

TEORIA DO BALANCEAMENTO

O QUE É UM DESBALANCEAMENTO:

Entende-se por peça desbalanceada, aquela que tem seu eixo de massa diferente do seu eixo de rotação definido pelos mancais.

Uma peça estar “perfeitamente” balanceada é uma situação que, dificilmente é atingida na prática.

DESBALANCEAMENTO ESTÁTICO:

Diz-se que uma peça está desbalanceada estaticamente quando seu eixo de massa assume uma posição paralela ao eixo de rotação.

Pode-se observar este fato da seguinte maneira:

Apóie a peça sobre duas réguas horizontais, (pode ser o próprio balanceador) quando então, pela força da gravidade, a peça girará até que o eixo de massa fique para baixo.

DESBALANCEAMENTO DINÂMICO:

Diz-se que uma peça está desbalanceada dinamicamente quando seu eixo de massa forma um ângulo com o eixo de rotação e seu centro de massa encontra-se sobre este eixo.

Neste caso, se apoiarmos a peça em duas réguas horizontais, ela não se moverá, uma vez que o sistema encontra-se em equilíbrio. Mas, quando colocada em giro, aparecerão os efeitos causados pelas forças centrífugas, levando a peça a assumir um movimento oscilatório.

DESBALANCEAMENTO ESTÁTICO-DINÂMICO:

É o que ocorre na maioria dos casos. A peça está desbalanceada estática e dinamicamente.

Obter o balanceamento nesta situação significa girar o eixo de massa em torno do centro de gravidade e deslocá-lo paralelamente ao eixo de rotação até que coincidam.

CONCLUSÕES:

1 - Nas peças em forma de disco, o balanceamento estático é suficiente, uma vez que, o momento de desbalanceamento é pequeno, embora as forças centrífugas atuantes no sistema possam ser grandes. Em peças desta forma o ângulo entre o eixo de massa e o de rotação é aproximadamente nulo, o que elimina o efeito do desbalanceamento dinâmico.

2 - Em peças cilíndricas (ou qualquer outra em que o comprimento seja maior que o diâmetro) o balanceamento estático poderá até piorar as condições dinâmicas da peça como descrito abaixo:

Suponha que a peça esteja desbalanceada, do lado esquerdo, e que após balancearmos estaticamente (por azar) no lado direito, surgirá uma massa igual e oposta neste lado. Pela experiência do balanceamento estático, se a peça estiver apoiada sobre duas réguas horizontais ela não se moverá, pois o sistema está estaticamente equilibrado.

Porém, quando colocada em giro, aparecerão os efeitos dobrados causados pelas forças centrífugas das duas massas (antes do balanceamento era uma) e a peça tenderá ao movimento oscilatório com duas vezes o valor anterior (ou seja, ela ficou bem pior do que antes).

TOLERÂNCIAS:

Caso o fabricante da peça a ser balanceada não informe a tolerância de balanceamento, deverá ser seguida a norma **ISO 1940** (A norma **ABNT** referente a tolerância de balanceamento é equivalente).

Para determinar até que grau de precisão os diversos tipos de rotores (peças) devem ser balanceados, está incluso no programa os valores e cálculos das tolerâncias de balanceamento conforme a norma **ISO 1940**. Essas tolerâncias referem-se à máxima velocidade tangencial do centro de massa. Esta norma classifica as peças em grupos a saber:

G 40 - Rodas de carro, Aros, Rodeiros.

G 16 - Peças rotativas de motores oscilantes, **eixos cardã**n, peças de máquinas agrícolas, e de britadeiras.

G 6,3 - Eixos cardã de qualidade elevada, tambores de centrífugas, ventiladores, **virabrequins**, volantes, peças de máquinas e induzidos normais de motores elétricos.

G 2,5 - Turbinas a gás e a vapor, rotores de alimentadores, turbo-geradores, comandos de máquinas operatrizes, induzidos médios e grandes de motores elétricos de precisão elevada e induzidos pequenos.

G 1 - Turbinas de motores aeronáuticos, acionamento de gravadores e toca-discos, acionamentos e rebolos de retificas e induzidos de motores elétricos de precisão elevada.

G 0,4 - Acionamentos e rebolos de retificas de precisão elevada, giroscópios.

O programa calcula a tolerância, apenas selecione o “**G**” correspondente ao tipo de peça que será balanceada.

