

Seminário de Manutenção Preditiva em Usinas Hidroelétricas.

SIMULAÇÃO E ENSAIOS DE OSCILATÓRIOS HIDRÁULICOS EM TUBULAÇÕES

Eduardo Beltrame

- EFEI - Escola Federal de Engenharia de Itajubá
- GENERCO - Grupo de Energia Eng. e Consultoria Ltda

Márcio Tadeu de Almeida

- EFEI - Escola Federal de Engenharia de Itajubá

Afonso Henriques Moreira Santos

- EFEI - Escola Federal de Engenharia de Itajubá

Este trabalho relata a detecção de vórtices de Von Kármán em usinas hidrelétricas, bem como comprova a eficiência do Método das Matrizes de Transferência, para simulação de oscilatórios hidráulicos em tubulações. Para utilizar-se deste método foi elaborado um "software", o qual fornece as frequências naturais da tubulação e os seus respectivos modos de vibrar.

Os fenômenos através das turbinas hidráulicas não se extinguem aí. Eles podem se propagar e vir a ser fontes de problemas de vibrações na tubulação de adução, principalmente, no caso das pequenas centrais hidrelétricas.

Na tabela 1 constam as excitações provocadas por vórtices e outras fontes existentes na UHE José Togni, a qual é de propriedade do Departamento Municipal de Eletricidade de Poços de Caldas - DME e possui uma turbina tipo "tubular - S". A representação esquemática desta instalação está na figura 1.

TABELA 1 - Excitações existentes na UHE José Togni

FONTES	HARMÔNICAS						
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª
ROTAÇÃO DA TURBINA	7,5	15,0	22,5	30,0	37,5	45,0	52,5
PASSAGEM DAS PÁS DO ROTOR	37,5	75,0	112,5	150,0	187,5	225,0	262,5
PASSAGEM PELAS PALHETAS DIRETRIZES	120,0	240,0	360,0	480,0	600,0	720,0	840,0
COMBINAÇÃO DA PASSAGEM DAS PÁS E PELAS PALHETAS	4500,0	9000,0	13500,0	1800,0	22500,0	27500,0	31500,0
VÓRTICES DE VON KÁRMÁN NA OGIVA DO MANCAL DA TURBINA (FIGURA 6)	0,8 a 0,9	1,6 a 1,8	2,4 a 2,7	3,2 a 3,5	4,0 a 4,5	4,8 a 5,4	5,6 a 6,3
VÓRTICE DE VON KÁRMÁN NA COLUNA DO MANCAL DA TURBINA (FIGURA 6)	3,3 a 4,5	6,6 a 9,0	9,9 a 13,5	13,2 a 18,0	16,5 a 22,5	19,8 a 27,0	23,1 a 31,5
VÓRTICE DE VON KÁRMÁN NA VALVULA BORBOLETA	7,2 a 8,1	14,4 a 16,2	21,6 a 24,3	28,8 a 32,4	36,0 a 40,5	43,2 a 48,6	50,4 a 56,7
VÓRTICE DE NÚCLEO NO TUBO DE SUÇÃO	1,0 a 2,6	2,0 a 5,2	3,0 a 7,8	4,0 a 10,4	5,0 a 13,0	6,0 a 15,6	7,0 a 18,2

*- Esta fonte não e normal aparecer nesta UHE, pois o rotor da turbina e do tipo Kaplan.

