproveitamento hidroagrícola da Cova da Beira e a sua principal função é fazer o proveito dos caudais transferidos da albufeira da barragem do Sabugal para a albufeira da barragem da Meimoa.

A central recebe a água de um circuito hidráulico constituído essencialmente por uma tomada de água e respectiva torre de manobra, um túnel com cerca de 4km de comprimento e uma conduta forçada de aproximadamente 550m de extensão e um diâmetro no troço final de 1200mm. À saída do túnel existe uma chaminé de equilíbrio para protecção do túnel, contra variações excessivas de pressão. O circuito-hidráulico inclui ainda uma derivação na sua parte final, para uma válvula dispersora do tipo jacto-oco. Esta válvula permite fazer a transferência de água em caso de indisponibilidade da central.



Figura 1 – Mini-hídrica do Meimão - Conduta, Central e Válvula de Jacto-Oco

## 2.1. Edifício

O edifício da central está dividido em quatro zonas principais, conforme a figura 2: átrio de descarga de equipamentos, zona equipamentos eléctricos, sala de comando e controlo, zona do grupo e equipamentos auxiliares. O edifício está ainda equipado com instalações sanitárias e uma sala para arrumos. No exterior fica o parque do transformador elevador de potência.

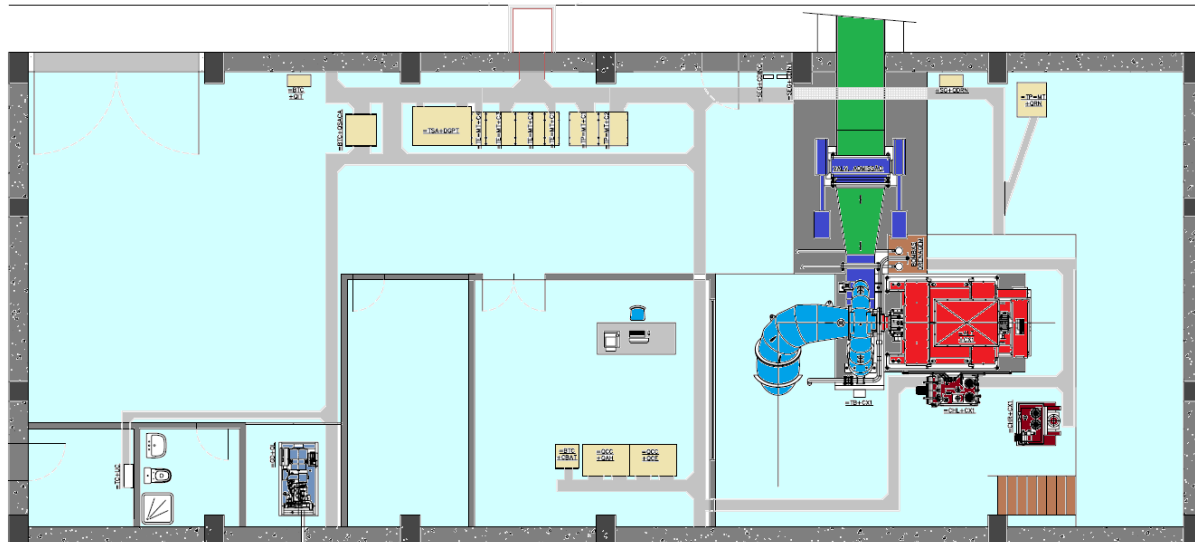


Figura 2 – Planta do edifício

## 2.2. Grupo

A central produz energia eléctrica a partir de um grupo horizontal, constituído por uma turbina de reacção, do tipo Francis, um gerador síncrono trifásico e respectivos sistemas auxiliares. Na figura 3 podemos observar a turbina, o gerador, a unidade de lubrificação e, em segundo plano, o by-pass da válvula de guarda.



Figura 3 – Turbina e gerador

A função da turbina é converter a energia mecânica do líquido em energia mecânica disponível no seu veio. Neste caso, a turbina, cuja roda se pode observar na figura 4, aproveita uma queda bruta que varia entre 205.5m e 221,5m. Está dimensionada para uma condição nominal de funcionamento com 213.2m de queda e 3m<sup>3</sup>/s de caudal, desenvolvendo neste ponto uma potência no veio de 5800kW. A sua velocidade nominal é de 1000rpm.



