

GABRIEL POZZER KÜHLEIS

DETECÇÃO E DIAGNOSTICAGEM DE PROBLEMAS EM UMA BANCADA
DE TESTES DE ROLAMENTOS A BAIXAS VELOCIDADES

Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia Mecânica
da Escola de Engenharia da
Universidade Federal do Rio Grande
do Sul, como parte dos requisitos para
obtenção do diploma de Engenheiro
Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Herbert Martins Gomes

Porto Alegre
2010



Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

**DETECÇÃO E DIAGNOSTICAGEM DE PROBLEMAS EM UMA BANCADA DE
TESTES DE ROLAMENTOS A BAIXAS VELOCIDADES**

GABRIEL POZZER KÜHLEIS

**ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
ENGENHEIRO(A) MECÂNICO(A)
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Prof. Walter Jesus Paucar Casas
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica**

BANCA EXAMINADORA:

**Prof. Dr. Ignácio Iturrioz
UFRGS / DEMEC**

**Prof. Dr. Juan Pablo Raggio Quintas
UFRGS / DEMEC**

**Prof. Dr. Jun Sérgio Ono Fonseca
UFRGS / DEMEC**

**Porto Alegre
2010**

AGRADECIMENTOS

A realização desse trabalho só foi possível pois sempre tive um grande apoio vindo da minha família, desse modo, devo agradecer em primeiro lugar, meus pais, *Antônio* e *Rosecler*, e minha tia, *Sônia*, pois, graças a eles, nunca nada me faltou e a vontade de fazê-los orgulhosos é o meu grande incentivo.

Agradeço também pela oportunidade ímpar, dada pela empresa *Prüftechnik Condition Monitoring*, de estar envolvido em um projeto de alta tecnologia e podendo basear-me nele para a escrita desse trabalho. Assim, é necessário, citar o nome do meu chefe, *Dr. Edwin Becker*, que me convidou para estar no dia-a-dia da empresa e lá desenvolver este trabalho. Local onde contei com a ajuda de colegas, como *Álvaro*, *Christian* e *Misel*, em temas singulares ao meu estudo.

Agradeço também ao meu orientador, *Prof. Dr. Herbert Martins Gomes* com que pude contar com ajuda, de modo remoto, porém presente, por toda minha estada na Alemanha.

Aos meus amigos e à minha irmã, *Samantha*, pela ajuda prestada.

À minha namorada, *Roma*, pela ajuda, compreensão e incentivo.

Este trabalho contou com apoio das seguintes entidades:
- Empresa Prüftechnik Condition Monitoring

KÜHLEIS, G. K. **Detecção e Diagnosticagem de Problemas em uma Bancada de Testes de Rolamentos a Baixas Velocidades**. 2010. 36f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

RESUMO

Uma bancada de testes que simula condições reais em rolamentos foi projetada para o desenvolvimento de técnicas de análise de vibrações. Estas técnicas visam a diagnosticagem de falhas em rolamentos a baixas velocidades através da técnica de indução de falhas. Antes de se induzir falhas no rolamento a ser testado é preciso monitorar a bancada de modo a se certificar que problemas provenientes de outros componentes da bancada não irão modificar o espectro de vibrações. Através da detecção e do diagnóstico de problemas provenientes do eixo e dos rolamentos que recebem a alta carga radial aplicada ao rolamento foi possível conhecer os pontos críticos da bancada e assim criar uma metodologia de monitoramento. Monitorando-se o deslocamento axial e as vibrações (radial e axialmente) do alojamento dos rolamentos de carga radial, e o deslocamento vertical do eixo da bancada é possível garantir que a mesma estará apta a realizar os testes aos quais foi concebida.

PALAVRAS-CHAVES: rolamentos, detecção de falhas, monitoramento de condições, análise de vibrações.