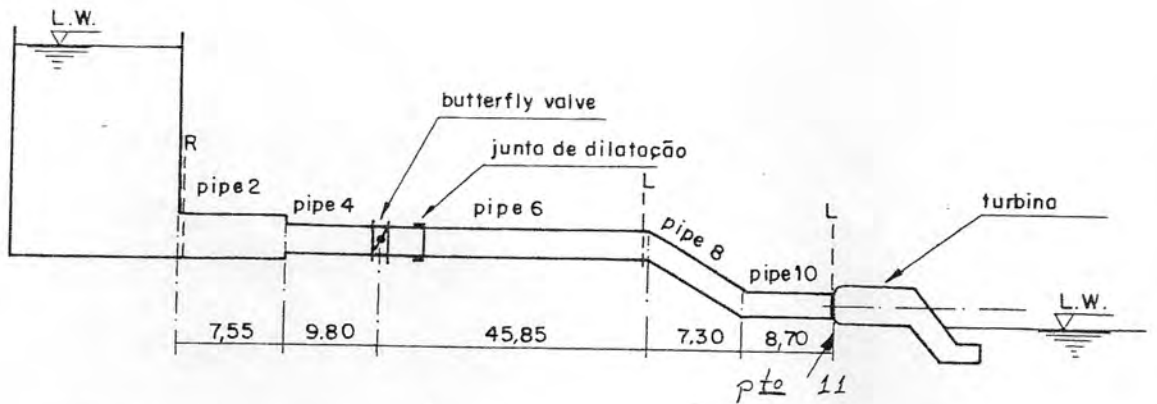


FIGURA 1 - Representação esquemática UHE José Togni

Aplicando o Método das Matrizes de Transferência [1, 2 e 3], através de microcomputadores digitais, encontra-se as frequências naturais para a tubulação (figura 2) e os respectivos modos de vibrar (figura 3).

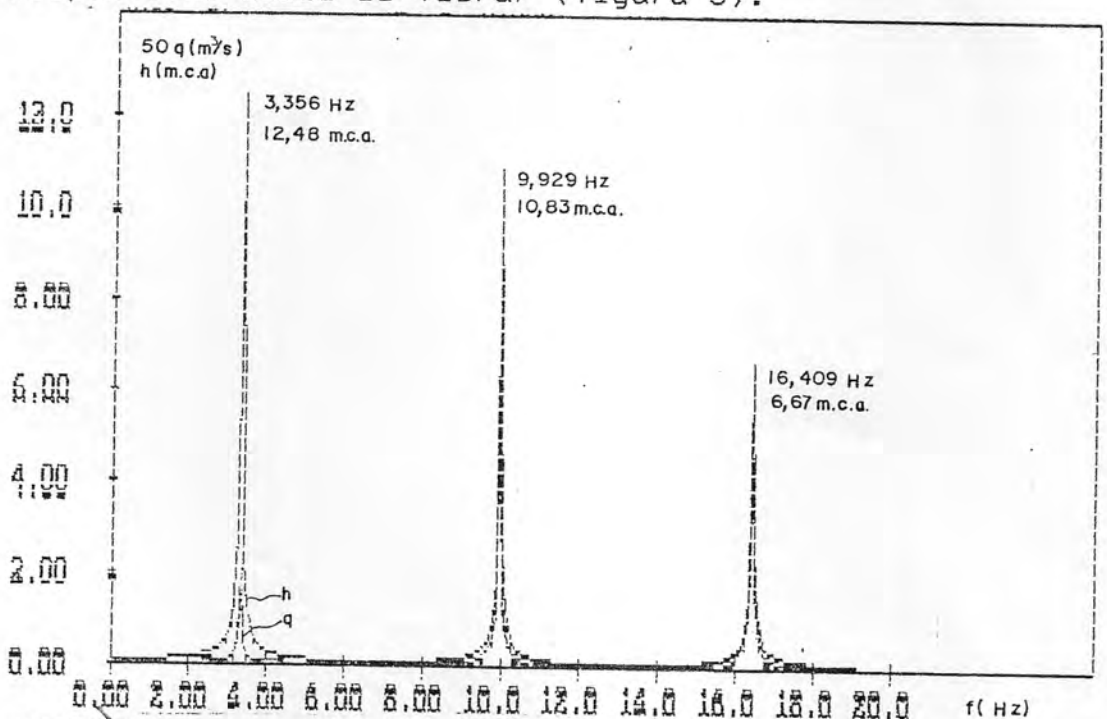


FIGURA 2 - Espectro de frequências teórico no ponto 11

Quando confrontados os valores da tabela de excitações existentes na UHE José Togni (tabela 1) com a figura 2, pode-se afirmar, teoricamente, que a tubulação entrará em ressonância para a frequência de 3,3 Hz. Ou, segundo Camichel [4], se existir algum valor na tabela bem próximo das frequências 3,3 Hz, 9,9 Hz e 16,6 Hz a tubulação também entrará em ressonância.