**Figura 4 – Roda da turbina (690mm de diâmetro)**

A montante da turbina foi instalada uma válvula de guarda do tipo borboleta, com fecho por contra-peso, cuja função é o isolamento da turbina e órgão de protecção em caso de falha no fecho do distribuidor. A válvula dispõe de by-pass para equilibragem de águas na manobra de abertura.

A conversão da energia mecânica em energia eléctrica é feita num gerador síncrono com uma tensão de produção de 6000V. A roda da turbina encontra-se acoplada directamente no veio do gerador, suportando a chumaceira do lado do ataque o impulso hidráulico da turbina. Para evitar variações bruscas de velocidade e consequentes variações de pressão, e para facilitar o controlo da unidade, o gerador está equipado com volante de inércia.

A regulação da tensão do gerador, na fase de sincronização com a rede, é feita por um regulador de tensão automático, através do ajuste da corrente de excitação do rotor do gerador. Após o paralelo com a rede, o regulador de tensão controla o factor de potência do gerador.

### 2.3. Equipamento Eléctrico de Média Tensão

Os equipamentos eléctricos de média tensão funcionam como interface entre a energia produzida no gerador e a rede ou entre a rede e a central. Os principais são os quadros de média tensão de 6kV e 15kV, o transformador elevador de potência e o transformador dos serviços auxiliares.

Estes equipamentos garantem a ligação ou saída (voluntária ou devido a actuação de protecção) do gerador da rede, permitem a transformação da tensão para emissão, possibilitam que seja feita a contagem da energia e a transformação de energia eléctrica para utilização dos serviços auxiliares de baixa tensão da central.

A saída de potência do gerador está ligada a um quadro de 6kV. Este quadro contém a cela do disjuntor de grupo, que possibilita a sua sincronização com a rede, a sua saída ou o seu isolamento. A saída deste quadro está por sua vez ligada a um transformador elevador 6/15,75kV, com 6MVA de potência. Este transformador eleva a tensão de geração para a tensão da rede para que esta possa ser transferida para esta. Antes de ser colocada na rede, a energia produzida, já com a tensão de emissão, passa ainda por um quadro de média tensão de 15kV, onde é feita a contagem de energia e são verificados se os parâmetros eléctricos da rede estão dentro dos limites definidos. Este quadro está também equipado com uma cela para a protecção do transformador dos serviços auxiliares e uma cela com disjuntor para ligação/fecho/isolamento do transformador elevador no patamar de tensão de 15kV.

Na figura 5 observa-se o quadro de média tensão, constituído, como referido atrás, pelas seguintes celas, a contar da direita para a esquerda: cela 6kV de saída do gerador; cela de 6kV de saída para o transformador elevador; cela de 15kV de chegada da linha; cela de 15kV de contagem e medida; cela de 15kV de saída do transformador elevador; cela de 15kV de protecção do transformador para os serviços auxiliares.



Figura 5 – Quadros de média tensão de 15kV e 6kV

Todo o equipamento eléctrico de média tensão instalado foi desenvolvido e fabricado pela Efacec em Portugal.

A central está ainda equipada com o grupo diesel de emergência para fornecer energia eléctrica em caso de falha da rede.

## 2.4. Sistema de Automação e Supervisão

O sistema de automação implementado, cuja arquitectura é apresentada na figura 6, possibilita que a exploração da central seja feita de forma automática, em regime de abandono. A operação automática é controlada por um autómato programável e pode ser telecomandada remotamente. Apesar de automatizada, existem contudo, comandos que podem ser realizados manualmente para operações de manutenção ou de ensaio de equipamentos.

No sistema de supervisão além da visualização em tempo-real da instalação, é feita a recolha e armazenamento numa base de dados dos parâmetros mais relevantes de funcionamento, para posterior avaliação do desempenho do sistema ou despiste de defeitos. São recolhidos os parâmetros eléctricos das protecções de grupo e de linha e dos analisadores de energia (potências, tensões, correntes, etc.), e os parâmetros mecânicos a partir da instrumentação de campo instalada (temperaturas, níveis, pressões, etc.).

O sistema também prevê, na presença de um defeito, o envio de uma ou mais mensagens SMS para o telemóvel do operador/supervisor.