KÜHLEIS, G. P. Detection and Diagnosis of Problems in a Test Bench for Low-Speed Roller Bearings. 2010. 36f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ABSTRACT

A test bench which simulate real conditions in roller bearings was designed to develop vibration analysis techniques. These techniques aim the low-speed roller bearings failure detection through the seeded-fail technique. Before seeding a failure in the test bearing, it is required to monitor the test bench in the way to certify that other test bench components' problems will not modify the vibration spectrum. Through the detection and diagnosis of the problems of the shaft and bearings which support a high radial load it was possible to find out the test bench's critical points and create a monitoring methodology. When monitoring the axial displacement and vibration of the radial load bearings' housing and the vertical displacement of the shaft, it is possible to guarantee that the test bench is able to perform the tests for which it was created.

KEYWORDS: Roller bearings, Failure detection, Condition monitoring, Vibration Analysis.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
SUMÁRIO	vi
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	1
2.1. Análise de Vibrações	1
2.1.1. Análise do Sinal no Domínio Tempo	2
2.1.2. Análise do Sinal no Domínio da Frequência	2
2.2. Defeitos em Rolamentos	3
3. MATERIAIS e MÉTODOS	4
3.1. Sensores de Deslocamento	4
3.2. Sensores para Aceleração	5
3.3. Termografia	5
3.4. Descrição da Bancada de Testes	6
3.4.1. Análise de Forças na Bancada	6
3.4.2. Frequências do Sistema	7
4. METODOLOGIA DE TESTES	7
5. PROBLEMAS DETECTADOS	9
5.1. Deslocamento Axial do Eixo	9
5.1.1. Detecção	9
5.1.2. Diagnóstico	10
5.1.3. Origem	10
5.2. Movimento do Alojamento do Rolamento de Testes	10
5.2.1. Detecção	10
5.2.2. Diagnóstico	11
5.2.3. Origem	12
5.3. Alojamento dos Rolamentos da Carga Radial em Posição Errônea	12

5.3.1. Detecção	12
5.3.2. Diagnóstico.....	13
5.3.3. Origem	15
6. CONCLUSÕES.....	15
REFERÊNCIAS	16
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	16
APÊNDICES	17
ANEXOS	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Frequências específicas a 60 RPM dos rolamentos do sistema (em Hertz) ...	7
Tabela 5.1 – Medição da temperatura no eixo (em graus Celsius)	14

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 –Partes integrantes de um rolamento genérico (MESQUITA <i>et al</i> , 2002).....	4
Figura 3.1 – Sensor indutivo de deslocamento e seu funcionamento.....	5
Figura 3.2 – Acelerômetro e sua estrutura.....	5
Figura 3.3 – Forças envolvidas no sistema e aplicadas no eixo e no rolamento de teste....	7
Figura 4.1 – Localização dos pontos de monitoramento	8
Figura 4.2 – Comparação entre espectros de velocidade e de aceleração	8
Figura 5.1 – Comparação do espectro de vibração em diferentes carregamentos.....	9
Figura 5.2 – Deslocamento axial do eixo.....	10
Figura 5.3 – Sinal no tempo (aceleração) do primeiro reparo.	11
Figura 5.4 – Comparação entre carregamento somente radial e carregamento radial e axial.....	11
Figura 5.5 – Projeto dos parafusos de fixação do alojamento do rolamento de testes.....	12
Figura 5.6 – Comparação do espectro de vibrações depois do primeiro reparo e situação atual	13
Figura 5.7 – Modelagem 3D do deslocamento amplificado do eixo e alojamento	14
Figura 5.8 – Termografia da região de encaixe do eixo e do alojamento (vista de topo).	14

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico acelerado tem inúmeras vantagens, porém a maior desvantagem é a destruição do meio ambiente. A geração de energia de modo convencional contribui para os danos ao mesmo. Para isso, utilização de fontes de energia renováveis são vistas como a solução para este problema.

A exploração da energia eólica já é feita em grande escala em países desenvolvidos e esta contribui de modo relevante na geração de energia. Os efeitos ambientais devido às turbinas eólicas são pequenos se comparados com os modos convencionais de geração de energia, destacando-se a poluição sonora como principal desvantagem.

