

Geração elétrica ecológica em sistema de abastecimento de água.

José Miguel Perez

Engenheiro mecânico e agrônomo, Cientista e Professor de Sistemas Hidráulicos pela Universidade Autônoma de Madri.

Roberto Rodriguez

Engenheiro Industrial e Especialista em Energias Renováveis, Gerente de Desenvolvimento de Negócios na ALISEA ESCO.

Endereço: Edificio Las Américas III, Calle Adolfo Pérez Esquivel 3 Planta 1 Ofic. 7 28232 Las Rozas, Madrid - Espanha Tel: +34 916375710 e-mail: i.urzedo@alisea.es.

RESUMO

O desenvolvimento e promoção de tecnologias renováveis, fiáveis e rentáveis, da geração distribuída e de uma cultura social e empresarial baseada na poupança de recursos e na eficiência dos processos são conceitos fundamentais na sociedade de hoje e de amanhã. Um sistema de abastecimento de água à população é constituído, entre outros elementos, por tubos forçados que ligam reservatórios ou captações com estações de tratamento, reservatórios principais e rede de distribuição. São múltiplos os pontos em que se manifesta um excesso de pressão produzido pela diferença de níveis ao longo das tubagens, que deve ser dissipado por meio de elementos redutores ou reguladores, de forma a garantir a segurança e o correto funcionamento da rede; e que representam potencial energético desperdiçado. Por outro lado, as empresas que gerem o ciclo da água, pela sua natureza e processos, são grandes consumidoras de eletricidade, sendo o consumo de eletricidade um dos principais custos operacionais neste tipo de empresa.

PALAVRAS-CHAVE: Geração de energia renovável, geração de energia ecológica, geração de energia potencial hidráulico.

TURBOGERADOR PARA GERAR ENERGIA RENOVÁVEL

A empresa espanhola Perga Ingenieros, S.L. desenvolveu um Turbogenerador, uma máquina inovadora, patenteada e rentável que, pelas suas características, viabiliza técnica e economicamente os aproveitamentos hidrelétricos existentes nas redes de abastecimento de água, até agora descartados.

Este turbogenerador é um grupo de microturbina hidráulica gerador assíncrono trifásico submersível (IP68), com conexão direta através de um eixo de aço inoxidável (sem a necessidade de elementos intermediários, como multiplicadores, etc.). Tudo isso montado dentro de um tubo de aço carbono com flanges padronizados em suas extremidades, que gera eletricidade a partir de fontes 100% renováveis. Oferece as seguintes vantagens:

- Alto rendimento, até 70%
- O gerador submersível proporciona o resfriamento ideal do gerador e de seus rolamentos (prolongando sua vida útil), elimina completamente o risco que a máquina acarreta ao ser instalada em locais altamente suscetíveis a inundações (câmaras subterrâneas) e elimina a necessidade de instalação de equipamentos de refrigeração ou ventilação forçada (consumo adicional e maior manutenção).
- O desenho axial proporciona um aspecto compacto e menos volumoso, ausência total de ruídos e vibrações, montagem fácil e rápida (colocar o turbogenerador no eixo e aparafusar as flanges) e custos reduzidos de instalação (não requer trabalhos de ancoragem), permitindo a sua instalação na posição horizontal, vertical ou inclinada
- É uma tecnologia comprovada: 20 instalações executadas. (Espanha, França, Chile, Colômbia e Brasil (Sabesp Queluz)).
- Zero impacto ambiental

- Seu funcionamento é autônomo, sendo controlado por um CLP. E não requer pessoal permanente designado para a instalação
- Adequado para uso em água potável (possui certificação ACS), não requer o uso de óleos ou lubrificantes.

O Brasil tem uma topografia muito favorável para este tipo de instalação, pelo que existe um enorme potencial energético ainda por explorar e uma grande oportunidade para implementar a nova tecnologia espanhola nas suas redes de abastecimento, com os importantes benefícios sociais e económicos que daí advêm.

DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO ELETROMECHANICA

O Turbogenerador que se propõe instalar foi desenvolvido pela PERGA INGENIEROS, S.L. e é uma máquina compacta, fácil de usar, montar e desmontar, e totalmente alagável. Cada um deles é composto por uma turbina e um gerador assíncrono trifásico submersível IP68 alojado dentro de um tubo metálico.

