



**XVI SNPTEE**  
Seminário Nacional de Produção e  
Transmissão de Energia Elétrica

GGH/012

21 a 26 de Outubro de 2001  
Campinas - São Paulo - Brasil

**GRUPO I**  
**GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH**

**NOVO CONCEITO DE VENTILAÇÃO APLICADO AOS HIDROGERADORES DE GITARU, COARACY NUNES E PLATANOVRYSSI**

Voith Siemens Hydro  
Antonio Carlos Meyer \*

Voith Siemens Hydro  
Edoardo Perrotti

Voith Siemens Hydro  
Egídio José Faria

**RESUMO**

Buscando sempre simplificar a construção dos equipamentos de geração hidrelétrica, de forma que a montagem, inspeção e manutenção sejam facilitadas, chegou-se a esta bem-sucedida concepção da ventilação dos hidrogeradores verticais apresentada neste trabalho, que foi aplicada em diversas máquinas.

Três destas usinas hidrelétricas, em operação comercial há vários meses, já foram testadas e terão seus resultados apresentados a seguir.

Abordaremos também alguns aspectos do projeto das guias de ar destas máquinas.

**PALAVRAS-CHAVE:** hidrogeradores, ventilação, guias de ar

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O diferencial básico da concepção de ventilação aqui apresentada, em comparação à utilizada na grande maioria dos hidrogeradores, é o fato das guias de ar não envolverem as cabeças de bobina dos enrolamentos estatóricos, o que comumente leva a alguns questionamentos com relação à eficiência da refrigeração destas.

Como veremos, com o correto dimensionamento da distribuição do fluxo de ar no gerador, obtém-se uma solução tão boa quanto as usuais no tocante à ventilação, trazendo vantagens em outros aspectos.

A Figura 1 ilustra, de forma esquemática, a concepção descrita acima.

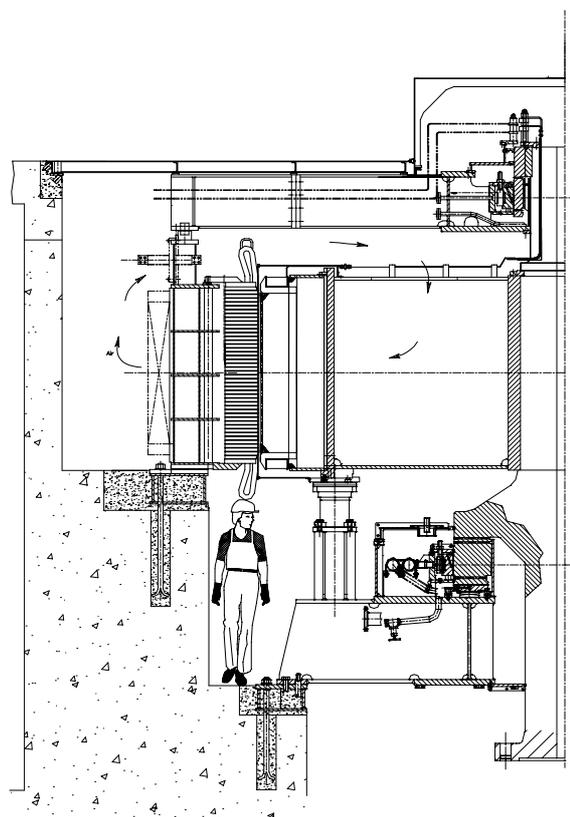


Figura 1: Fluxo principal de ar do gerador.

Este conceito pode ser aplicado em máquinas de circuito de ar fechado, que sejam ventiladas exclusivamente através da coroa do rotor. Entende-se

que estes geradores não tenham ventiladores motorizados, tampouco ventiladores nas extremidades do rotor.

Os geradores de Abbaspour ( 278 MVA ), Lajeado ( 190 MVA ), Cana Brava ( 163,4 MVA ), Porto Estrela ( 62 MVA ), Baglihar ( 168 MVA ) e Caracoles ( 71,5 MVA ), todos em fase de montagem, fabricação ou projeto, estarão se beneficiando deste mesmo conceito.

O fluxo de ar que entra no cubo do rotor por aberturas na sua parte superior, atravessa os dutos na coroa e se distribui entre os pólos.

Ao deixar o rotor, o fluxo principal atravessa os canais de ar do estator e sai pelas aberturas da carcaça, onde é resfriado pelos trocadores de calor ar-água.