As turbinas eólicas necessitam um alto investimento e também podem gerar altos custos de manutenção. Para minimizar os gastos em manutenção, geralmente esse equipamento é submetido à manutenção preditiva, que monitora as condições de componentes importantes para o seu funcionamento. Dessa forma, é possível utilizar tais componentes até o fim de sua vida útil e possibilidade de programação de parada para a realização da manutenção.

O método mais difundido para o monitoramento de condições é a análise de vibrações, confiável para componentes submetidos a alta velocidade, tais como rolamentos entre a caixa de engrenagens e o gerador elétrico. Porém para componentes de velocidade baixa, como os rolamentos do eixo principal, esse método encontra uma barreira. Quando a velocidade é baixa, as frequências de falha são muito baixas, aproximando-se do ruído produzido por diversas razões, e o tempo de aquisição de dados é muito maior.

Por esse motivo, a empresa Prüftechnik Condition Monitoring, da Alemanha, decidiu aprimorar a análise de vibrações convencional para que seja possível utilizá-la também para baixas frequências. Para isso, a empresa está desenvolvendo uma bancada de testes que conta com componentes de dimensões que se aproximam da realidade, possibilidade de simular alta carga axial e radial e de rotação a baixas velocidades, desde cinco até quatrocentas rotações por minuto.

A bancada será submetida ao método de teste de falhas induzidas, onde o rolamento de teste sofre danos nas pistas interna e externa, em um rolete e na sua gaiola. Para isso, primeiramente, é feita uma análise de vibrações com o rolamento sem danos para que sejam conhecidas as vibrações causadas por todos os componentes da bancada.

Antes da indução de falhas ao rolamento de testes, deve-se assegurar que a bancada esteja em perfeita ordem, para que falhas em outros componentes não sejam confundidas com as do rolamento. Uma vez que a bancada envolve altas cargas, dificultando o seu projeto e construção, é possível que haja danos ao início de sua utilização.

Para que se tenha controle do estado da bancada, deve-se fazer um constante monitoramento. Este trabalho irá apresentar os primeiros problemas ocorridos na bancada, bem como sua detecção e diagnóstico, realizado através de técnicas como a análise de vibrações, de deslocamento e térmica. Baseado no estudo dos problemas, espera-se conhecer os pontos críticos ou que podem diagnosticar falhas na bancada de modo precoce.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Análise de Vibrações

A fundamentação desse tipo de análise é baseada na idéia de que cada elemento de uma máquina, excitado pelos esforços dinâmicos provenientes do funcionamento dessa máquina, tem de liberar energia seja por calor, som ou vibração. Quando a forma de liberação dessa energia é a vibração, é possível fazer a leitura desses sinais vibratórios cuja frequência é idêntica àquela dos esforços que os provocam (ARATO JUNIOR, 2004).

Com o monitoramento constante de uma máquina com frequências conhecidas, é possível observar, por exemplo, o surgimento de novas frequências ou então o aumento da amplitude daquelas já conhecidas. Cada falha apresenta um padrão diferente de comportamento de frequências. A análise pode ser feita por inspeção visual direta, ou via utilização de técnicas de processamento.

2.1.1. Análise do Sinal no Domínio Tempo

O sensor fornece a aceleração do ponto em função do tempo, sendo construído um gráfico que deriva-se da representação matemática do sinal vibratório senoidal, descrita como:

$$x(t) = X \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

Onde X é a amplitude máxima, $\omega = 2\pi \cdot f$ é a frequência angular de oscilação em rad/s; $\varphi = \text{sen}^{-1} \frac{X_0}{X}$ é a fase em radianos; X_0 é o valor da amplitude no instante do início da descrição temporal do fenômeno.