Toda a lógica do sistema de comando e controlo da central foi desenvolvido pela EFACEC, e é fruto de uma experiência acumulada de cerca de 30 anos de actividade.

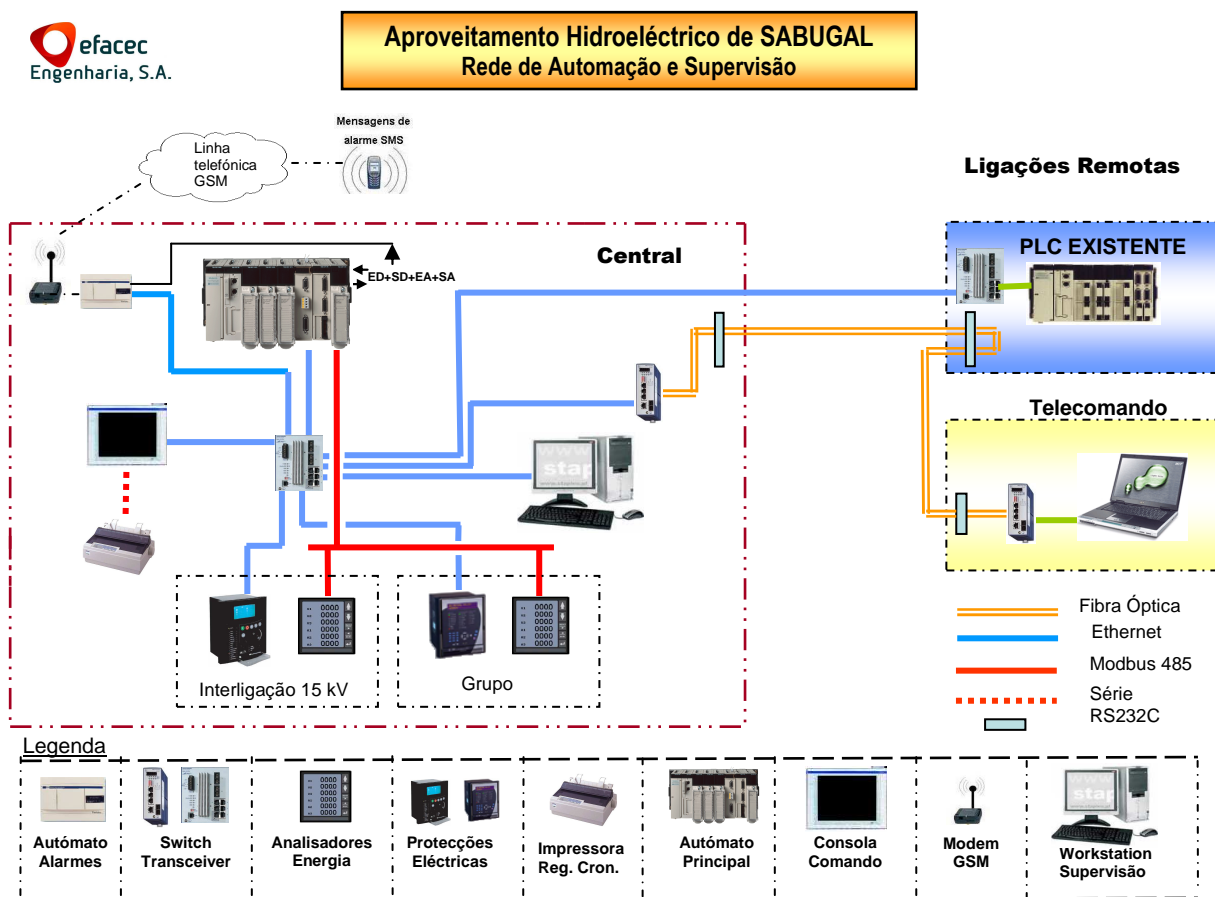


Figura 6 – Arquitectura do Sistema de Automação e Supervisão

### 3. GESTÃO DO PROJECTO

A empreitada de construção da central hidroeléctrica é um projecto chave-na-mão, incluindo construção civil e equipamentos.

A Efacec foi responsável pela engenharia, fornecimento, montagem e comissionamento dos equipamentos eléctricos e electromecânicos da central, fazendo também a coordenação e integração da engenharia e controlo do programa de trabalhos global.

