

# ANÁLISE DE TENSÕES EM DISCOS DE TURBINA DO TIPO TESLA

## Patrick Vieira Saintrain

UNIFOR – Av. Washington  
Soares 1321 – Bairro Edson  
Queiroz – Fone: (85) 4773083  
CEP: 60811-905 – Fortaleza – CE  
[Patrick\\_saintrain@yahoo.com.br](mailto:Patrick_saintrain@yahoo.com.br)

## Heraldo da Silva Couto

UNIFOR – Av. Washington  
Soares 1321 – Bairro Edson  
Queiroz – Fone: (85) 4773083  
CEP: 60811-905 – Fortaleza – CE  
[hscouto@yahoo.com.br](mailto:hscouto@yahoo.com.br)

## João Batista Furlan Duarte

UNIFOR – Av. Washington  
Soares 1321 – Bairro Edson  
Queiroz – Fone: (85) 34773083  
CEP: 60811-905 – Fortaleza – CE  
[furlan@unifor.br](mailto:furlan@unifor.br)

## Resumo

Este trabalho faz uma revisão dos princípios físicos da turbina Tesla com discos planos, um dispositivo inventado pelo criativo engenheiro croata Nicola Tesla. Entre as aplicações usuais de máquinas que utilizam rotações, este tipo de turbina é muito interessante quando se necessita de unidades compactas, como é o caso da geração de energia elétrica em locais isolados. Salienta-se também que uma unidade pode funcionar com uma variedade de combustíveis ou fluidos. Após uma breve discussão sobre movimento relativo em superfícies girantes, descrevendo as equações de transporte para o movimento entre discos paralelos girantes, faz-se uma simples análise das tensões sofridas em tais discos e nos seus elementos de travamento, que evitam o movimento relativo entre eles.

**Palavras-chave:** análise de tensões, discos, turbina, Tesla.

## Abstract

This work brings a revision of the physical principles of the turbine Tesla with plain discs, a device invented for creative Croatian engineer Nicola Tesla. Among the usual applications of machines that they use rotations, this type of turbine is very interesting when if it needs compact units, as it is the case of the electric energy generation in isolated places. Emphasize also that a unit can works with a variety of fuels or fluid. After a brief description relative to movement in rotate surfaces, describing the transport equations for the movement between rotate parallel discs, presents a simple analysis of the tensions in such discs and its lock elements that prevent the relative movement between them.

**Keywords:** turbine, discs, Tesla, stress analysis.

## 1 Introdução

Nikola Tesla foi um inventor croata, mais conhecido por suas invenções da bobina Tesla e do motor de indução. Em 1910 ele fez uma patente dual no British Patent sob o número 24001, para uma turbina e um compressor do tipo disco rotativo.

Estas máquinas eram baseadas nos mesmos princípios e, portanto, funcionavam de modo similar (CAIRNS, 2003). Eram compostas de uma série de discos finos, próximos um do outro, separados por espaçadores e montados em um eixo de modo a compor um rotor. Este rotor é montado em uma carcaça ou estator para formar um tubo e possuía placas finais que continham rolamentos.

O compressor difere da turbina, uma vez que o estator toma a forma de uma voluta em espiral enquanto a turbina tem perfil circular. A direção do escoamento ar ou gás também difere nos dois casos.

## 2 Princípio de Construção

O princípio de funcionamento da turbina a disco é aquele da condição de aderência de um fluido à parede, ou seja, esta condição diz que um fluido adquire a velocidade da parede sobre a qual desliza, isto é, se a parede está parada a condição de

contorno do fluido na parede é que sua velocidade é zero e se a parede possui velocidade, sua velocidade é igual à da parede. Esta condição é chamada de “no slip condition” ou condição de não escorregamento ou de aderência à parede.