Uma vez que essa equação representa o deslocamento, velocidade e aceleração do mesmo sinal podem ser correlacionadas pelas respectivas equações:

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = X \cdot \omega \cdot \cos(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = -X \cdot \omega^2 \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

Há três tipos de vibrações: periódicas, aleatórias e transitórias, sendo estas categorias baseadas na função do período de repetição, finita ou infinitamente longo (ARATO JUNIOR, 2004). Eventos, danos ou falhas de uma máquina podem ser caracterizados por uma frequência de acontecimento, com mudanças da amplitude da aceleração de maneira similar. Dessa forma, fazendo-se uma análise visual da mudança dos espectros de frequência ao longo do tempo, é possível identificar possíveis mudanças ou mesmo suas tendências.

2.1.2. Análise do Sinal no Domínio da Frequência

Segundo Fourier, qualquer sinal ondulatório pode ser descrito como uma combinação de sinais senoidais, como se vê na equação (4).

$$x(t) = X_1 \text{sen}(\omega_1 t + \varphi_1) + X_2 \text{sen}(\omega_2 t + \varphi_2) + \dots + X_n \text{sen}(\omega_n t + \varphi_n) \quad (4)$$

Dessa forma, a Transformada Rápida de Fourier (FFT) é comumente utilizada para descrever o fenômeno vibratório de máquinas, indicando a amplitude máxima X_i para cada uma das frequências f_i (Hz) (onde $f_i = \omega_i / 2\pi$) do sinal no tempo. É possível ver a transformação de um sinal domínio tempo para o domínio da frequência no Apêndice A.

Quanto mais complexo é o sinal no tempo, maior o benefício do uso da FFT, já que ela mostra as frequências dominantes em um sistema e a sua influência. Danos em rolamentos têm frequências definidas, dependentes na geometria do rolamento e a velocidade a que estão submetidos. Quando há um pico na mesma frequência que a velocidade de rotação do eixo,

por exemplo, é um indício que há algum problema no seu movimento ou algum componente a ele conectado.

2.2. Defeitos em Rolamentos

Segundo PONCI (2005), as causas mais comuns de defeitos em rolamentos são: seleção incorreta, sobrecarga, defeito de fabricação, desalinhamento, montagem incorreta, estocagem inadequada, lubrificação inadequada, excessiva ou insuficiente, falha de vedação e descargas elétricas através dos mancais. Geralmente, os defeitos em rolamentos evoluem com certa lentidão e emitem sinais com bastante antecedência da falha final, que pode ocorrer por travamento ou ruptura dos componentes. Defeitos típicos que evoluem dessa forma são: riscos nas pistas, roletes ou esferas, "pitting", trincas, corrosão, erosão e contaminação do lubrificante.

O processo de degradação de um rolamento pode se iniciar na pista externa ou interna, num dos elementos rolantes (rolos ou esferas) ou na gaiola, alastrando-se depois para os demais componentes. Esse processo pode ser dividido em três estágios básicos de evolução até a falha final: inicial, intermediário ou avançado. Segundo o mesmo autor monitorando-se a falha com a frequência adequada, acompanhando-se com segurança a localização e a extensão dos defeitos detectados a cada instante é possível evitar-se uma substituição precipitada, logo após a detecção do defeito, podendo-se programar a troca do rolamento na ocasião mais oportuna do ponto de vista da produção e da manutenção.

As frequências características de falha de rolamentos possuem uma peculiaridade especial: elas são não síncronas, isto é, não são múltiplas inteiras da velocidade de rotação do eixo. Isso pode permitir a sua identificação, mesmo quando não se conhece qual o rolamento instalado na máquina monitorada. As quatro frequências básicas geradas por defeitos de rolamentos são relacionadas com o comportamento dinâmico de seus principais componentes, ou seja:

- a) Frequência de passagem de elementos rolantes por um ponto da Pista Interna (*BPFI-Ball Pass Frequency Inner Race*), associada a defeitos na pista interna;
- b) Frequência de passagem de elementos rolantes por um ponto da Pista Externa (*BPFO-Ball Pass Frequency Outer Race*), associada a defeitos na pista externa;
- c) Frequência de giro dos elementos (*BSF-Ball Spin Frequency*), associada a defeitos nos elementos rolantes (rolos ou esferas);
- d) Frequência de giro da gaiola ou do conjunto (trem) de elementos rolantes (*FTF-Fundamental Train Frequency*), associada a defeitos na gaiola e a defeitos em alguns dos elementos rolantes.