O Turbogenerador PERGA é composto pelos seguintes elementos:

- Turbina
- Gerador
- Eixo e acoplamento turbina-gerador
- Tubo metálico

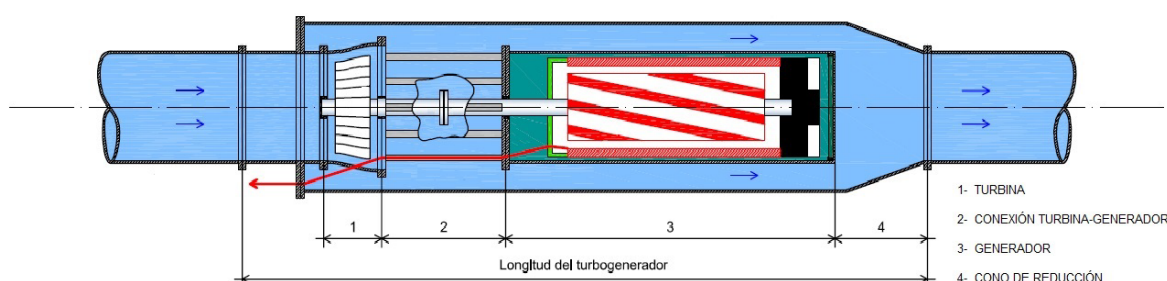


ImageM 1: Seção do Turbogenerador PERGA

Sua instalação é simples, pois possui duas flanges padronizadas soldadas nas extremidades do tubo metálico, que é feito de tubo de aço de 8 mm de espessura.

A energia elétrica gerada circula pelos cabos instalados no seu interior e que passam para o exterior através de duas (ou quatro) prensas soldadas à flange de montante até ao painel de controlo e proteção, a uma tensão de 440 V.



Imagem 2: Turbogenerador PERGA de 100 kW instalado na entrada da ETA de Griñón (Espanha)

O funcionamento do Turbogenerador é desassistido por pessoal permanente pois está equipado com um PLC, e a partir do qual são emitidos alarmes e instruções de regulação e abertura/fecho dos elementos de corte e regulação, bem como a ligação/desconexão do próprio Turbogenerador.

A programação desenvolvida por esta empresa será utilizada para sua implementação no PLC para controle e comando da instalação eletromecânica a ser instalada e adequando-se às características do sistema de controle à disposição do proprietário da instalação, conforme comentado.

De acordo com as características de altura, indicadas na informação fornecida pelo cliente, a turbina será monofásica e será composta por um difusor e um impulsor.

O difusor da turbina será do tipo tubo perfilado, com pás fixas que direcionam a entrada de água para o impulsor no sentido mais adequado de forma a minimizar as perdas de carga. Serão utilizadas as de ferro fundido cinzento e possuem mancal radial de material comestível, onde o eixo de aço inox é apoiado, e seu resfriamento é feito pela própria água turbinada (não são utilizadas graxas e óleos para lubrificação).

O rotor da turbina é monoestágio, fechado, multicanal, semi-axial, fabricado em bronze 90/10 e é responsável por transformar a energia hidráulica potencial do cabeçote em energia mecânica e transmiti-la ao turboeixo de aço inoxidável AISI 431, em que é maciço e sua fixação ao eixo é através de bucha cônica ou chaveta, embora anteriormente tenha que ser balanceado dinamicamente de acordo com a norma VDI 2060. A velocidade nominal em que girará será de 3.600 r.p.m., embora quando for dando sua potência máxima pode chegar a 3.640/3.645 r.p.m.

O gerador é um motor assíncrono trifásico ligado em estrela para a tensão de geração de 440 V. É do tipo inundável com índice de proteção IP 68, capaz de suportar pressões superiores a 15 kg/cm².

O tubo que aloja no seu interior o estator, que é feito de chapa magnética de grão orientado, é feito de aço inoxidável AISI 316 titânio (norma DIN 1.4571).

A isolamento do enrolamento do estator é classe Y, conforme CEI 34, e é capaz de suportar temperaturas de até 90°C. A sonda Pt 100 é acoplada a esta isolamento para controlar a temperatura no interior do gerador.

O gerador utilizado neste uso possui um mancal contraaxial e um axial. Este último é fabricado para funcionar tanto no sentido horário quanto no sentido anti-horário e com capacidade de suportar os impulsos axiais transmitidos pelo impulsor, que podem oscilar entre 12,5 e 75kN. Ambos os rolamentos são resfriados tanto pelo fluxo de água turbinada quanto pelo refrigerante interno, que é grau alimentício.

O interior do gerador é preenchido com um líquido anticongelante de qualidade alimentar, capaz de suportar temperaturas até -30°C . Este líquido é dotado de um sistema de refrigeração interna circulante movido por micro-impulsores acoplados ao próprio eixo do grupo para homogeneizar as temperaturas e evitar gradientes de calor dentro do gerador.