NORMAS REFERENTE A BALANCEAMENTO:

Como não é permitido copiar normas; segue os números das normas **ISO** referente a balanceamentos, para possibilitar ou auxiliar V.S. na implantação da norma série **ISO 9000**.

Contatar a **ABNT** (Associação Brasileira de Normas técnicas) para a aquisição da(s) norma(s) desejada(s).

Nº ISO

Assunto

| | |
|--------|----------------------------------|
| 1925 | Vocabulário |
| 1940/1 | Resíduo permitido |
| 2953 | Máquinas e certificado |
| 8821 | Chaveta |
| 7475 | Segurança |
| 5343 | Rotores flexíveis, critérios |
| 5406 | Rotores flexíveis, balanceamento |

GENERALIDADES:

| Nº ISO | Assunto |
|---------------|-----------------------------------|
| 2372 | Vibração de máquinas-básico |
| 7919 | Vibração de máquinas |
| 3945 | Vibração de máquinas grandes |
| 2954 | Vibração de máquinas alternativas |
| 2371 | Balanceamento no campo |
| 5348 | Montagem de sensores |
| 5347 | Calibragem de sensores |

TEORIA DO BALANCEAMENTO:

Quando se executa um balanceamento em uma peça, sensores medem a vibração na carcaça da máquina, e um disco indica a posição do desbalanceamento. Para isto ser possível, é feita a calibragem por taragem onde se calcula a proporção entre a vibração da carcaça e o peso causador dela. Se esta proporção não se mantiver constante, será impossível realizar o balanceamento, por isso além da condição descrita acima, deverão ser preenchidos mais quatro condições:

- 1** - Acesso na parte rotativa para colocação ou retirada de peso.
- 2** - Durante o processo de balanceamento, a rotação não deve variar.
- 3** - A fixação ou apoio do equipamento não deve ter folgas ou se modificar durante o balanceamento.
- 4** - Não pode modificar a posição do disco indicador de posição.

SOBRE A MECÂNICA DA MÁQUINA:

O sistema de acionamento por correia é o mais versátil. Este sistema de acionamento apresenta as seguintes vantagens:

- Qualquer tipo de peça, que esteja dentro dos limites de utilização do equipamento, pode ser balanceada imediatamente, pois é dispensada a confecção de luvas ou qualquer outro dispositivo de acoplamento.
- Para empresas de prestação de serviços e indústrias de rotores variados, esta característica é indispensável.
- Caso sejam fabricadas luvas de acoplamento para eixo cardã, tenha certeza que elas não estarão introduzindo interferências (vibrações), que podem comprometer a precisão do balanceamento. Para isto, uma os dois acopladores com parafusos e faça o balanceamento deles.

- Estes balanceadores enquadram-se no grupo das chamadas máquinas "duras", isto é, sua estrutura de apoio da peça é **rígida**, isto garante que a massa da peça não interfira na medida; o que resulta na possibilidade de uma calibragem puramente geométrica.

- Nas máquinas chamadas "macias", esta calibragem não é possível, porque o sistema de medição depende da massa da peça, implicando em que, para cada tipo de peça, sejam feitos giros de ensaio com a técnica de calibragem por taragem.

IMPORTANTE:

Para balancear peças com peso superior a **100 Kg**, é aconselhável o uso de talha ou ponte rolante para colocação e retirada da peça. Pois uma batida violenta da peça nos discos de apoio, poderá criar uma depressão que interferirá no resultado dos balanceamentos (tanto na peça quanto nos discos).

CONDIÇÕES PARA UM BALANCEAMENTO:

Alguns problemas encontrados no balanceamento como:

- Peças empenadas, flexíveis, peças sem eixo próprio, etc...

O perfeito entendimento destas informações que se seguem será de grande valia na solução de uma série de problemas de balanceamento.

BATENTE AXIAL:

Para evitar o movimento axial da peça (**no sentido do eixo da peça**), a máquina deve possuir um batente no lado oposto do sensor óptico, (também chamado de **contra-pino**), cuja função é impedir que ela se movimente lateralmente. Caso a peça tenha tendência de se movimentar para o outro lado, desalinhe os dois mancais de forma que o lado do batente fique alguns milímetros abaixo do lado oposto (desalinhe somente o necessário).

- O batente que acompanha o balanceador (contra-pino), deve ser posicionado na mesma altura do eixo da peça.

PEÇAS SEM EIXO PRÓPRIO:

Peças desta natureza são as que provavelmente apresentam os maiores problemas de balanceamento. Pela própria definição de balanceamento, pode-se chegar a esta conclusão. Diz-se que uma peça está perfeitamente balanceada quando seu eixo de massa coincide com o de rotação definido pelos mancais.