Realizou-se os ensaios de campo com a máquina operando nas condições nominais. O espectro de frequências no ponto 11 (figura 1) foi medido com um transdutor de pressão acoplado a um analisador de sinal B&K 2515; vide figura 4.0 erro desta medida é avaliado em $\pm 0,4$ Hz.

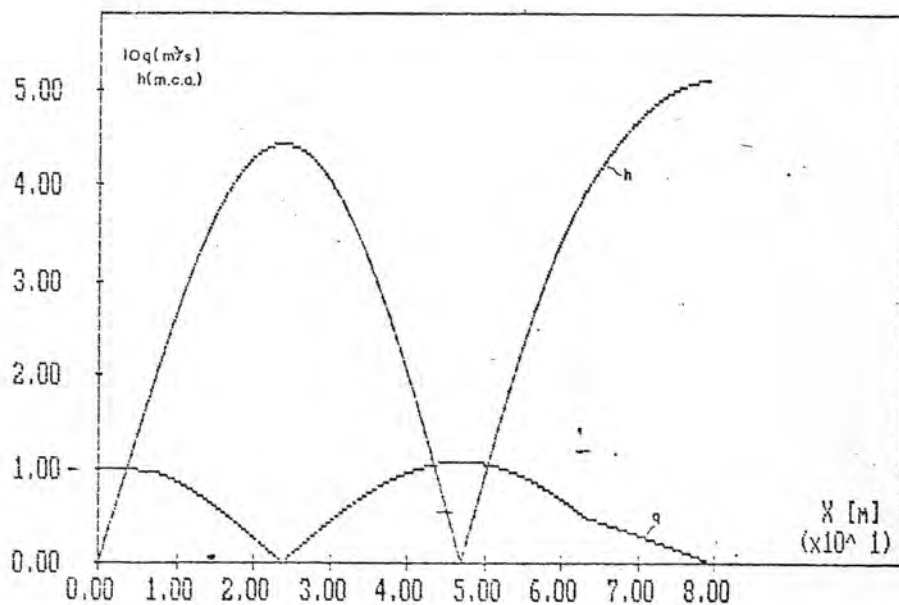


FIGURA 3 - Segundo modo de vibrar da tubulação - teórico

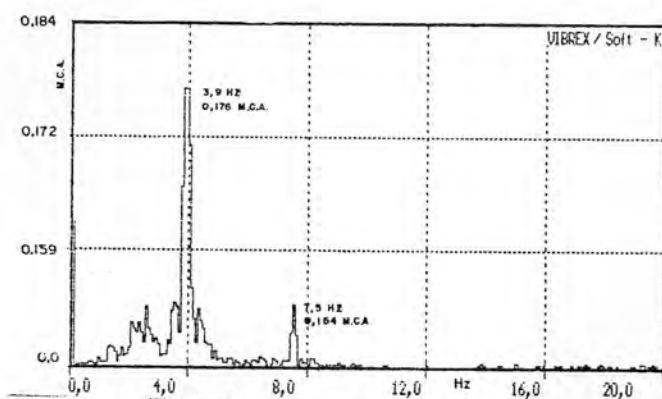


Figura 4 - Espectro de frequências prático no ponto 11

A experiência diz que a energia da excitação provocada pelos vórtices de Von Karman é bem menor daquela originada pela rotação da máquina. Logo, se nenhuma destas excitações coincidem com a frequência natural da instalação, o espectro de frequências registrado no ponto 11 deve apresentar a forma da figura 5. No entanto, verificou-se que as variações da altura de queda (h) correspondentes a estas frequências na figura 4 possuem valores bem próximos. A única justificativa para este fato é estar ocorrendo uma ressonância em $(3,9 \pm 0,4)$ Hz; pois, tomando-se como referência o valor de h para $(7,5 \pm 0,4)$ Hz uma excitação de baixa energia fez com que o sistema responde-se a ela com alta energia.