É importante ressaltar que, ao contrario da maioria das frequências de vibração geradas por componentes mecânicos, essas frequências são verdadeiramente frequências de defeito. Isto é, elas só estarão presentes nos espectros de vibração quando os rolamentos estiverem realmente defeituosos ou, pelo menos, quando seus componentes estiverem sujeitos a tensões e deformações excessivas que poderão induzir uma falha. Segundo MESQUITA (2002) As falhas nos rolamentos tipicamente ocorrem devido a defeitos localizados na pista externa, pista interna, nos elementos rolantes ou na gaiola que direciona os elementos rolantes (ver Figura 2.1). Estes defeitos geram uma série de impactos de vibração devido ao choque dos elementos rolantes com a superfície do defeito. Estas vibrações ocorrem em frequências características, que são estimadas em função da velocidade da rotação do eixo e da geometria dos componentes do rolamento. Estas frequências são denominadas de frequências características dos defeitos (FCDs).

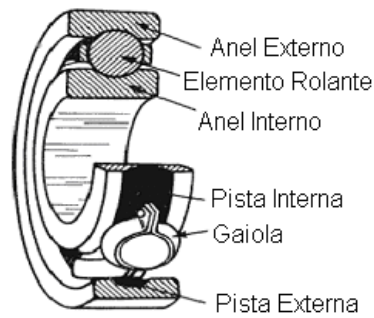


Figura 2.1 –Partes integrantes de um rolamento genérico (MESQUITA *et al*, 2002)

Na maioria dos casos a pista externa é fixa e a pista interna gira junto com o eixo de rotação da máquina. As fórmulas das frequências características dos rolamentos, para pista externa fixa são dadas por:

$$BPFO = S \cdot \left(\frac{N_b}{2} \right) \cdot \left(1 - \frac{B_d \cdot \cos \phi}{P_d} \right) \quad (5)$$

$$BPFI = S \cdot \left(\frac{N_b}{2} \right) \cdot \left(1 + \frac{B_d \cdot \cos \phi}{P_d} \right) \quad (6)$$

$$BSF = S \cdot \left(\frac{P_d}{2 \cdot B_d} \right) \cdot \left(1 - \frac{B_d^2 \cdot \cos^2 \phi}{P_d^2} \right) \quad (7)$$

$$FTF = S \cdot \left(\frac{1}{2} \right) \cdot \left(1 + \frac{B_d \cdot \cos \phi}{P_d} \right) \quad (8)$$

onde S é a diferença entre a frequência de rotação da pista interna e a pista externa (para a hipótese anterior igual à frequência de rotação do eixo), B_d é o diâmetro da esfera, D diâmetro primitivo, n número de elementos rolantes, ϕ é o ângulo de contato.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são listados os materiais, equipamentos e métodos utilizados para a análise da bancada.

3.1. Sensores de Deslocamento

Estes sensores aproveitam o efeito de correntes parasitas (correntes de Foucault) que surgem em um material condutor de eletricidade quando este é submetido a um campo magnético. Uma parte do campo magnético de alta frequência é dissipado no interior da peça, e esta perda depende, entre outros fatores, da distância entre ela e a bobina. Um circuito em ponte detecta esta perda, fornecendo um sinal elétrico que deve ser adequadamente tratado.

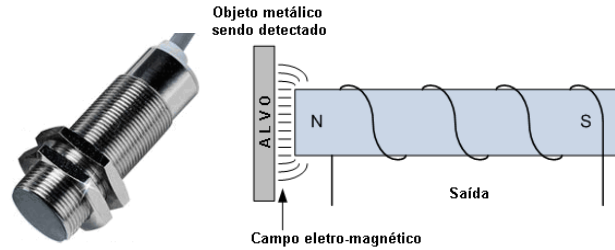


Figura 3.1 – Sensor indutivo de deslocamento e seu funcionamento.