Três aspectos são responsáveis pela dificuldade de balanceamento deste tipo de peças. Vejamos cada caso em separado.

EXCENTRICIDADE:

Excentricidade quer dizer que o a linha do centro geométrico da peça não coincide com o centro efetivo do giro do eixo.

Suponha que um virabrequim ou eixo qualquer esteja com uma excentricidade de 0,02mm e que o volante que será montado sobre ele tem uma excentricidade é de 0,03mm (pode ser somente na furação ou ter sofrido algum dano em acidente).

No pior caso, a diferença, de centro será de 0,05 (0,02+0,03). Ora, **esta diferença, representa um erro dez (10) vezes maior do que a precisão desejada.** Uma vez que a ordem de grandeza da precisão de balanceamento (distância entre eixos de massa e eixo de rotação) é da ordem de 5 microns o que significa 0,005mm. Repare que estas peças podem estar balanceadas separadamente e este (erro) desbalanceamento aparecerá somente após a montagem.

CONCLUSÃO:

É necessário balancear as peças em separado e depois o conjunto das peças montadas e não esquecer de marcar a posição. Para que sejam montadas sempre nesta posição (a do balanceamento).

FOLGAS:

Folgas entre peças criam sérios problemas de balanceamento, uma vez que por causa desta folga, não existirá um eixo exato. Isto também é válido para peças com líquidos dentro (óleo) ou parafusos soltos. **A cada tentativa de balanceamento haverá uma nova posição de desbalanceamento.**

CONICIDADE NO FURO:

As peças definem um eixo de rotação que muda quando colocados **pinos ou parafusos**, alterando o balanceamento executado.

Estes três aspectos acima podem ocorrer simultaneamente.

É muito difícil obter precisões melhores que 0,02mm de centro, folga e conicidade, sem maquinário especial de usinagem.

SUGESTÕES PARA SE OBTER BONS RESULTADOS DE BALANCEAMENTOS:

- Fazer usinagem suficientemente precisa (dentro da faixa de precisão que se quiser de balanceamento) no furo, mandril e pino definitivo.
- Sempre que possível, balancear rotores com os próprios pinos montados e nas mesmas condições como posição, aperto de parafusos, etc...

ROTORES FLEXÍVEIS:

Um rotor é chamado de flexível, quando a sua rotação máxima de operação é próxima ou maior que a sua primeira ressonância.

Em outras palavras, as forças centrífugas atuantes nas diversas partes do rotor, quando em alta rotação, são suficientes para deformá-lo (quebrando em alguns casos), mudando conseqüentemente seu centro e o resultado do balanceamento.

Devido a grande variedade e a complexidade do estudo de rotores deste tipo, não cabe aqui uma análise mais profunda. Em geral, o fabricante do rotor instrui sobre as condições que ele deve ser balanceado. Vamos nos ater aos dois casos mais comuns, que são os balanceamentos de eixos de manivela (virabrequins) e eixos cardã ou cilindros.

EIXO DE MANIVELA (VIRABREQUIM):

O eixo de manivela apresenta as seguintes características:

- Quando montado no motor, ele é apoiado em todos os mancais (fixos), o que o caracteriza como peça rígida, uma vez que o conjunto é solidário à carcaça.

Quando colocado no balanceador ele é apoiado somente em dois pontos, apresentando por isso características de peça flexível quando em alta rotação.

Sugerimos então que, o balanceamento de eixos de manivela, seja executado em **velocidade de rotação baixa (600 rpm)**. Certamente é a condição que melhor simula as suas características de peça rígida.

Observe que a maioria dos virabrequins possui número par de cilindros (o peso de um compensa o peso de outro), mas existem exceções como:

- Virabrequim de compressores (um cilindro),
- Virabrequim de minitratores Tobata (três cilindros),
- Virabrequim de Mercedes 355 (5 cilindros),
- Virabrequim do Marea (6 cilindros) é par, mas precisa de contrapesos,
- Virabrequim de Maverick V8 (8 cilindros) também necessita de contrapesos.

Virabrequins com número **ímpar** de cilindros para serem balanceados necessitam de contrapesos que tenham o mesmo peso da sua (biela + pistão + pino).