Uma parte do ar que deixa os pólos escapa pelos vãos e junções das guias de ar. Na parte superior este escape deve ser reduzido, pois retorna diretamente ao rotor sem ser resfriado e sem contribuir para a refrigeração de outros componentes ativos além dos pólos. Na parte inferior, as áreas de escape de ar nas guias e nos dedos de pressão do estator devem ser adequadamente dimensionadas para garantir que um fluxo de ar suficiente percorra as cabeças de bobina ali localizadas.

Deve haver um fechamento entre os braços da cruzeta inferior e das eventuais aberturas no concreto para garantir o correto fluxo de ar e impedir o aquecimento do ar nesta região.

## 2.0 - DETALHES CONSTRUTIVOS

### 2.1 Rotores

Os rotores mantêm a concepção tradicional dos geradores ventilados através da coroa.

As aberturas para entrada de ar são feitas somente no lado superior, sempre que possível, de forma a não se aspirar resíduos dos freios.

Os canais de ar da coroa são posicionados entre os pólos da forma mais distribuída possível, para uma melhor refrigeração das bobinas de excitação.

### 2.2 Guias de ar

As guias de ar tem a finalidade de garantir a distribuição adequada do fluxo de ar pelas partes ativas do gerador. Como o fluxo de ar principal atravessa o núcleo do estator, estas guias devem impedir a dispersão do ar que sai do rotor.

Optamos por uma guia de ar em duas partes. Uma estacionária, fixada aos dedos de pressão do estator, confeccionada em fibra de vidro. A outra parte é rotativa, feita em aço, fixada na coroa do rotor.

#### 2.2.1 Guias de ar estacionárias

Como a parte estática fica muito próxima dos enrolamentos do estator, o uso de material isolante evita o surgimento de correntes induzidas pelas altas correntes alternadas da armadura, tampouco causará alteração no gradiente do campo elétrico.

As guias de ar estacionárias são formadas de segmentos pesando menos de 5 kg cada um, o que facilita bastante seu manuseio e montagem. Apesar de leves, suportam perfeitamente os esforços aos quais estão submetidas, como pode ser verificado nos resultados dos cálculo feitos para Platanovryssi, e ilustrados pelas Figuras 2 e 3.

Estes cálculos se referem a pior condição, que corresponde ao disparo do conjunto, quando a pressão do ar que deixa os pólos é cerca de 3,3 vezes a pressão na condição de operação normal. Mesmo assim a máxima tensão encontrada foi de 1,6 N/mm<sup>2</sup> e o máximo deslocamento resultou em cerca de 4 mm.

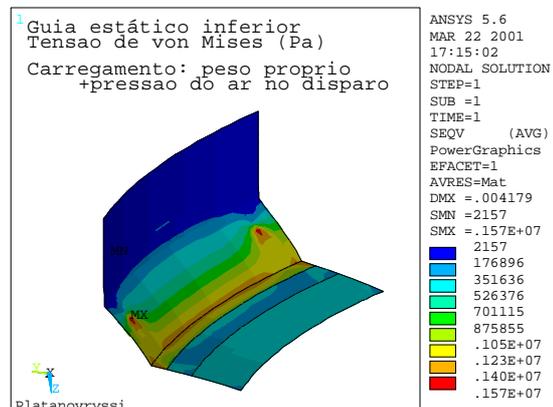


Figura 2 : Tensões atuantes na guia de ar

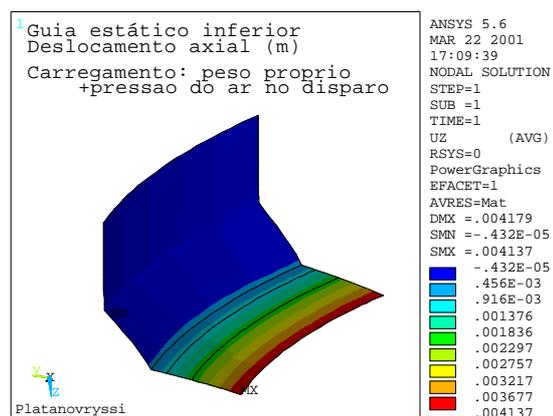


Figura 3: Deslocamentos na guia de ar causados pelo seu peso e pela pressão exercida pelo ar

A guia de ar estacionária encosta no final do pacote do estator. Para permitir uma melhor ventilação da parte inferior, são deixados pequenos ressaltos na extremidade da guia. O restante do fluxo de ar da parte

inferior passa pela folga entre a guia estacionária e a guia rotativa, como pode ser visto na Figura 4.

