



GGH/009

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

GRUPO I
GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH

O IMPACTO DA ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE HIDROGERADORES NO SEU CUSTO

J. Johnny Rocha E. Thomas Hildinger Egídio José Faria Cesar A. P. Alves

VOITH SIEMENS HIDRO POWER GENERATION LTDA.

RESUMO

São apresentadas considerações técnicas com uma visão histórica sobre o impacto da especificação técnica de hidrogeradores no seu custo. Neste contexto são expostos comentários sobre os diversos elementos que compõem uma especificação, principalmente no tocante aos parâmetros do gerador. No decorrer do trabalho, sobre casos base, são apresentadas as influências que estes parâmetros, individualmente, exercem sobre o custo do gerador. Conclui-se com observações desejáveis de serem consideradas durante a elaboração de uma especificação técnica.

PALAVRAS-CHAVE: Custos; Especificação Técnica; hidrogeradores.

1. INTRODUÇÃO

Embora o Brasil esteja assumindo uma estrutura desestatizada de geração de energia, a postura técnica das especificações para hidrogeradores se mantém conservadora, fazendo valer critérios de projeto e desempenho vigentes no passado, como se os avanços técnicos e de materiais tivessem permanecido estacionários no tempo.

Não podemos mais ignorar a contribuição que os métodos numéricos têm dado ao conhecimento e ao projeto de hidrogeradores, permitindo que se cultive uma nova experiência entre os fabricantes a nível mundial.

Desconhecemos os motivos pelos quais os critérios de especificação permaneceram inalterados; porém, reconhecemos que é dado o momento de levantar a discussão em torno dos critérios que devam pautar o projeto dos novos hidrogeradores e, principalmente, dos geradores que venham a ser "retrofitados".

Para esta discussão se pretende reunir argumentos que justifiquem, em bases técnicas, as mudanças de paradigma que se propõem neste documento.

Em complemento, uma análise econômica mostrando a diferença percentual de custos entre máquinas otimizadas sob critérios considerados naturais e as otimizadas via exigências comumente encontradas em especificações técnicas, deverá agregar um ingrediente de reflexão sobre o alcance de tais exigências.

2. A ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

De forma genérica, no contexto deste informe, se entenderá uma especificação técnica como sendo o conjunto de quesitos a serem reunidos por um produto a ser adquirido, seja por uma aquisição direta ou por meio de uma licitação pública. Estes quesitos, assim reunidos, deverão ser, dentro do seu contexto, precisa e inequivocamente definidos, resguardando a factibilidade do equipamento e, na medida do possível, os mesmos deverão estar em consonância com as mais recentes conquistas tecnológicas.

Assim, o corpo de uma especificação técnica, de um equipamento em particular, pode ser dividido nos seguintes elementos sobre os quais se deverá discorrer com a maior nitidez possível:

- Sobre a finalidade a que se destina o equipamento;
- Sobre os parâmetros técnicos do equipamento;
- Sobre a definição prévia das normas de avaliação e;
- Sobre a definição de materiais para fabricação.

2.1 Sobre a finalidade a que se destina o equipamento

Obviamente no nosso ambiente de geração de energia não se trata de assinalar que o "gerador deverá gerar energia elétrica", porém designar se o mesmo se destina a operar atendendo a ponta, ou trabalhar em regime integral atendendo a base, ou se terá uma operação sazonal, etc.

Ainda, dentro desta parte, é desejável que sejam informadas as condições geográficas e ambientais do local onde se pretende instalar o gerador, indicando inclusive as condições físico-químicas da água, tanto

daquela que se destina a ser turbinada como daquela que será usada nos sistemas de resfriamento.

Uma indicação importante é informar também o sistema e a localidade onde a nova central será integrada à rede elétrica nacional.

Com estes elementos, o fabricante (ou integrador) poderá formar uma primeira imagem do equipamento pretendido. Por exemplo, se a central estiver localizada numa ponta de linha e associada a um sistema fraco, certamente se tratarão de geradores com requisitos especiais de constante de inércia (H), acompanhados de uma capacidade particular para lidar com reativos.

A definição apropriada do regime de operação sinalizará sobre as condições de aquecimento a que os equipamentos estarão submetidos, permitindo ao projetista formar opinião a respeito dos materiais mais adequados para atender sem stress as pretendidas elevações de temperatura, principalmente sobre aqueles materiais que comporão o sistema de isolamento.