Dessa forma o disco tende a adquirir a velocidade do fluido que sobre ele passa, porém, para que a transferência de quantidade de movimento se dê de modo mais efetivo, deve-se laminarizar o fluxo de fluido, e como se sabe, como o vetor velocidade tangencial é nulo para um sistema de referência que gira junto com o disco. A única velocidade que influencia o escoamento é a velocidade em direção ao centro do disco, que é por onde se dá o escoamento do fluido que entrou tangencialmente fazendo com que o disco gire.

Assim, conhecendo-se a velocidade média do escoamento na entrada da turbina, sabe-se que idealmente a mesma começará a girar até alcançar esta velocidade tangencial, quando a velocidade relativa (tangencial) entre o fluxo e o disco será zero.

Neste momento a única velocidade relativa diferente de zero em relação ao disco é a velocidade de penetração do fluido entre as lâminas dos discos e, é essa velocidade que se deve levar em conta para o cálculo do número de Reynolds.

Para escoamento laminar em dutos, a teoria nos dá o valor exato do fator de atrito de Darcy (WHITE, 1979) como sendo:

$$f = \frac{64\dot{\lambda}}{\tilde{n}Vd} \quad (1)$$

onde  $\tilde{n}$  é a densidade do fluido,  $V$  a velocidade relativa do fluido e  $\dot{\lambda}$  o coeficiente de viscosidade dinâmica.

Ou

$$f_{\text{lam}} = \frac{64}{\text{Re}_d} \quad (2)$$

onde,  $\text{Re}_d$  significa número de Reynolds baseado no diâmetro como comprimento característico.

Dessa forma teremos que calcular no escoamento entre discos e a distância característica a ser usada.

$$D_h = \frac{4S}{P} \quad (3)$$

onde,  $S$  é a área do escoamento e  $P$  o perímetro molhado.

e,

$$D_{\text{eff}} = \frac{2}{3} D_h \quad (4)$$

onde  $D_h$  é o diâmetro hidráulico e  $D_{\text{eff}}$  é o diâmetro efetivo

A teoria tem precisão razoável quando se usa o diâmetro hidráulico, sendo muito precisa para o diâmetro efetivo.

Usando -  $a$  - como a distância de separação entre placas vem:

$$D_h = \frac{4a^2}{2(\delta D + a)} \quad (5)$$

onde,  $D_h$  é o diâmetro externo do disco. Como  $a \ll D$ , resulta:

$$D_h = 2a \quad (6)$$

e,

$$D_{\text{eff}} = \frac{4}{3} a \quad (7)$$

Assim pode-se calcular -  $\text{Re}_y$  - como sendo:

$$\text{Re}_y = \frac{4 \tilde{n}Va}{3 \dot{\lambda}} \quad (8)$$

## 2.1 Disco encapsulado

O disco em uma turbina ou compressor rotativo gira em uma cápsula muito estreita, na qual a distância  $s$  entre o disco e a parede da cápsula é muito menor do que o raio do disco  $R$ . Portanto, faz-se necessária a investigação de um disco girando de forma encapsulada.

Escoamento laminar - as relações tornam-se particularmente simples quando o escoamento é laminar,  $Rey < 10^5$ , e quando o “gap” é muito pequeno. Se o “gap”,  $s$ , é menor do que a espessura da camada limite, a variação da velocidade tangencial através do “gap” torna-se linear tal como o escoamento de “Couette”. Então a tensão de cisalhamento a uma distância  $r$  do eixo é igual a:

$$\hat{\sigma} = \frac{r\dot{\omega}}{s} \quad (9)$$

e o torque das forças viscosas em um lado do disco é dado por:

$$M = 2\delta \int_0^R \hat{\sigma} r^2 dr = \frac{\delta \dot{\omega} R^4}{2s} \quad (10)$$

conseqüentemente, para ambos os lados temos:

$$2M = \frac{\delta \dot{\omega} R^4}{s} \quad (11)$$

e o coeficiente de torque torna-se:

$$C_M = 2\delta \frac{R}{s} \frac{1}{Rey} \quad (12)$$

Schimieden (1962) investigou a influência da largura do espaçamento lateral  $s$  de um disco em um encapsulamento cilíndrico (figura 1) com a hipótese de número de Reynolds muito pequeno “creeping motion”. As equações de Navier-Stokes podem ser simplificadas, e a solução para o coeficiente de momento aparece na forma  $C_M = K/R$ . A constante  $K$  depende das duas razões adimensionais  $s/R$  e  $s/R$ .

