



Grupo de Estudo de Geração Hidráulica-GGH

Sistema Inteligente de Detecção, Identificação e Redução de Cavitação por Injeção de Ar em Turbinas Francis - Estudo de Caso UHE Ilha Solteira

**VLADIMIR RODRIGUES LEMES GONGORA(1); CARLOS MURILO MENDES DA SILVA(1); BARTOS
WYKROTA(1);
HBA(1);**

RESUMO

O presente estudo tem por objetivo criar uma metodologia para detectar, monitorar e analisar adequadamente, o fenômeno de cavitação em turbinas do tipo Francis, de forma a, junto a um sistema inteligente de injeção de ar, avaliar, reduzir, e, eventualmente, eliminando este fenômeno hidráulico.

A detecção e diagnóstico de cavitação dar-se-á através de sensores elétricos instalados em diversos pontos da Unidade Geradora, análise específica dos dados com recriação de padrões hidráulicos e mecânicos, além de um sistema de câmeras instalados no circuito hidráulico, provendo assim, subsídios para prospecção do desgaste na turbina, aumento de sua faixa de operação, e melhorias operacionais devido as condições impostas a Usina Hidrelétrica.

O estudo de caso está sendo desenvolvido na UHE Ilha Solteira, localizada no estado de São Paulo.

PALAVRAS-CHAVE

Cavitação, injeção de ar, sensores elétricos, câmeras, processamento de imagem, detecção, monitoramento, manutenção, faixa operativa.

1.0 - INTRODUÇÃO

O fenômeno da cavitação em turbinas hidráulicas é um dos mais danosos em uma Usina Hidrelétrica. Este pode causar diminuição em sua eficiência, indisponibilidade da turbina, e prolongamento de paradas de manutenção devido a sua recuperação, acarretando assim, prejuízos financeiros aos empreendimentos.

Atrelado a isto, a matriz energética brasileira está em constante mudança. Atualmente, há um aumento de empreendimento de diversas fontes de energia renováveis e maior quantidade de usinas de fio d'água. Ademais, há constantes mudanças hidrológicas que demandam a maior necessidade da utilização das usinas instalados a extremos, sendo que em alguns casos, forçam a turbinas operarem fora de sua faixa operacional projetada; condição esta que submetem a turbina a cavitação e estresse mecânico excessivo, acentuando seu desgaste, principalmente, em rotores do tipo Francis.

De forma a adequar-se a nova realidade energética, o projeto de um Sistema Inteligente de Detecção, Identificação e Redução de Cavitação por Injeção de Ar em Turbinas Francis, visa unificar e criar um uma metodologia universal para melhorar a análise da cavitação.

2.0 - METODOLOGIA PROPOSTA

Em uma turbina Francis, a cavitação pode ser gerada dos seguintes pontos:

- I. Na aresta de entrada transição com a coroa;
- II. Na aresta de entrada transição com a cinta;
- III. Na aresta de saída transição com a cinta;
- IV. Por Vortex de Von Karman;
- V. Trança Hidráulica no Tubo de Sucção