2.2 Sobre os parâmetros técnicos do equipamento

A escolha apropriada da potência nominal, junto com uma definição precisa da condição de sobre - potência, certamente é o primeiro passo para se ter um gerador operando a maior parte do tempo na sua condição ótima de eficiência, permitindo, ao projetista, na maioria dos casos, configurar geradores que, quando na condição de sobre - potência máxima, possam estar operando ainda no cume de máxima eficiência. Esta situação pode ser melhor compreendida analisando a Figura 1 que mostra um gerador com um dimensionamento adequado no que diz respeito à eficiência.

Obviamente, eficiência e potência, apesar de serem os elementos mais importantes de uma especificação, em alguns casos não caracterizam totalmente o gerador pretendido para uma determinada instalação, principalmente quando a rede elétrica ao qual será agregado impõe requisitos mínimos para conservar uma operação estável do sistema.

Nestas condições, ainda em tempo de planejamento, se deverá procurar um consenso entre os requisitos exigidos para uma operação estável com aqueles que de fato poderão ser configurados na concepção do gerador.

A incongruência de parâmetros tais como: relação de curto-circuito, reatância subtransitória de eixo direto, constante de tempo transitória de eixo direto, acompanhado de um valor de eficiência muito elevado, pode conduzir à impossibilidade de se construir um gerador que atenda todos os parâmetros de uma vez.

Recentemente, tem-se veiculado uma especificação técnica destinada a uma licitação internacional de geradores de 45 MVA associado aos seguintes parâmetros principais: $RCC \geq 1.17$; $X'd \leq 0.27$; $T'do \leq 5.5$ com uma eficiência não inferior a 98,26% avaliada conforme ANSI, a 115° C. Em conseqüência destes requisitos incongruentes, a empresa licitante, não sem muita conversa e muito tempo investido, acedeu alterar o valor de alguns parâmetros para que o gerador pudesse ser projetado atendendo tão elevada eficiência.

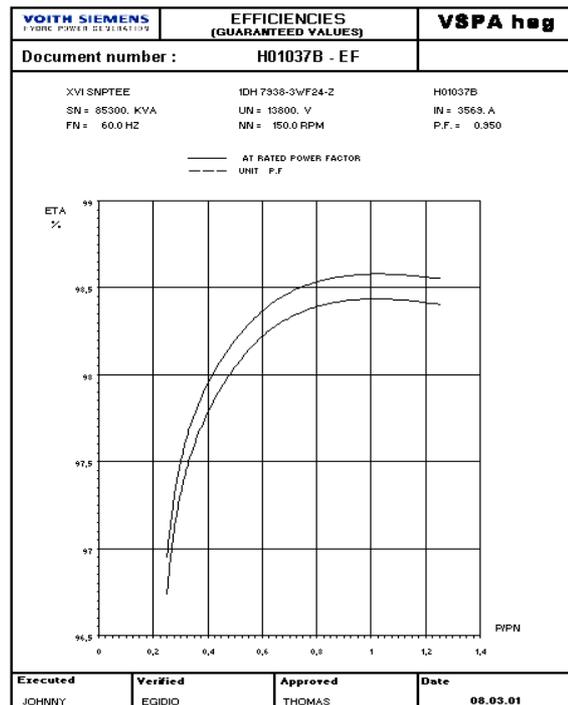


Figura 1 - Eficiência máxima à potência nominal.

2.3 Sobre a definição prévia das normas de avaliação

Não se trata de uma escolha visando o grau de exigência da norma ou conjunto de normas a serem escolhidas; tampouco deverá ser uma escolha visando custos. Se trata sim, de previamente, na época da licitação já se ter definido, com toda a transparência possível, o conjunto de normas através das quais será avaliada a recepção dos geradores.

Esta nitidez de procedimento, permitirá que sejam tomadas providências, ainda na época do projeto, para facilitar o processo de comissionamento. Por exemplo, a eficiência de um gerador pode ser avaliada, de acordo como a IEC 34.2, tanto pelo método calorimétrico, como através da medição das perdas segregadas. Sem entrar no mérito destes métodos, se na época do projeto não forem tomadas providências para permitir a inclusão da instrumentação requerida pelo método calorimétrico, durante o comissionamento, pode resultar extremamente cara a instrumentação do gerador para viabilizar o método aspirado.