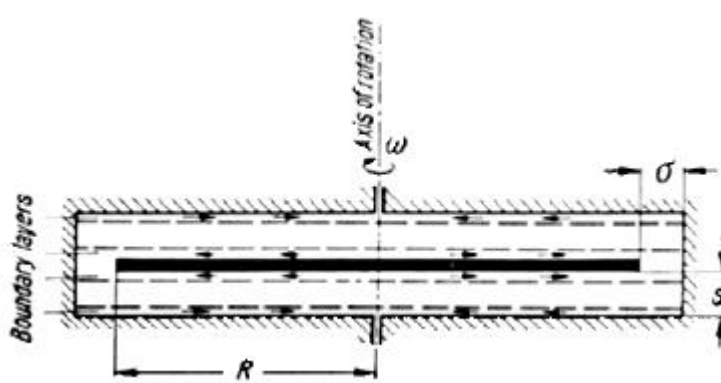


Figura 1: Disco encapsulado

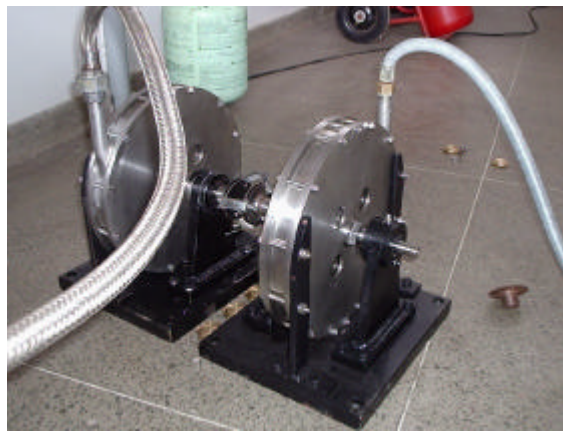
## 2.2 Análise das tensões nos discos da turbina

Como mostrado na sessão anterior, a forma de construção dos discos utilizados na turbina Tesla é bastante simples. Apesar disto, faz-se necessário o cálculo de sua resistência axial e radial, devido ao fato de que discos deste tipo serão submetidos a rotações elevadas, da ordem de 40.000 rpm ou mais. Trabalhos semelhantes têm sido desenvolvidos atualmente, porém com resultados pouco objetivos, como pode ser visto no relatório EISG -Energy Innovations Small Grant. (SCHMIDT, 1991).

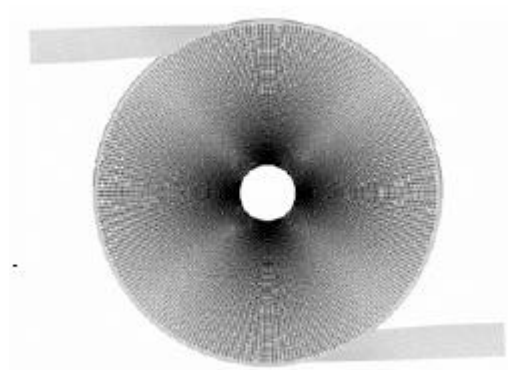
No Núcleo de Tecnologia de Combustão, foram construídas quatro turbinas do tipo Tesla, duas projetadas para utilizarem ar como fluido de trabalho, e duas para utilizarem vapor, Fig (2). Uma pequena, com 3 cm de raio, construídas com oito discos de ferro, com 1 mm de espessura, não chavetados, apenas pressionados uns sobre os outros com porcas de travamento. Outra com 8,5 cm, com 6 discos de alumínio pressionados da mesma forma. Por ultimo, as duas apresentadas na Fig(2), com 12,5 cm de raio, com oito discos de 1,5 mm, toda em aço inox 304.