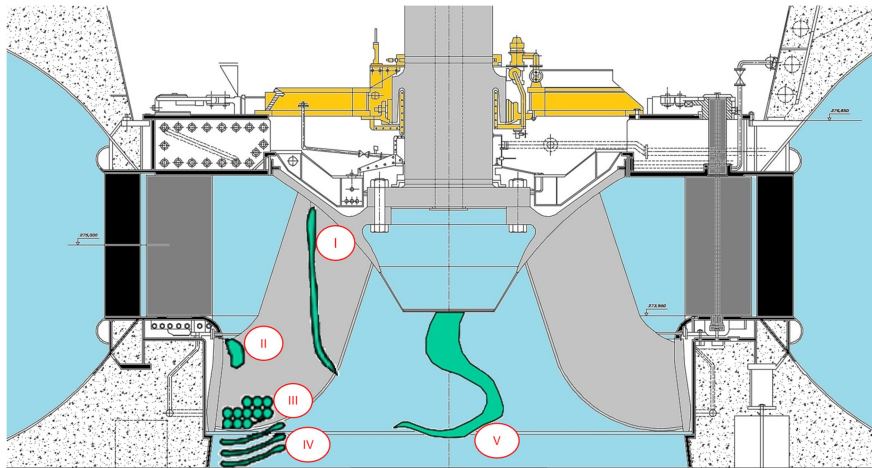


FIGURA 1: Pontos de Cavitação em Turbina Francis

Para o desenvolvimento do Sistema Inteligente de Redução de Cavitação por Injeção de Ar em Turbinas Francis será necessário a instalação de diversos sensores. Através destes, haverá a aquisição de sinais elétricos de forma a identificar o fenômeno de cavitação.

Para validação, câmeras de monitoramento de alta resolução e velocidade serão instaladas no circuito hidráulico de forma a processar a imagem associando-as ao sinal elétrico, no mesmo instante de tempo.

Também será analisada a relação dinâmica entre os diversos instrumentos utilizado, de forma criar uma analogia de causa-efeito entre os mesmos.

A instalação dos equipamentos será realizada no protótipo, visando a possibilidade de se medir exatamente o corrido durante a operação da turbina.

2.1 Instrumentação Utilizada:

Serão utilizados acelerômetros de alta frequência, sensores acústicos, sensores de pressão, extensômetro (*straining gauge*), conforme figura 2.

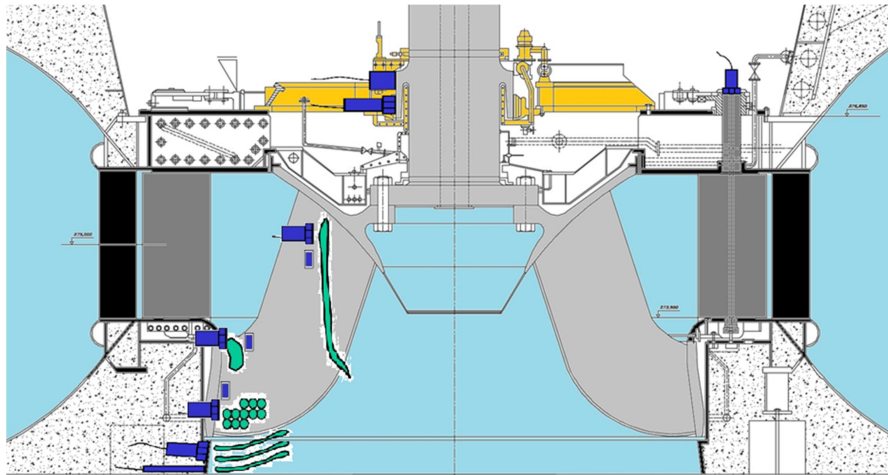


FIGURA 2: Locais de instalação da Instrumentação de Testes

Em complemento, e de forma inovadora, serão instaladas câmeras de alta precisão, além de iluminação específica para a visualização do fenômeno da cavitação, de forma a associá-los as medições dos instrumentos instalados na Unidade Geradora, conforme figura 3.