2.4 Sobre a definição de materiais para fabricação

É bastante comum deparar-se com especificações que discorrem também sobre os materiais para fabricação dos geradores. Sem dúvida alguma, este direito de estabelecer uma condição básica para o conjunto de matérias primas que comporão o gerador deve ser conservado. Porém, é altamente desejável que este conjunto esteja em consonância com o conjunto de materiais utilizados pelos fabricantes tradicionais que, além de assegurar a elevada qualidade do produto, estarão oferecendo o compromisso econômico e técnico mais conveniente e condizente com a realidade tecnológica atual.

Se o adquirente, devido a convicções próprias ou a requerimentos do meio onde o equipamento será instalado, especificar materiais especiais, o mesmo deverá estar consciente do maior custo que estas exigências trarão consigo.

A título de exemplo de uma anti-especificação mencionaremos o caso de uma licitação na Europa onde, para uma máquina de 112 MVA; 600 rpm; 12 kV a especificação técnica exigia, entre outros:

- tirantes do núcleo do estator de aço não magnético, sendo que para este caso sequer tais tirantes eram necessários.
- Anéis coletores banhados a ouro. Esta exigência dispensa maiores comentários.
- Chapas de aço-silício de grão orientado de 0.5 mm. Além de desnecessário, o uso de aço-silício neste caso é contraproducente e a espessura de 0.5mm não é mais encontrada para aços de grão orientado.
- "Stress" dielétrico da isolamento principal, sob tensão nominal, não superior a 2.1 kV/mm. Vale lembrar que para as modernas isolações em impregnação total a vácuo (VPI) com resina epoxi, o padrão atual é, no mínimo, 25% superior a este valor. Portanto, tal exigência apenas onera, desnecessariamente, o produto e conduz a uma solução de projeto inadequada e pouco eficaz.

3. ELEMENTOS DE DESTAQUES NUMA ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

Durante o processo da elaboração da especificação técnica, e na oportunidade de estabelecer os parâmetros que se julguem importantes para a correta caracterização do gerador, os seguintes destaques devem ser levados em consideração durante a ponderação de cada parâmetro,

3.1 Elevações de temperatura

Ao que parece, a transição do sistema de isolamento empregando materiais classe B para o atual sistema totalmente manufaturado com materiais pertencentes à classe F, não foi totalmente bem assimilada por uma grande maioria dos especialistas envolvidos com a especificação de geradores, ainda mais quando se trata de geradores de grande porte.

É bastante comum, ainda, encontrar especificações solicitando elevações de temperatura correspondentes à classe A (60 K) medidas sobre a temperatura da água na entrada dos trocadores de calor (em geral 30° C), porém sem considerar os 10 K que, segundo a IEC 34.1, devem ser acrescidos nesta condição.

Nada contra considerar o elemento secundário de resfriamento como referência para medir a elevação da temperatura, principalmente dos enrolamentos. Afinal, esta condição está prevista na IEC 34.1, porém, não se deve esquecer de acrescentar os 10 K, também previstos na mesma norma.

Todavia, o mais alarmante, depois de meio século de estarmos fornecendo geradores com classe F de isolamento, é deparar-se com especificações requerendo tamanha margem de segurança sob a alegação de estar procurando investir na vida útil do equipamento.

Esta situação, além de encarecer desnecessariamente o investimento inicial do gerador (inaceitável nestes tempos de extrema competitividade), beneficia os fabricantes com menor domínio tecnológico que se servem de polpudas margens de segurança para oferecer um certo conforto técnico aos seus projetos.

3.1.1 No enrolamento estatórico e bobinas de campo

Temos a convicção que, depois de mais de um século de tecnologia de fabricação de geradores síncronos, devemos estar maduros o suficiente para oferecer projetos acurados, sem excessos de margens de segurança; ao mesmo tempo de estarmos oferecendo geradores com elevada confiabilidade. Portanto, se estamos quase às portas da popularização da classe H de isolamento, porque não assumirmos nosso conhecimento tecnológico e passarmos a tratar os materiais classe F com a solicitação térmica para a que foram desenvolvidos?.

Isto é, elevações de 105 K medidas por meio de RTD no enrolamento do estator e 105 K nas bobinas de campo medidas por variação de resistência, sobre 40°C da temperatura do ar frio na saída dos trocadores de calor (ou sobre 30°C da água na entrada dos trocadores de calor acrescidos de 10 K).