EIXO CARDÃN OU CILINDROS:

Estas peças, quase sempre apresentam um desbalanceamento estático elevado, causado pela espessura diferente da parede. E se corrigido em dois planos nas pontas, a força centrífuga das massas de balanceamento, agindo em sentido oposto a massa da parede mais grossa, poderá empenar o mesmo, causando um desbalanceamento.

O balanceamento de eixos cardãn ou cilindros pode ser obtido por dois métodos:

1) Este método é mais complexo, porém proporciona um melhor resultado final:

a) Faça o balanceamento em baixa rotação escolhendo como planos de balanceamento as extremidades do eixo.

b) **Coloque o cardãn para girar em uma rotação mais alta** (tome cuidado para não exagerar). A máquina indicará um desequilíbrio em ângulos iguais para os dois planos (empeno causado pelas forças descritas acima). Não leve em consideração as indicações de quantidade, pois a peça estará flexionada, mascarando, portanto, esta informação.

c) **Faça a correção do desequilíbrio no centro do eixo cardãn por tentativas**, procurando obter o melhor resultado possível.

d) Coloque novamente a peça em **baixa rotação e retoque o balanceamento nas extremidades**.

2) Este método tem vantagem da rapidez de execução, porém o resultado final não é tão preciso quanto o método 1:

a) Coloque o eixo cardãn para girar a 2/3 da rotação máxima.

b) Defina os planos de balanceamento a uma distância dos mancais equivalente a 1/5 do comprimento do eixo.

c) Faça a correção indicada pela máquina.

ANTES DE BALANCEAR NÃO ESQUEÇA:

- 1 - Verificar a limpeza das peças e da máquina,
 - 2 - Verificar se não há partes quebradas,
 - 3 - Verificar empenos, ovalizações e se o eixo está polido.
 - 4 - Verificar ovalização de carcaça (cardã).
 - 5 - Verificar se as folgas de buchas estão corretas.
- Faça as correções e substituições necessárias antes de balancear.

CUIDADOS NA COLOCAÇÃO DA PEÇA NO BALANCEADOR:

Lubrifique com um pouco de óleo a superfície de apoio dos roletes.
Não use "O-ring" no eixo para apoiar o eixo axialmente.
Utilize a menor pressão possível da correia, de forma que a mesma não deslize.

ROTORES COM PARTES SOLTAS:

Quando ocorre um caso deste tipo, a cada medida o balanceador informará um resultado diferente. Certos rotores devem então ser vistoriados para evitar problemas como:

- Pinos, contra-pinos, arruelas, outras peças soltas.
- Em rotores bobinados pode haver espiras soltas.
- Em rotores ocos pode haver pesos soltos em seu interior, como líquidos, limalhas, resíduos de solda, arruelas, etc.
- O rotor poderá não estar rigidamente fixo em seu eixo, mudando seu centro em cada início de rotação.

Se ocorrer um destes casos ou algo semelhante será impossível balancear corretamente a peça.

ROTORES COM EIXO EMPENADO:

Ao colocarmos um rotor com eixo empenado no balanceador, ficará definido um eixo de rotação. Se após a montagem houver uma mudança do eixo de rotação, o balanceamento ficará perdido. Sugerimos então que o rotor seja apoiado no balanceador no mesmo local onde será apoiado após a montagem, evitando assim que o eixo de rotação se altere em prejuízo do balanceamento.

APOIOS IRREGULARES:

O acabamento dos eixos dos rotores, no local em que são apoiados no balanceador, É importante para um bom resultado final, pois apoios ou eixos irregulares comprometem a precisão do balanceamento.

TOLERÂNCIAS DO EIXO DO ROTOR:

Ovalização máx. - 20 vezes a precisão (em microns) de balanceamento necessária.
Triangulação máx. - 10 vezes a precisão (em microns) de balanceamento necessária.
Rugosidade máx. - 10 vezes a precisão (em microns) de balanceamento necessária.

ROLETES DO BALANCEADOR:

Excentricidade máx.-50 vezes a precisão (em microns) de balanceamento necessária.
Rugosidade máx. - 10 vezes a precisão (em microns) de balanceamento necessária.

HÉLICES:

O passo das pás deve ser constante para que a quantidade de ar deslocada por cada pá seja igual, caso contrário surgirá um efeito de forças similares ao desbalanceamento, que a máquina interpretará como tal.

Para obter-se um bom balanceamento de hélices devemos observar o seguinte:

- Alinhar cuidadosamente as pás e fazer o balanceamento em condições que simulem as condições de trabalho.

Dessa forma o efeito descrito acima poderá ser corrigido com contrapesos.