Este projecto, no que diz respeito ao fornecimento dos equipamentos, dividiu-se em quatro fases distintas: Estudos, Aprovisionamentos, Montagem e Ensaios, que se abordam seguidamente.

#### 3.1. Estudos

Esta fase engloba todos os estudos, projectos dos equipamentos e sistemas e análises de integração dos mesmos. É também elaborado o programa de trabalhos base e preparados os contratos de aquisição dos equipamentos e serviços a fornecer.

Das análises realizadas, salienta-se a análise de risco do projecto, onde é feito o levantamento dos riscos e são previstas as respectivas acções mitigadoras ou supressoras. Esta análise é fundamental e o seu objectivo é prever os possíveis problemas que possam ocorrer durante o projecto.

Fundamental nesta fase é também perspectivar a fase de montagem e planear em detalhe os seus procedimentos, de forma a antever possíveis conflitos entre os requisitos necessários e os previstos. Por exemplo, deve ser observadas se as dimensões dos acessos são compatíveis com as dimensões dos transportes, o mesmo acontecendo com espaços para descarga e montagem e dimensões dos equipamentos.

Neste projecto, foi de grande importância a conclusão dentro do prazo dos planos guia de construção civil, para a elaboração do projecto de execução do betão de 1ª fase. São estes desenhos que definem a geometria dos maciços necessários para os equipamentos, em particular para o grupo gerador, transformadores e as dimensões das caleiras para passagem de cabos eléctricos. O cumprimento do prazo desta entrega era fundamental devido ao constrangimento imposto pela necessidade de realizar as fundações antes do início do Inverno. Um pequeno atraso nesta tarefa poderia implicar vários meses de atraso nesta empreitada. Na figura 7 evidencia-se a forma do betão de 1ª fase, necessária para a instalação da turbina e gerador.



Figura 7 – Maciço do grupo – 1ª fase

### 3.2. Aprovisionamento

O aprovisionamento diz respeito essencialmente à fase de fabrico dos equipamentos. Esta fase pode sobrepor-se em parte à anterior, caso existam alterações de projecto. Durante este período é feito o acompanhamento do fabrico com o controlo do fornecimento, montagens em branco e ensaios em fábrica, como por exemplo o ensaio de pressão da câmara espiral, apresentado da figura 8.



Figura 8 – Ensaio de pressão da câmara espiral da turbina

Na empreitada em questão, o aprovisionamento dos equipamentos decorreu em paralelo com a execução do betão de 1ª fase do edifício. Existiu nesta fase uma coordenação de trabalhos com metas muito objectivas, para ter o edifício com as condições indispensáveis à instalação dos equipamentos, assim que estes fossem chegando à obra.

O caminho crítico passou pelo aprovisionamento da turbina, com um prazo de produção de dez meses, tendo-se neste caso uma especial atenção ao seu fabrico e fazendo-se um acompanhamento muito próximo, de forma a se detectar precocemente desvios ao programa de trabalhos e ser possível ainda a sua correcção.

### 3.3. Montagem

Nesta etapa é feita a instalação física dos equipamentos no seu local definitivo e a montagem de todas as instalações complementares de produção. Antes da chegada dos equipamentos à obra, há que avaliar as condições locais e garantir que estão reunidos os requisitos necessários para o início da montagem, sobretudo no que diz respeito à fronteira com a construção civil. Destes salientam-se por exemplo, o estado do edifício que deve encontrar-se seco, limpo e protegido, os acessos sem condicionamentos para o transporte dos equipamentos e a betonagem de 1ª-fase concluída, com eixos dos equipamentos principais localizados.

No caso em análise, o primeiro equipamento a ser instalado e ensaiado foi a ponte rolante, já que seria o meio utilizado para descarregar, movimentar e posicionar os restantes equipamentos.

Chama-se a atenção para a importância do correcto posicionamento dos equipamentos, segundo os eixos e cotas definidos no projecto, sobretudo para o caso da turbina, do gerador e da



conduta forçada. A figura 9 mostra a utilização de um nível óptico para encontrar a cota do eixo da turbina.



**Figura 9 – Posicionamento da turbina**

A montagem dos equipamentos e instalações eléctricas foi feita em paralelo com a montagem dos equipamentos mecânicos. A duração total foi cerca de três meses, sendo a montagem do grupo feita em quatro semanas.