3.1.2 No núcleo do circuito magnético

Principalmente no caso do núcleo estatórico, uma vez que, além do verniz de proteção original, os fabricantes de tradição acrescentam a seu próprio envernizamento em classe F (que por sinal supera com vantagens as expectativas da norma) resta o cuidado tecnológico que será devotado ao projeto do estator, de modo que sejam evitados os problemas de "buckling" e afrouxamento freqüente do pacote estatórico.

Se, sobre este ponto não houver uma norma que se ajuste as aspirações do contratante, sugerimos deixar que cada fabricante confronte tal situação conforme seu conhecimento tecnológico.

3.2 O fator de potência

O fator de potência de um gerador está intimamente associado à sua habilidade de tratar com potência reativa de forma permanente.

Em geral, as concessionárias de energia têm estabelecido um limite inferior para o fator de potência medido no ponto de fornecimento. Este valor tem evoluído de 0,8 (a uns 40 anos atrás), passando 0,85 (a uns 20 anos) para, atualmente estar em 0,90.

Baixos fatores de potência conduzem a elevadas correntes de magnetização que, por sua vez, solicitam núcleos de maior seção. Portanto, deve ser tratado com total austeridade, sendo resultado de um estudo comparativo entre o custo de uma compensação de reativos por meios externos, com o custo de um gerador capaz de atender às necessidades do sistema.

3.3 A relação de curto-circuito

Tradicionalmente é considerado como um recurso para avaliar a adequação do núcleo magnético do gerador às necessidades de excitação, quando se sai de uma situação de regime permanente para uma de extrema solicitação.

Em concordância com a IEC 34.4, formalmente a relação de curto-circuito - RCC - pode, com ajuda da Figura 2, ser definida segundo a equação (1) [1]:

Em geral, para se manter a tensão nominal nos terminais do gerador, por uma condição de equilíbrio técnico-econômico, o ponto de operação sobre a linha de magnetização resulta estar em uma região um tanto saturada. Conduzindo a uma corrente de excitação ligeiramente maior àquela medida sobre a linha de entreferro para mesma tensão nominal. Por sua vez a corrente de excitação necessária para manter uma corrente nominal nos terminais do gerador curto circuitados, sempre conduzirá a um ponto de operação não saturado.

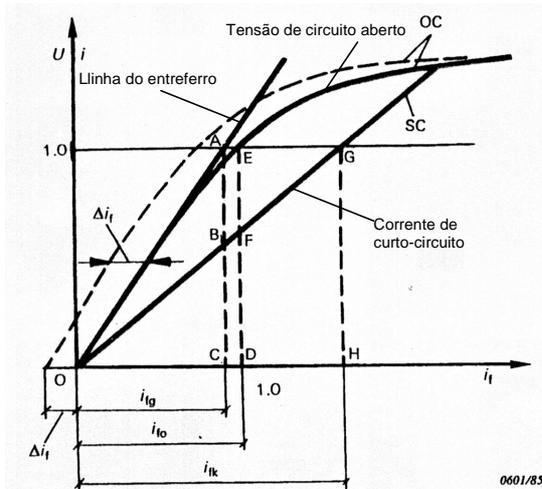


Figura 2 - Curvas características esquemáticas de um gerador síncrono retirado da IEC 43.4.

$$RCC = \frac{OD}{OH} = \frac{i_{fo}}{i_{fk}} = \frac{1}{X_{ds}} \quad (1)$$

i_{fo} - Corrente de campo necessária para manter tensão nominal nos terminais do gerador sem carga

i_{fk} - Corrente de campo necessária para manter corrente nominal nos terminais em curto-circuito

De onde se depreende que a RCC, quando em valores por unidade - pu, é uma tentativa de avaliar o grau de saturabilidade do gerador. Porém, é uma tentativa que só serve para comparar geradores dentro de uma mesma faixa de potência e rotação.

Uma maneira de poder obter utilidade desta informação e aplicá-la universalmente é recordando, com ajuda da Figura 2, que a relação de curto circuito (em pu) é igual ao valor inverso da reatância síncrona de eixo direto saturada - X_{ds} . De modo que, o produto da RCC com a reatância síncrona de eixo direto não saturada - X_d - nos dará uma idéia do grau de saturação do gerador.

Assim, as suas implicações econômicas serão as mesmas aplicadas às necessidades de X_d .