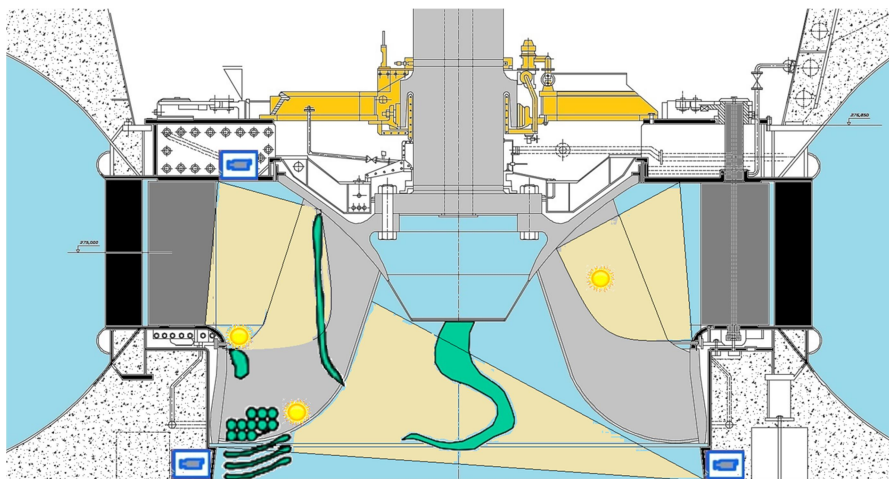


FIGURA 3: Locais Preliminares de instalação de Câmeras e Iluminação

2.2 Etapas de Aplicação:

O projeto está dividido em três partes, sendo seu escopo resumido apresentado a seguir:

Etapa 1 – Instrumentação e análise de dados:

- Testes dos equipamentos, instrumentos e sensores sem aeração;
- Análise de dados.

Etapa 2 – Testes com aeração:

- Instalação e preparação para a aeração;
- Testes da faixa operativa com aeração;
- Análise de dados.

Etapa 3 – Desenvolvimento da aeração inteligente e testes finais

- Criação do algoritmo de acordo com os testes realizados nas etapas 1 e 2;

- Implementação e testes da aeração inteligente;

A homologação do sistema será realizada após realização de testes, ajustes e consolidações finais do protótipo. A etapa final do projeto será a implementação do sistema de controle e injeção de ar em uma usina hidrelétrica, na qual a validação da eficácia do sistema nas usinas confrontando a cavitação antes e depois da instalação.

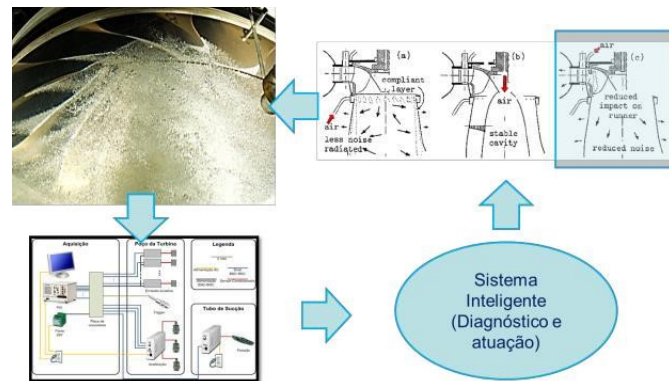


FIGURA 4: Etapas de aplicação do Sistema Inteligente

3.0 - APLICABILIDADE

A aplicação deste projeto abrange turbinas Francis com cavitação, e conceitualmente os resultados desse desenvolvimento podem ser aplicados em outras turbinas de hidráulica semelhante. Além de melhorar a operação atual da turbina conforme benefícios descritos.

O projeto incluirá pesquisa acadêmica, testes e análises, ensaios e validação em usinas.

Apesar de abrangente e aplicável para outras empresas geradoras no mercado, cada usina possui suas próprias condições de contorno. Assim cada usina terá que ter adaptações mínimas para permitir a aplicabilidade do sistema inteligente, como por exemplo:

- E uma usina que não tenha a possibilidade de fazer aeração pelo eixo terá que fazer eventuais modificações para implementar aeração central;
- Turbinas Francis de alta queda que precisam de compressores muito caros para injeção de aeração forçada;
- Instalação de sensores para permitir a alimentação de dados para a aeração inteligente;

4.0 - CONCLUSÃO

Ao término dos estudos, o sistema inteligente capaz de identificar, monitorar e diagnosticar adequadamente em uma turbina Francis o tipo de cavitação, e atuar na turbina através de injeção de ar para reduzir as consequências dos efeitos indesejados melhorando a sua performance.