O rotor é do tipo "gaiola de esquilo" e nas áreas de atrito com os mancais é revestido com buchas de bronze para evitar desgaste.

Da mesma forma, o gerador está equipado com um sistema de compensação de pressão junto ao mancal axial que evita o colapso devido a altas pressões externas, por meio de um diafragma elástico em contato com a água, tanto fora quanto dentro do gerador. Além disso, possui uma válvula de compensação de pressão localizada na extremidade oposta ao diafragma.

Do lado da turbina, o gerador é equipado com um selo mecânico de alta qualidade para evitar o fluxo de refrigerante na água turbinada e vice-versa.

A tensão gerada é completamente senoidal (sem harmônicos) e sua conexão com a rede elétrica é extremamente simples. Os pontos de conexão, nos testes realizados em bancada de testes, estão entre 1 e 1,2 vezes a intensidade nominal do gerador, razão pela qual não haverá distúrbios ao conectá-lo à rede elétrica de distribuição, mesmo em baixa tensão.

Por tudo o que foi exposto, verifica-se o cumprimento do requisito de que, para evitar a contaminação da água, não sejam utilizados equipamentos que requeiram óleos lubrificantes e refrigerantes e rolamentos e peças rotativas.

Conforme descrito anteriormente, o eixo do grupo (turbina e gerador) será fabricado em aço inox capaz de suportar os esforços transmitidos pela turbina (rotor) e será voltado para os mais altos padrões das normas vigentes.

A conexão entre o eixo da turbina e o eixo do gerador é feita por meio de um acoplamento direto e rígido (sem multiplicador), evitando assim um dos pontos críticos de falha quando um multiplicador de conexão é instalado e, por outro lado, consegue um maior desempenho geral do Turbogenerador. Também é fácil de montar e desmontar, de acordo com as normas NEMA.

A turbina, o gerador e os eixos de acoplamento estão alojados dentro de um tubo metálico (sino) fabricado em aço carbono ST.37.0 conforme DIN-1629, pintado internamente com resina epóxi grau alimentício e externamente com tinta epóxi anticorrosiva.

Em ambas as extremidades possui flanges padronizadas soldadas e parafusos de qualidade 8/8.

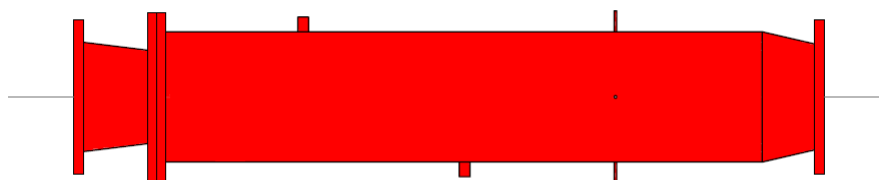


Imagem 3: Estrutura metálica do Turbogenerador PERGA

O aproveitamento hidrelétrico estudado nesta proposta possui um Turbogenerador PERGA com tensão de geração de 440 V e velocidade de 3.600 r.p.m. Do Turbogenerador, sai por suas respectivas prensas com quatro condutores de cobre flexível 0,6/1 kV para uma caixa de ligação estanque que ficará localizada dentro da caixa de visita hidráulica, e o condutor de cobre blindado $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$, correspondente à proteção Pt-100 sonda previamente instalada no enrolamento do estator do gerador.

A partir da caixa de terminais é conectado ao painel principal de controle, controle e proteção por meio de condutores flexíveis de cobre 0,6/1 kV. Da mesma forma, e seguindo o mesmo layout, será conectado com um condutor de cobre flexível blindado de $(20 \times 2,5 \text{ mm}^2 / 0,6/1 \text{ kV})$, correspondente à sonda de proteção Pt-100 e sinais e diferentes acionamentos.

Dentro do gabinete de controle, comando e proteção, serão instalados os elementos correspondentes aos elementos de potência (dimensionados para 125% da I_n), controle e proteção e fiação. Em outro gabinete que

ficará localizado após o anterior, serão colocados os capacitores, distribuídos em várias etapas para obter um fator de potência maior que 0,96. Nenhum regulador de frequência ou inversor será instalado.

CARACTERÍSTICAS DO PAINEL ELÉTRICO

- O transmissor de frequência, cuja missão é detectar a velocidade alcançada pelo turbo em função da vazão e da pressão que o atinge, e cujo objetivo é determinar quando a velocidade síncrona é atingida para conectá-lo à rede de 440 V, enviando um comando para o PLC.