3.4 As reatâncias transitórias e sub-transitórias

As reatâncias, em geral, podem ser consideradas como uma medida do acoplamento magnético entre o campo de excitação e o de reação da armadura,

segundo o regime de operação em que se encontre o gerador.

3.4.1 As reatâncias de regime permanente:

O valor em pu destas reatâncias está associada à potência nominal dos geradores. Em geral, para pequenos geradores até uns 20 MVA, temos constatado soluções de compromisso técnico-econômico, aonde os valores de X_d chegaram a 1.8 pu com $X_q = 1.12$. Naturalmente, estas soluções encontradas no mercado europeu, há tempos quebraram o paradigma de que a RCC não deveria ser inferior à unidade. No caso do exemplo, a RCC foi de 0,66 pu.

Já para grandes geradores, acima de 60 MVA, estes valores tendem naturalmente a valores que se aproximam mais da unidade. Isto porque a tecnologia encontrada tende a ser mais homogênea entre os diversos fabricante.

Assim, estas grandezas estão mais associadas ao compromisso técnico-econômico da solução (know how de cada fabricante) do que à "operabilidade" do gerador. Para entender melhor, tomemos o caso da X_d , que pode ser definida pela relação da equação (2) [IEC34.4]:

$$X_d = \frac{AC}{BC} = \frac{OH}{OC} = \frac{i_{fk}}{i_{fg}} \quad (2)$$

i_{fk} - Corrente de campo necessária para manter corrente nominal nos terminais em curto-circuito.

i_{fg} - Corrente de campo necessária para manter tensão nominal nos terminais do gerador sem carga quando observada sobre a linha do entreferro.

Seria errôneo presumir que valores elevados de X_d são o resultado de máquinas saturadas. Embora a saturação tenha seu papel importante sobre inclinação da linha do entreferro, as grandezas das correntes de campo i_{fk} e i_{fg} são predominantemente definidas pela quantidade de espiras presentes tanto no circuito do estator como do rotor.

Por outro lado, um número elevado de espiras não necessariamente implica em uma maior quantidade de cobre, pois podemos ter circuitos com bastantes espiras de pequena seção, significando que teremos uma quantidade maior de perdas. Aqui é que a definição de uma eficiência mínima tem seu rol mais importante, uma vez que será esta exigência a que imporá que as espiras tenham uma seção compatível com as perdas aspiradas.

3.4.2 As reatâncias transitórias/subtransitórias

A bem da verdade, estas grandezas (que por força de expressão as denominamos de reatâncias), são elementos que conduzem a uma medida indicativa da estabilidade do acoplamento magnético entre a ação primária da turbina, moderada pelo campo dos pólos, e a reação do sistema elétrico representada efetivamente através do enrolamento estático, durante condições de operação fora do regime permanente.

Neste contexto, nos primeiros milésimos de segundo que se seguem a qualquer mudança de regime operativo, o enrolamento amortecedor entra em cena

com o propósito de limitar a deformação das linhas de fluxo, procurando mantê-las o mais perpendicular possível à linha do entreferro.

Assim, como uma medida da efetividade desta gaiola de esquilo engastada nas sapatas polares, foi introduzida a relação X''_q/X''_d e, num princípio (entre 1945 e 1955) foi apregoado que este valor não poderia ser inferior 1,30. Porém, na mesma época, engenheiros da Tennessee Valley Authority (USA) alicerçados em observações puramente analíticas resolveram aceitar, não sem reticências, que este valor não fosse inferior a 1,35 [2]. Grandeza esta que permanece até nossos tempos, ignorando que os sistemas de excitação já estão na era digital e que já faz um tempo que somos capazes de prever o comportamento transitório dos geradores, estejam estes operando isoladamente ou atrelados a sistemas multimáquinas.

Se a ação do enrolamento amortecedor for efetiva, nos próximos milésimos de segundo intervirá o enrolamento de campo, agindo como uma espécie de freio elétrico e, se bem sucedido, restabelecerá a estabilidade final do enlçamento de fluxo. Uma breve constatação desta afirmação é apresentada na própria definição da constante de tempo transitória de circuito aberto T'_{do} [3].

3.5 As constantes de tempo

Essas grandezas informam sobre o tempo de ação das reatâncias transitórias/subtransitórias, determinando o tempo de resposta dos sistemas de comando e controle.