Elas são constituídas basicamente por um eixo maciço, em que é colocado um certo número de discos, todos em paralelo e espaçados uns dos outros no comprimento, enchavetados ao eixo e encapsulados por invólucro cilíndrico. A análise das tensões a que são submetidos os discos e o eixo, tem bastante importância, variáveis tais como: o fluxo de massa, a pressão e a velocidade de entrada, propriedades do fluido, etc.

A principal tensão no disco da Turbina Tesla é a tensão inercial no disco causado pela velocidade de rotação. Esta tensão é função da força centrípeta gerada, considerando que o disco tem a rotação igual ao orifício central (do eixo).



**Figura 2:** Turbina e compressor Tesla acoplados



**Figura 3:** Esquema de entrada e saída do fluido.

A resistência ao momento de torção  $T$  transmitido pelo disco, será:

$$T = \vec{F} \times \vec{r} \quad (13)$$

onde,  $r$  é o raio da árvore (eixo), e  $F$  a força aplicada.

A área em que são submetidas as tensões no disco é dada por:

$$A_{\text{resist}} = 2\delta \times r \times e \quad (14)$$

onde,  $e$  é a espessura do disco.

A potência de projeto  $P$  é usada para o dimensionamento dos discos e tem-se:

$$\vec{P} = \vec{F} \times \vec{v} \quad \text{ou} \quad \vec{P} = \vec{F} \times \omega \vec{r} \quad (15^a, b)$$

onde,  $F$  é a força relacionada à torção no disco, dada por:

$$\vec{F} = \delta_{\text{adm}} \times \vec{A}_{\text{resist}} \quad (16)$$

De acordo com o diagrama de tensões do material adotado na construção do disco, onde  $s_{\text{adm}}$  é a tensão admissível e  $s_{\text{máx}}$  é a tensão máxima do material. A tensão admissível é encontrada por:

$$\vec{s}_{\text{adm}} = \frac{\vec{s}_{\text{máx}}}{4} \quad (17)$$

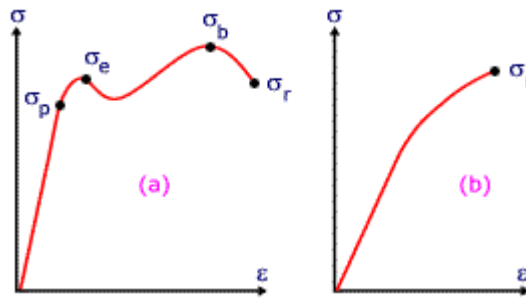


Figura 4: Exemplo de um diagrama de tensão x deformação

A chaveta, neste caso, é usada para evitar o movimento relativo entre o eixo e os discos a ele conectado, através dos quais se transmite potência. Embora os discos possam ser presos ao eixo por meio de ajustes prensados, é sempre aconselhável projetar uma chaveta para transmitir toda a potência.

Adota-se para efeito de estudo a chaveta do tipo quadrada que se baseia no cisalhamento e na compressão, em virtude do momento de torção a ser transmitido. A resistência ao momento de torção  $T$  transmitido pela chaveta, será:

$$\vec{T} = \vec{F} \times \vec{r} \quad (18)$$

onde,  $r$  é o raio da árvore (eixo) e  $F$  a força aplicada.

A tensão cisalhante sobre a chaveta será:

$$\sigma_s = \frac{\vec{F} \times \vec{r}}{bL\vec{r}} \quad \text{ou} \quad \sigma_s = \frac{\vec{T}}{bL\vec{r}} \quad (19a, b)$$

sendo,  $b$  e  $L$  a largura e o comprimento da chaveta, respectivamente.