- O analisador de rede que terá comunicação direta com o PLC para enviar os dados correspondentes a correntes, tensões, potências, energias, fator de potência, etc. E uma das principais missões deste elemento é detectar as potências máximas e mínimas que o turbogerador está dando a cada momento, para que caso sejam ultrapassadas, dê a ordem de parada. Todos os dados descritos podem ser vistos "TEMPO REAL" em sua tela.

- O chamado relé "anti-ilhamento" que terá proteções de frequência máxima e mínima (81) ajustadas entre 61 e 59 Hz com tempo de disparo de 0,2 s, tensão máxima (59) ajustada para 1,1 Vn com tempo de disparo de 0,6 s, tensão mínima (27) ajustada para 0,85 Vn com um tempo de disparo de 0,6 s. e proteção de deslocamento vetorial (78).

Todos esses relés enviarão seus sinais para o PLC, que será instalado em outro gabinete adicional, que dará o comando ao contator 31K12, que se encarrega de fazer tanto a conexão quanto a desconexão do Turbogenerador à rede, mas lembrando que por se tratar de um gerador assíncrono sua conexão com a rede não será feita até atingir uma velocidade entre 90% e 100% da velocidade síncrona.

Cada gerador, ou grupo deles, possui um quadro elétrico para ligação e medição, que inclui a manobra e as proteções necessárias para a operação segura da máquina, da instalação e das pessoas.

Inclui ainda um armário de controle, separado da alimentação, equipado com um e uma tela sensível ao toque e a cores que será programado de acordo com as normas do cliente para a sua correta integração na sua rede de telecomando e manutenção, quer por ligação à sua rede existente ou por modem GSM.

As proteções básicas consideradas são:

- Proteção diferencial de fuga à terra.
- Proteção de tensão máxima e mínima.
- Proteção de tensão zero no local.
- Proteção de frequência máxima e mínima, e sua taxa de variação.
- Proteção anti-ilha, ou deslocamento vetorial.
- Proteção contra sobrecorrente.
- Relé de segurança, parada de emergência.
- Proteção para potência máxima e mínima gerada.
- Proteção contra superaquecimento do gerador.

Caso alguma das proteções acima atuasse, o contator geral seria comandado para abrir e a válvula borboleta instalada a montante fecharia.

Uma dessas saídas analógicas do CLP atuará na válvula de bloqueio instalada a montante do Turbogenerador, que possui um motor monofásico de corrente alternada que é alimentado através do Sistema de Energia Ininterrupta (UPS) existente ou a ser instalado.

O restante das saídas darão: alarmes, desligamento do Turbogenerador por vazão, por mínima potência gerada, por excesso de temperatura, por descontrole, etc.

Da mesma forma, é instalado um regulador de potência reativa, que atuará sobre o banco de capacitores colocado de acordo com a potência do Turbogenerador, para manter um fator de potência maior que 0,95 e menor que 1.

A medição de vazão necessária para a operação de regulação será obtida do medidor eletromagnético disponível na instalação, e o setpoint de vazão será fornecido pelo cliente. Além disso, o cliente poderá

incorporar em seu Sistema de Controle Remoto qualquer medição ou sinal de informação que ele requer. de cada PLC instalado.

INSTALAÇÕES PELO MUNDO E RESULTADOS ENCONTRADOS

- **Prefeitura de Grinon (Madri)**
 - Vazão – 187,5 l/s
 - Altura manométrica - 70 mca
 - Potência instalada – 77KW
 - Funcionamento 24x7
 - Geração Anual - 667.244 KW/h Ano.
 - Economia líquida em custos de energia 77%
 - Tempo sobre o investimento menor que 3 anos.

- **Hydrowatt – Planta tratamento de água de Ternay (França)**
 - Vazão – 75 l/s
 - Altura manométrica - 60 mca
 - Potência instalada – 26KW
 - Funcionamento 24x7
 - Geração Anual - 228.770 KW/h Ano.
 - Economia líquida em custos de energia 74%
 - Tempo sobre o investimento menor que 3 anos.

- **Estação de tratamento de Água Queluz (Sabesp)**
 - Vazão – 32,7 l/s
 - Altura manométrica - 110 mca
 - Potência instalada – 24KW
 - Funcionamento 24x7
 - Geração Anual - 215.724 KW/h Ano.
 - Economia líquida em custos de energia 70%
 - Tempo sobre o investimento menor que 18 meses.