Algumas vezes tem sido utilizadas em especificações na tentativa de impor que alguns enrolamentos tenham características mínimas aceitáveis. O caso mais comum é o da T'_{do} , especificada com o propósito de se obter um circuito magnético onde a influência do enrolamento de campo seja predominante.

Se tal tentativa não for fruto de uma avaliação cuidadosa, a mesma poderá conduzir a uma incongruência de parâmetros que inviabilizarão o projeto do gerador.

3.6 A constante de inércia

Num contexto puramente elétrico, essa grandeza deverá ser resultado da análise transitória do impacto sobre o sistema devido à introdução de uma nova fonte de geração. Assim, deverá ser o sistema elétrico que deverá ditar a necessidade mínima de reserva de energia cinética a estar contida dentro do novo gerador.

Todavia, é mais comum que essa grandeza seja definida pela necessidade do circuito hidráulico. Onde resulta que a sinergia entre "turbineiro" e "geradoreiro" seja cada vez mais intensa.

3.7 Os limites de tensões de escoamento

O desenvolvimento na área de produção de materiais, tem evoluído não somente no seu aspecto qualitativo intrínseco, superando seus limites clássicos, mas também tem expandido sua capacidade de produção,

fazendo que materiais que outrora foram especiais e por isso inacessíveis, hoje sejam tratados como materiais comuns.

Essa experiência deve nos levar a ter cautela quando da especificação de materiais, pois, com certeza, a estratégia da aplicação competitiva dos mesmos, variará de fabricante para fabricante, ainda com mais intensidade devido à popularização do emprego da técnica dos elementos finitos na análise de estruturas.

3.8 O rendimento

Num clássico manual de projeto de equipamentos elétricos [4] é encontrado o seguinte comentário sobre rendimento: *é caro conseguir elevadas eficiências porém, elevadas perdas afetam os custos de operação e causam dificuldades com a ventilação.*

Contemporaneamente, o Prof. Poloujadoff apresentou ao ICEM 2000 as suas reflexões sobre o rendimento [5], cuja mensagem nos parece conveniente comentar neste fórum.

Assim, o estabelecimento de um rendimento mínimo para o conjunto turbina-gerador deverá ser resultado de uma análise dos benefícios econômicos ao longo do tempo (pelo menos) de retorno da unidade. Oportunidade em que deverá ser avaliado o impacto de um desembolso maior na implantação do projeto beneficiado por um elevado rendimento, contra um desembolso menor na implantação porém penalizado por um rendimento (digamos) aceitável.

Dentro deste contexto deverá ser definido o valor de rendimento que melhor retorno traga ao empreendimento. Sempre lembrando que geradores com rendimentos máximos ocorrendo em potências superiores à nominal tendem a encarecer o produto de forma exponencial.

Ainda, seria desejável tratar em rendimento ponderado no lugar de rendimento medido num ponto de operação. Desta forma, os pesos da média ponderada a ser adotada, indicarão claramente a condição operativa para a qual o gerador deverá ser projetado fazendo, em geral, com que o ponto de máxima eficiência ocorra no ponto de operação destacado com a maior ponderação. Este tipo de especificação conduzirá a soluções melhor dimensionadas ao recurso hidroelétrico em questão pois, em seu contexto já traz consigo as informações da curva de permanência do recurso hidroenergético.

4. O IMPACTO NO CUSTO

Seria árduo, se não impossível, obter regras definitivas que retratem da influência dos diversos parâmetros do gerador no seu custo. Por este motivo, apresentaremos tão somente exemplos indicativos, ilustrados sobre um caso específico.

Com esta finalidade adotamos como solução base um gerador de 65 MVA; 0,85 de fator de potência, 13,8 kV com 240 rpm; isolamento classe F e elevação de temperatura correspondente a classe B. A forma construtiva do gerador contempla dois mancais (arranjo construtivo tipo IM8425 - W41). Sendo que o mancal

combinado de guia e escora está acomodado na parte superior do gerador e o outro, de guia, na parte inferior do rotor.

Para efeitos de comparação, ao longo das novas soluções se manteve a mesma classe de elevação de temperatura, o mesmo índice de saturação e, na medida do possível, o mesmo rendimento. De modo que foi observada a influência de um parâmetro por vez, procurando manter os demais parâmetros o mais próximo possível do seu valor original.