O fechamento entre os braços da cruzeta inferior é feito em chapas de aço, sendo bastante simples.

A parte superior da carcaça deve ser aberta para permitir a passagem do ar entre os apoios da cruzeta, por onde retorna o fluxo de ar frio vindo dos trocadores de calor, que segue pela região das cabeças de bobina e é aspirado pelo rotor.

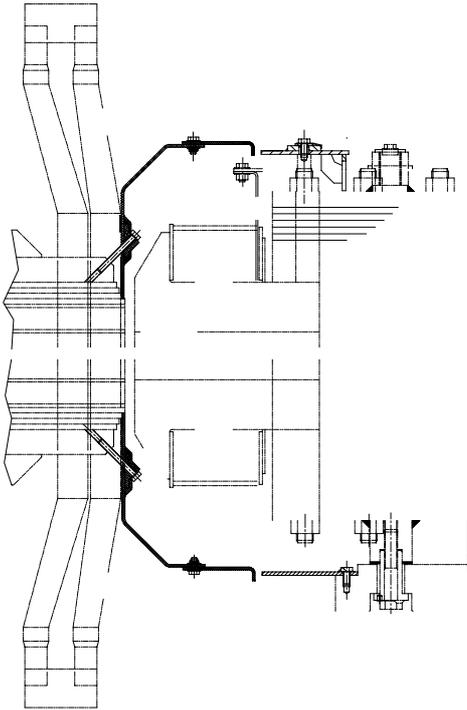


Figura 4: Detalhes construtivos das guias de ar

### 2.2.2 Guias de ar rotativas

A parte rotativa fica submetida a esforços maiores, resultantes dos esforços centrífugos. O aço mostrou-se mais adequado neste caso, podendo ser de material magnético, pois não está sujeito a campos alternados. A Figura 5 apresenta o resultado do cálculo deste componente na pior condição.

O peso de um segmento da guia de ar rotativa é em geral inferior a 30 kg.

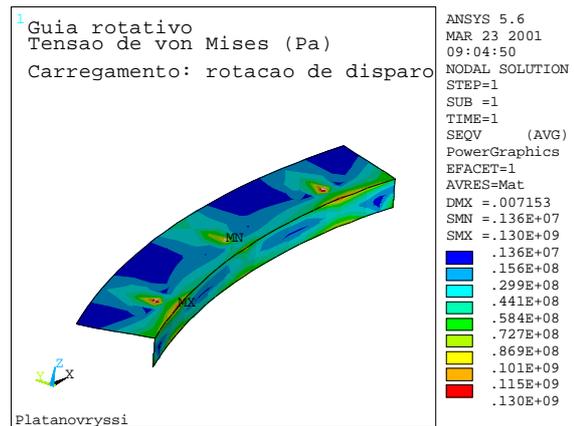


Figura 5

### 2.3 Cuidados adicionais

Os espaços entre os dedos de pressão superiores são totalmente fechados para evitar refluxo do ar quente da região da carcaça, enquanto os inferiores são deixados livres para permitir o fluxo de ar para o interior da carcaça.

### 3.0 - DISTRIBUIÇÃO DO FLUXO DE AR

Tradicionalmente o fluxo de ar nas cabeças de bobina dos geradores era de 5 a 10 % do total, em nossos projetos. No caso da Usina Hidrelétrica de Platanovryssi, que tem uma vazão de ar total de 30 m<sup>3</sup>/s, isto representaria de 1,5 m<sup>3</sup>/s a 3 m<sup>3</sup>/s.

Tomando-se o caso específico das cabeças de bobina inferiores, teríamos de 0,7 m<sup>3</sup>/s a 1,5 m<sup>3</sup>/s. Em nosso projeto as folgas entre as guias de ar foram dimensionadas para que a vazão de ar nessa região seja de 2 m<sup>3</sup>/s, divididos em duas partes. Uma através da folga deixada entre a parte estática da guia de ar e o núcleo, a outra entre as guias de ar estacionária e rotativa. Este fluxo segue entre os dedos de pressão do estator para a carcaça onde se mistura ao ar que atravessou os canais do núcleo. Portanto o resultado é bastante semelhante ao que se obteria com a concepção tradicional.