Numa visão otimista, o erro entre a simulação teórica e os resultados práticos é o desprezível valor de 0,2 Hz. Numa outra visão ponderada têm-se um erro médio de 0,5 Hz.

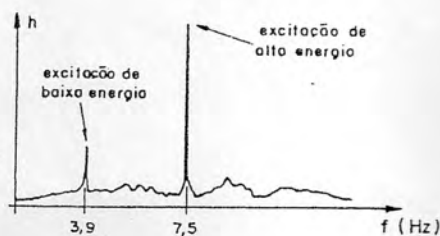


Figura 5 - Espectro de frequências com apenas duas excitações

CONCLUSÕES:

As consequências dos vórtices de Von Karman originados na turbina não são graves para a UHE José Togni porque, no caso, estes possuem baixa energia, apesar da sua frequência coincidir com a natural da tubulação. Porém, existem casos em que as excitações induzidas pela turbina provocam oscilatórios hidráulicos na tubulação com amplitudes inadmissíveis e exigem atuações incisivas do pessoal de projeto e manutenção.

Por outro lado, conclui-se que o modelo teórico respondeu satisfatoriamente aos resultados práticos e ainda ele pode auxiliar, tanto na manutenção, quanto na fase do projeto de instalações hidráulicas de uma maneira geral.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Beltrame, E. Análise de Oscilatórios Hidráulicos Utilizando-se da Técnica de Matrizes de Transferência - Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1991 (Dissertação de Mestrado).
- [2] CHAUDHRY, M.H. Resonance in pressurized piping systems. Journal of the hydraulics division. ASCE, 96(Hy9):1819-1839. sep.1979.
- [3] CHAUDHY, M.H.. Resonance in pipe systems. Water Power. 22 (7/8):241-245. Jul/aug.1970.
- [4] CAMICHEL, C. et alli. Étude théorique et experimentale des coups de Béliet. Paris, Dunod, 1919.

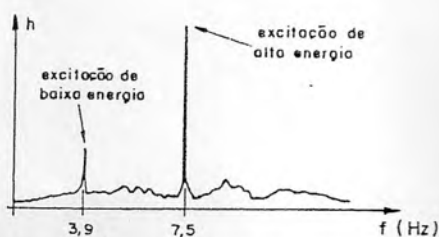


Figura 5 - Espectro de frequências com apenas duas excitações

CONCLUSÕES:

As consequências dos vórtices de Von Karman originados na turbina não são graves para a UHE José Togni porque, no caso, estes possuem baixa energia, apesar da sua frequência coincidir com a natural da tubulação. Porém, existem casos em que as excitações induzidas pela turbina provocam oscilatórios hidráulicos na tubulação com amplitudes inadmissíveis e exigem atuações incisivas do pessoal de projeto e manutenção.

Por outro lado, conclui-se que o modelo teórico respondeu satisfatoriamente aos resultados práticos e ainda ele pode auxiliar, tanto na manutenção, quanto na fase do projeto de instalações hidráulicas de uma maneira geral.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Beltrame, E. Análise de Oscilatórios Hidráulicos Utilizando-se da Técnica de Matrizes de Transferência - Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1991 (Dissertação de Mestrado).
- [2] CHAUDHRY, M.H. Resonance in pressurized piping systems. Journal of the hydraulics division. ASCE, 96(Hy9):1819-1839. sep.1979.
- [3] CHAUDHY, M.H.. Resonance in pipe systems. Water Power. 22 (7/8):241-245. Jul/aug.1970.
- [4] CAMICHEL, C. et alli. Étude théorique et experimentale des coups de Bélier. Paris, Dunod, 1919.