4.1 O fator de potência

- de 0,85 para 0,90 redução de custo: 0,89%
- de 0,85 para 0,95 redução de custo: 1,49%

Causa: Alívio na coroa do rotor e no enrolamento de campo. Pode se esperar incremento no rendimento.

4.2 A relação de curto-circuito

- de 0,96 para 0,82 redução de 1,01%
- de 0,96 para 1,16 acréscimo de 3,6%

Causa: *Para a redução:* diminuição do pacote magnético e incremento do número de espiras do estator.

Para o acréscimo: Aumento do pacote magnético e redução do número de espiras do estator.

4.3 A reatância subtransitória de eixo direto

- de 0,19 para 0,25 acréscimo de 1,68%

Causa: Houve necessidade de incrementar o enlaçamento de fluxo, i.e. mais Ampere-espiras no campo, para compensar também o aumento de entreferro. Como conseqüência se fez necessário aumentar o pacote magnético

4.4 A classe de elevação de temperatura

- de Classe B para A acréscimo de 12%

Causa: Houve um incremento considerável no pacote magnético. Embora, tenha se reduzido em 20% o entreferro, teve necessidade de mais cobre no enrolamento de campo

4.5 O rendimento

- de 98.24% para 98.65% acréscimo de 11%

Causa: Aumento considerável da quantidade de cobre tanto no estator como no rotor, mantendo constante os seus números de espiras. Devido ao incremento da altura radial da bobina estatórica, também se teve que aumentar o diâmetro externo do estator.

4.6 O momento de inércia do gerador

- de 800 para 600 t.m² redução de 3%

Causa: Diminuição quase que proporcional (quadrático) do diâmetro do estator, associado a um incremento da altura do pacote magnético.

4.7 O limite da tensão de escoamento admissível

- de 0,666 para 0,7 redução de 1,0%
- de 0,666 para 0,8 redução de 1,50%

Causa: Para simular esta situação se aumentou o diâmetro interno do estator. Pois isto, permite que seja incrementada a velocidade periférica do rotor, um dos ingredientes principais para uma efetiva indução. Como incremento de diâmetro implica em circunferência maior, pode-se diminuir a altura do núcleo para manter o mesmo índice de saturação.

5. ANÁLISE E CONCLUSÃO

Por ser o gerador um equipamento de solução multidisciplinar, envolve inúmeras variáveis que tornam complexa a elaboração de um processo de síntese computacional. Embora o engenheiro de cálculo de geradores tenha desenvolvido uma elevada intuição sobre o comportamento das principais variáveis, resulta impossível, a priori descrever as implicações econômicas que uma determinada especificação trará sobre o gerador.

Sabe-se sim, que quanto mais restrições sejam especificadas, mais difícil será convergir para uma solução que comprometa coerentemente o custo com a eficiência.

Considerando que, atualmente quase todos os sistemas de potência domésticos já estão fortemente interligados, ainda mais, quando já estamos considerando sistemas interconectados internacionalmente, parece ser conveniente revisar as restrições clássicas, impostas aos geradores que irão fazer parte destes sistemas.

Assim, cada vez com menos freqüência haverá necessidade de operar geradores isoladamente, implicando em que possam ser amenizadas algumas exigências. Como já acontece em alguns países da Europa, pequenas unidades são totalmente reguladas pelo sistema.

As implicações econômicas aqui apresentadas, tiveram a finalidade de alertar e, na medida do possível, fazer com que o leitor seja impelido a um reflexão. Em momento algum, os mesmos devem ser tomados como resultados absolutos. São apenas valores indicativos, válidos para o gerador estudado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] International Electrotechnical Commission. IEC 34.4 Methods for determining synchronous machine quantities from tests. Genève Suisse.
- [2] Walker, Jack Holmes - LARGE SYNCHRONOUS MACHINES - Design, Manufacture and Operation. Oxford University Press, New York 1981.
- [3] Kimbark, Edward Wilson - Power System stability: SYNCHRONOUS MACHINES. Dover Publications, Inc., New York 1956.
- [4] Smith, S. Parker & Say M. G - ELECTRICAL ENGINEERING DESIGN MANUAL. Chapman and Hall Ltd. London 1950
- [5] Poloujadoff, M - Choise of the efficiency of an electrical machine: Evolution of the concept and personal memories. ICEM 2000 28-30 August 2000 Espoo Finland.