Com isto, pretende-se, aumentar a flexibilidade operacional da turbina, reduzir a necessidade manutenção, aumentar a faixa de operação da unidade geradora, quando o limite for devido a cavitação e eventualmente a flutuação de pressão, aumentando a disponibilidade da unidade.

O sistema que será desenvolvido deverá permitir que as unidades geradoras sejam menos afetadas / danificadas devido as condições operacionais impostas pelas maiores irregularidades nos regimes hidrológicos, as mudanças na matriz energética brasileira, e também as mudanças no perfil de consumo. Com isso busca-se aumento da geração em longo prazo, sobretudo em condições desfavoráveis para a turbina Francis diminuindo a indisponibilidade devido a menor desgaste de componentes da turbina.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ESCALER, Xavier et al. Detection of cavitation in hydraulic turbines. *Mechanical systems and signal processing*, v. 20, n. 4, p. 983-1007, 2006.
- (2) HE, Yongyong; LIU, Yuan. Experimental research into time–frequency characteristics of cavitation noise using wavelet scalogram. *Applied Acoustics*, v. 72, n. 10, p. 721-731, 2011.
- (3) YAN, Zhaoli et al. Fluid cavitation detection method with phase demodulation of ultrasonic signal. *Applied Acoustics*, v. 87, p. 198-204, 2015.
- (4) BAJIC, Branko. Multidimensional diagnostics of turbine cavitation. *Journal of fluids engineering*, v. 124, n. 4, p. 943-950, 2002.
- (5) GRUBER, P. et al. The detection of cavitation in hydraulic machines by use of ultrasonic signal analysis. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, v. 8, n. 4, p. 264-273, 2015.
- (6) KANG, Yang Zi et al. Comparison of three kinds of sensors used to identify the incipient cavitation. *Sensor Review*, v. 38, n. 1, p. 13-20, 2018.
- (7) CANDEL, I. et al. Detection of cavitation vortex in hydraulic turbines using acoustic techniques. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2014. p. 052007.
- (8) YAMAMOTO, Keita. Hydrodynamics of Francis turbine operation at deep part load condition. EPFL, 2017.
- (9) EKANGER, Jarle Vikør. Investigation of the relationship between water quality variations and cavitation occurrence in power plants. 2016.
- (10) GRUBER, P. et al. The detection of cavitation in hydraulic machines by use of ultrasonic signal analysis. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, v. 8, n. 4, p. 264-273, 2015.
- (11) VALENTÍN, David et al. Transmission of high frequency vibrations in rotating systems. Application to cavitation detection in hydraulic turbines. *Applied Sciences*, v. 8, n. 3, p. 451, 2018.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Vladimir Rodrigues Lemes Gongora

Cargo: Gerente de Comissionamento & Testes de Campo

Empresa: Andritz Hydro

Experiência no assunto: Possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Potência pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (2009). MBA em Gestão de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas. Tem mais de 10 (dez) anos de experiência na área de Comissionamento, testes de rotina e especiais, além de montagem, coordenação e gestão de Usinas Hidrelétricas.



Carlos Murilo Mendes da Silva

Cargo: Engenheiro de Produto

Empresa: Andritz Hydro

Experiência no assunto: Possui graduação em Engenharia de Produção Mecânica pela Universidade Paulista (2013). Especialista em Engenharia de Produção pela Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP. Tem experiência na área de Engenharia de Produto, com ênfase em Engenharia de Turbinas



Bartos Wykrota

Cargo: Engenheiro especialista

Empresa: Andritz Hydro

Experiência no assunto: Possui graduação em Engenharia Mecânica-Aeronáutica pelo ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (1987) e em Mecânica dos Fluidos Industriais pelo INPG – França (1989) e MBA executivo na EMLYON (2008). Especialista hidráulico atuando em dimensionamento de propostas de turbinas hidráulicas, com projeto hidráulico e ensaio de modelo reduzido de turbinas.