### **3.4. Ensaios**

Esta é a fase final do projecto e corresponde à verificação do funcionamento e desempenho dos equipamentos e à confirmação de que os mesmos atingem os requisitos contratuais. É testado o funcionamento global da instalação, fazendo-se, em caso de necessidade, o ajuste de parâmetros e correcções na instalação. Após esta fase a instalação deverá estar pronta para ser entregue ao cliente.

No caso de uma mini-hidráulica, os ensaios realizados ao grupo subdividem-se habitualmente nas seguintes sequências:

#### **3.4.1. Verificações prévias**

São feitas logo após a montagem e antes do enchimento da conduta forçada. Consistem sobretudo em inspecções visuais, verificação de ligações eléctricas, medida de parâmetros eléctricos como resistências de isolamento de máquinas eléctricas, afinação de tempos de abertura/fecho de órgãos de manobra, verificação das sinalizações de protecção e medida, parametrização de alarmes, ensaio dos sistemas auxiliares (unidades de regulação, unidades de lubrificação, sistema de drenagem). Após o enchimento da conduta é observada a existência de fugas de água.

#### **3.4.2. Primeira rotação**

Resume-se ao primeiro movimento das peças rotativas após a montagem. Sob controlo manual, procede-se à abertura da válvula de guarda e distribuidor até o grupo atingir a velocidade mínima de funcionamento contínuo permitida. Procuram-se neste passo, ruídos ou vibrações.

#### **3.4.3. Ensaios de Funcionamento**

Estes ensaios dividem-se em Ensaio em Vazio e Ensaio em Carga. Nos ensaios em vazio, com o grupo fora da rede e sob controlo manual, na velocidade mínima verifica-se a evolução da temperatura nas chumaceiras. Aumenta-se posteriormente em patamares predefinidos a velocidade do grupo até à nominal, observando-se a taxa de elevação da temperatura nas chumaceiras, ruídos, deformações ou vibrações anormais, fugas, etc. É também observado o desempenho e boa operação dos sistemas auxiliares. São também testadas as protecções mecânicas do grupo.

Os ensaios em carga são ensaios realizados com o grupo na rede, com objectivo de verificar o seu comportamento nesta situação (instabilidade, ruídos vibrações, temperaturas, variações de pressão causadas nos transitórios). Este ensaio é feito em patamares de carga normalmente 25%, 50%, 75% e 100% da nominal. Em cada patamar é feito o respectivo ensaio de rejeição, que consiste em provocar uma paragem de emergência a partir da actuação das protecções eléctricas. São observados os valores de sobrevelocidade e sobrepressão e se necessário ajustam-se os tempos de fecho para que a sobrevelocidade seja a menor possível, dentro dos limites permitidos de aumento de pressão.

No fim, é realizado o ensaio de estabilização de temperaturas do grupo, ficando este a funcionar à carga nominal até as temperaturas se manterem constantes. Consideram-se estabilizadas quando o seu aumento é inferior a 1°C em 30 minutos. Ajustam-se se necessário as protecções de temperatura para alarme e disparo dos equipamentos, com base nos resultados obtidos.

#### 3.4.4. Ensaio de Operação

Neste ensaio testam-se as diversas situações de operação da instalação global, em modo de comando automático.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Actualmente o principal desafio que se coloca neste tipo de projecto é encontrar uma solução que permita diferenciar e tornar mais competitiva a construção de uma mini-hídrica.

Uma gestão de projecto rigorosa e bem planeada permite que sejam otimizados custos. Para o sucesso de um projecto é ainda fundamental a realização da análise de risco do mesmo. As surpresas e o imprevisto devem ser evitados. Também muito importante é fazer o acompanhamento activo de fornecedores e consorciados, e promover uma comunicação eficaz com o cliente e seus representantes.

## BIBLIOGRAFIA

PENCHE, C. (1998). "Electromechanical Equipment" in Layman's Handbook on How to Develop a Small Hydro Site, Commission of the European Communities, Directorate-General for Energy, Bruxelas (Bélgica), pp.153-198.

IEC Technical Committee N. 4, (1976). IEC-545 Guide for Commissioning, Operation and Maintenance of Hydraulic Turbines, International Electrotechnical Commission, Geneve (Suíça).