Encontra-se também a torção que a chaveta é capaz de transmitir, levando-se em conta sua resistência ao cisalhamento:

$$\vec{T}_s = \sigma_s \times bL\vec{r} \quad (20)$$

A tensão de compressão na chaveta é dada por:

$$\bar{\sigma}_c = \frac{\bar{T}}{(t/2)L\bar{r}} \quad (21)$$

onde,  $t$  é a altura da chaveta.

A torção que a chaveta é capaz de transmitir levando-se em conta a sua compressão, é calculada por:

$$\bar{T}_c = \bar{\sigma}_s \times (t/2)L\bar{r} \quad (22)$$

Com as equações apresentadas acima, pode-se projetar um conjunto de discos/chaveta que resistirão aos torques existentes dentro da cápsula da turbina, evitando possíveis danos causados pela quebra dos discos ou chavetas em altas rotações.

### 3 Conclusões

As quatro turbinas do tipo Tesla fabricadas destinadas às pesquisas do Laboratório do Núcleo de Tecnologia em Combustão – NTC da Universidade de Fortaleza – UNIFOR. As quatro turbinas foram fabricadas com materiais e dimensões diferentes para a confecção dos discos: alumínio, aço 1020, e outras duas de aço inox.

Nas experiências realizadas no laboratório, conseguiu-se atingir a marca dos 36000 rpm, onde a turbina de alumínio teve um disco partido próximo ao eixo, por motivo de fadiga, enquanto que outros entortaram radialmente, ou seja, deixaram de estar paralelos uns aos outros. Está claro que o material e as dimensões dos discos não eram compatíveis com as tensões a que foram submetidas.

Este artigo apresenta uma técnica simples e rápida para construção segura de turbinas ou compressores do tipo Tesla. Note-se que foram usados somente resultados bem conhecidos na literatura. Entretanto, os autores não encontraram trabalhos similares, relativos à turbina Tesla, a não ser o trabalho original.

### 4 Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da FINEP e Petrobrás para a execução do projeto Micro-cogeração, à Fundação Cearense de Apoio à Pesquisa e a Universidade de Fortaleza.

### Referências

- CAIRNS, W.M.J. *The tesla turbine: from the complex to the simple*. 2nd ed. London: Camden Miniature Steam Services, 2003. 290 p.
- HAYES, J.A. *The boundary layer breakthrough: the tesla bladeless turbine*. 7th ed. San Bernardino: Quadrtech, 1911. p. 114-118.
- SCHLICHTING, H. *Boundary layer theory*. 4th ed. New York: McGraw-Hill Book, 1962. 547 p.
- SCHMIDT, D. D. Biomass boundary layer turbine power system. In: SASA-INTERNATIONAL TESLA SYMPOSIUM, 4., 1991, Belgrade. *Proceedings...* Belgrade: California Energy Commission (CEC), EISG Program, 1991. v. 1. p. 00-06.
- TESLA, N. The rotary heat motor reduced to its simplest terms. *Scientific American*, London, p. 296, 1911.
- WHITE, F. M. *Fluid mechanics*. Tokyo: McGraw-Hill-Kogakusha, 1979. 325 p.

## **SOBRE OS AUTORES**

### **Patrick Vieira Saintrain**

Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade de Fortaleza. Atualmente é Bolsista da Funcap e da Universidade de Fortaleza

### **Heraldo da Silva Couto**

Graduado em Física pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUC – SP em 1977, Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – , em São Jose dos Campos, São Paulo em 1982 e Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1989. Atualmente é Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

### **João Batista Furlan Duarte**

Graduado em licenciatura Plena em Física pela Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, em 1993, Mestrado em Física Computacional em 1995 pela Universidade Federal do Ceará e Doutorado em 1998 em Física Computacional pela Universidade Federal do Ceara. Atualmente é Professor na Universidade de Fortaleza.