Com a utilização deste tipo de sensor é possível medir não só o deslocamento de um eixo como também é possível descrever a sua superfície. Uma vez que a sensibilidade do sensor aumenta dependendo do material do objeto detectado, não é recomendado para materiais de baixa condutividade magnética (por exemplo, alumínio).

É possível capturar os dados enviados pelo sensor, ou mais de um sensor, e utilizá-los em um software de desenho gráfico para reproduzir o movimento realizado pelo objeto medido durante a sua medição. Com isso, a visualização do comportamento da máquina é facilitada. Para isso é preciso um equipamento de aquisição de dados e software gráfico específicos (por exemplo, Prüftechnik Signalmaster e ME'scope). Neste trabalho, os sensores de deslocamento utilizados serão VIB 6.645 da empresa Prüftechnik, com especificações técnicas mostradas no Anexo B.

3.2. Sensores para Aceleração

A aquisição da vibração é feita através do uso de acelerômetros, que é um transdutor no qual a saída elétrica é diretamente proporcional à aceleração em um grande faixa de frequências. Num acelerômetro piezoelétrico, como a força de vibração é aplicada a um elemento de cristal, a carga produzida é proporcional à magnitude dessa força (CROCKER, 2007). Essa carga então é amplificada e pode ser representada tanto como um sinal no tempo ou então, utilizando a transformada rápida de Fourier (FFT), um espectro de frequências (ARATO JÚNIOR, 2004).

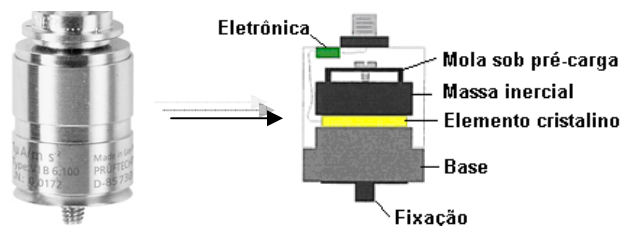


Figura 3.2 – Acelerômetro e sua estrutura

Os acelerômetros utilizados na aquisição de dados desse trabalho são da empresa Prüftechnik, modelo VIB 6.142 R, com especificações técnicas mostradas no Anexo C. Também será utilizado em conjunto, um sensor de velocidade VIB 6.631, com suas especificações no Anexo D.

3.3. Termografia

Câmeras de imagens termográficas são utilizadas para detectar radiação na faixa infravermelha do espectro eletromagnético (comprimento de onda entre novecentos e quatorze mil μm) e produzir imagens dessa radiação, chamada de termogramas. Como a radiação infravermelha é emitida por todos objetos em temperatura ambiente, de acordo com a lei de

radiação do corpo negro, a termografia faz com que seja possível ver o ambiente com ou sem iluminação visível.

A quantidade de radiação emitida por um objeto aumenta proporcionalmente em relação à temperatura, desse modo, a termografia permite detectar as variações de temperatura. Quando, vistos através de uma câmera de imagens termográficas, objetos com temperatura mais alta se destacam daqueles de menor, humanos e animais homeotérmicos podem ser facilmente vistos em qualquer ambiente, dia ou noite.

Desse modo, assim como é possível associar energia térmica às tensões em equipamentos mecânicos, alta carga em equipamentos elétricos, é possível utilizar uma câmera desse tipo (como o termovisor portátil Flir ThermaCam E2, por exemplo) para diagnóstico e detecção de problemas ocorridos em máquinas, bem como conhecer pontos de provável falha.

Neste trabalho será utilizado um termovisor portátil da marca Flir, modelo ThermaCam E2 para a termografia e também um sensor portátil de temperatura da empresa Prüftechnik, modelo VIB 8.608, cujas especificações são mostradas no Anexo E.