Na parte superior a diferença é grande. Temos agora todo o fluxo de ar frio vindo dos trocadores ar-água passando por esta região, garantindo sua boa refrigeração.

O rotor também é percorrido pelo fluxo de ar total vindo dos trocadores ( 30 m<sup>3</sup>/s ), acrescido de um pequeno fluxo de ar que escapa por entre as guias de ar superiores, que é de cerca de 2 m<sup>3</sup>/s.

### 4.0 – PRESSÕES DE AR

Para evitar altas temperaturas na região inferior do gerador não basta que haja uma área de passagem de

ar suficientemente dimensionada entre os dedos de pressão e nas folgas das guias de ar.

Também é preciso garantir uma boa vedação do compartimento do gerador para evitar interferência na distribuição das pressões do ar.

Para garantir que o fluxo do ar que escapa do rotor siga para a carcaça, a pressão do ar na região dos freios deve ser maior que no interior da carcaça. Se isto não ocorrer, haverá um fluxo de ar quente da carcaça para o recinto dos freios, comprometendo a boa refrigeração desta.

Esta pequena pressurização do recinto dos freios é benéfica para a distribuição das pressões na vedação do mancal localizado na cruzeta inferior.

O mesmo não ocorre na parte superior, onde a pressão é baixa, devido a aspiração de ar pelas aberturas no cubo do rotor.

## 5.0 – CARACTERÍSTICAS DOS GERADORES EM REFERÊNCIA

Na tabela 1 estão as principais características dos geradores já construídos usando o conceito apresentado.

Tabela 1 : Geradores – dados principais

Usina Hidrelétrica	PI	CN	Gi
Potência nominal [MVA]	68	30.4	15
Rotação nominal [rpm]	200	150	272.7
Número de pólos	30	48	22
Tensão nominal [kV]	15.75	13.2	15
Vazão de ar total [m <sup>3</sup> /s]	30	15	35
Diâmetro interno do estator [m]	5.70	6.00	4.96
Comprimento do núcleo [m]	1.614	0.966	2.018
Aquecimento da armadura [K] *	54/50	52	48
Aquecimento do núcleo [K] *	24/23	43	21
Aquecimento do enrolamento de campo [K] *	42/35	48	**

PI = Platanovryssi, CN = Coaracy Nunes,  
Gi = Gitaru

\* Valores médios medidos

\*\* Medição não consta do relatório. O valor calculado é abaixo dos demais geradores desta tabela.

## 6.0 - RESULTADOS DE ENSAIO

Os geradores referenciados neste informe foram ensaiados, registrando-se um excelente desempenho.

As vazões de ar medidas foram em geral próximas das calculadas, sendo que o maior desvio ocorreu no gerador de Gitaru, onde mediu-se uma vazão 10 % inferior ao esperado.

Nos geradores de Platanovryssi foram também medidas as pressões de ar na região das cabeças de bobina inferiores e no interior da carcaça, confirmando-se que há um gradiente de pressão que força o fluxo de ar neta direção.

Os valores de aquecimento medidos foram próximos dos calculados nos enrolamentos estáticos, sendo o maior deles de 54 K, obtido em Platanovryssi.

Nos rotores os valores medidos foram inferiores aos calculados, sendo que o maior foi de 48 K em Coaracy Nunes, ainda assim bem abaixo do valor contratual.

Os aquecimentos dos núcleos também foram abaixo dos calculados, com exceção de Coaracy Nunes em que foi medido 43 K, com uma boa reserva em relação ao limite permitido.

## 5.0. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos foram excelentes e nos tem levado a adotar esta concepção de ventilação sempre que possível.

As guias de ar extremamente leves facilitam muito o seu manuseio, e o acesso para inspeção dos enrolamentos é mais direto, não necessitando de desmontagem das guias de ar.

Também o acesso aos freios fica melhorado, maximizando o espaço disponível para se trabalhar na parte inferior do gerador.

## 6.0. BIBLIOGRAFIA

- (1) - Eck, Bruno – Technische Strömungslehre – 9<sup>o</sup> edição – 1988.
- (2) - Relatórios de ensaio dos geradores de Platanovryssi – unidades 1 e 2 – Fevereiro de 2000.
- (3) - Relatórios de ensaio da unidade geradora 3 de Coaracy Nunes – Abril de 2000.
- (4) - Relatório de ensaio da unidade geradora de Gitaru – Maio de 2000.