COMPARAÇÕES COM OUTRAS FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

A seção a seguir mostra uma comparação do LCOE de diferentes fontes de energia renovável com o Turbogenerador PERGA. A fim de homogeneizar ao máximo a metodologia de cálculo, foi considerada a mesma taxa de desconto para o LCOE do turbogenerador Perga que a utilizada para o cálculo das diferentes fontes de energia renovável (taxa de desconto de 7%) pela referência do documento “Renováveis 2013, Relatório de Status Global”. O referido documento menciona que o LCOE das hidrelétricas é altamente dependente da localização, podendo ser superior aos valores previstos nas pequenas centrais.

Tecnologia	Características	Coste Nivelado de la Energía (LCOE-cents Euro/kWh)
Solar Fotovoltaica corbetea	Potencia máxima: 3–5 kW (residencial) 100 kW (comercial) 500 kW (industrial)	18–42 (OCDE) 26–50 (fuera OCDE) 15–35 (Europa)
Solar Fotovoltaica: Sobre terreno a escala comercial	Potencia máxima: 2,5–250 MW	11–35 (OCDE) 8–36 (fuera OCDE) 13–31 (Europa)
Energía hidroeléctrica: Fora da rural	Potencia máxima: 0,1–1.000 kW Tipo de planta: centrales de agua fluyente, hidrocínética, almacenamiento diurno	5–37
Eólica: Pequena escala	Potencia turbina: até 100 kW	14–18 (EEUU)
Eólica: Terrestre	Potencia turbina: 1,5–3,5 MW	5–15 (OCDE) 4–15 (fuera OCDE)
Tecnologías para energía rural: Mini redes de aldeas	Potencia dos sistemas: 10–1.000 kW	23–91
Turbogenerador PERGA	Potencia turbina: 10-350 kW	4,5-1,6¹ (Espanha)

¹LCOE: Referência NREL (Laboratório Nacional de Energias Renováveis). Fator de capacidade 95%; 25 anos; taxa de desconto 2%. Manutenção 3% dos custos do turbogenerador ao preço de distribuição em Espanha; investimento inclui instalação e equipamentos hidráulicos associados ao preço de distribuição em Espanha. Referência: “Renewables 2013, Global Status Report”. Ren 21 (Rede de Políticas de Energias Renováveis para o Século XXI). Página 54 e 55. Anexos de cálculo na página 161.

O LCOE foi calculado usando a ferramenta NREL (National Renewable Energy Laboratory), ou Laboratório Nacional de Energia Renovável, do Departamento de Energia, Eficiência Energética e Energia Renovável dos Estados Unidos.

As variáveis a considerar para o cálculo do LCOE são:

- Custos de investimento

Os custos do turbogerador foram considerados: painel de controle e potência, painel de proteção, automação, banco de capacitores, conexão elétrica entre o turbogerador e o painel elétrico (30 metros lineares), instalação e partida (preços *EX WORK* Totana, Murcia, Espanha) e o equipamento hidráulico associado: duas válvulas borboleta motorizadas, uma válvula reguladora motorizada e um filtro instalado e montado. Não foram consideradas as obras civis, que pelas peculiaridades do Turbogenerador PERGA são muito pequenas. Vale ressaltar que no cálculo do LCOE de outros equipamentos essa instalação costuma ser um custo muito importante (às vezes o principal), que normalmente não é considerado nos cálculos.

- Fator de capacidade

O fator de capacidade (ou “fator de usina”) é definido como o quociente entre a energia real gerada durante um período (geralmente anual) e a energia gerada se ela tivesse funcionado a plena carga nesse mesmo período, de acordo com os valores nominais de placas de identificação de equipamentos. O fator de capacidade é uma função, entre outras variáveis, das condições do local, e até certo ponto o Turbogenerador PERGA pode ser projetado para potências mais baixas e fatores de capacidade média mais altos, ou potências mais altas e fatores de capacidade média mais baixos, dependendo das necessidades de o cliente. Foi considerado um fator de capacidade de 95%.

- Vida economica

Foi considerado um cálculo de 25 anos.

- Custos de operação e manutenção

Foi considerado 1% do preço de distribuição do Turbogenerador PERGA, tanto para o cálculo do LCOE a preço de custo, preço de fábrica e preço de distribuição.

- Custo de capital

Foi considerada uma taxa de desconto de 2%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 “Renewables 2013, Global Status Report”. Ren 21 (Rede de Políticas de Energias Renováveis para o Século XXI). Página 54 e 55. Anexos de cálculo na página 161.