3.4. Descrição da Bancada de Testes

A bancada foi desenvolvida para operar a baixas velocidades, entre cinco e quatrocentas rotações por minuto (RPM), rotacionando um eixo de trezentos milímetros de diâmetro por meio de correias de borracha, e para isso é utilizado um inversor de frequência. Desenhos do projeto da bancada podem ser vistos no Apêndice B, detalhados os rolamentos do sistema e o sistema de carregamento induzido.

O emprego de carga axial e radial ao eixo é feito por meio de cilindros hidráulicos, passíveis de atuação conjunta ou individual. A carga axial máxima é de 100kN, enquanto a radial é de 300kN. A pressão para operação dos cilindros é feita por um motor acoplado a um tanque de armazenagem de pressão. O acionamento é feito por meio de válvulas manuais independentes para cada cilindro, com pressão máxima de 200 bar.

Para que seja feita a carga axial, o pistão do cilindro hidráulico empurra um rolamento axial que está em contato com o eixo. Já a força radial é feita mediante o deslocamento do pistão do cilindro hidráulico de baixo para cima ao alojamento dos rolamentos de carga radial, este por sua vez não é fixa à estrutura da bancada, sendo o movimento vertical do eixo impossibilitado pelo rolamento de testes.

Para que a carga se concentre no rolamento de testes, os rolamentos de suporte têm ajuste passante em relação ao eixo, enquanto é interferente o ajuste do mesmo ao rolamento de testes. Os rolamentos de carga radial não têm contato direto com o eixo, estando eles sobre uma camisa, esta sim em contato. O rolamento de testes é autocompensador de rolos com furo cônico, específico para suportar carga radial e axial, maiores informações sobre os rolamentos do sistema no Anexo A.

3.4.1. Análise de Forças na Bancada

A bancada de testes foi projetada de modo a toda a carga induzida pelos cilindros hidráulicos seja transferida para o rolamento de testes. A análise feita não leva em consideração o peso dos componentes envolvidos, já que a carga proveniente dos cilindros é muito maior (100 kN axialmente e 300 kN radialmente). Na Figura 3.3, um esquema mostra os dados envolvidos no cálculo.

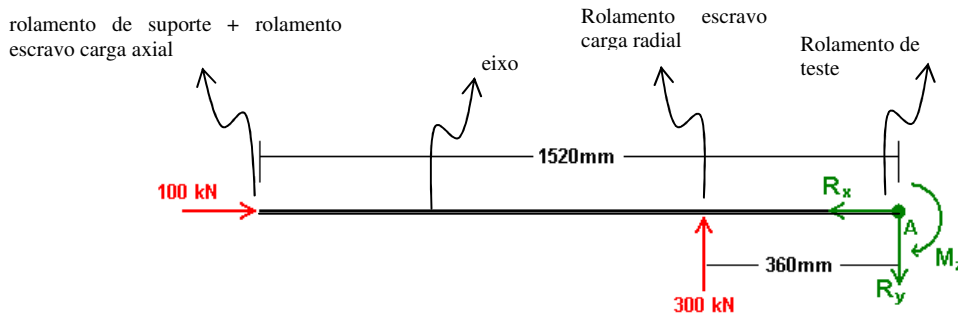


Figura 3.3 – Forças envolvidas no sistema e aplicadas no eixo e no rolamento de teste.

O ponto A representa o centro do rolamento de testes, sendo esse o destino de toda a carga gerada pelos cilindros hidráulicos. Dessa maneira, as reações nesse ponto serão as seguintes:

$$R_x = 100kN \quad (9)$$

$$R_y = 300kN \quad (10)$$

$$M_z = 300kN \cdot 0,36m = 108kN.m \quad (11)$$

3.4.2. Frequências do Sistema

Na Tabela 3.1, estão apresentadas as frequências produzidas por danos nos rolamentos presentes no sistema, são apresentadas as frequências quando o eixo está a 60RPM (f_{60RPM}), ou seja, 1Hz, servindo de constante para a aquisição das frequências em diferentes velocidades, conforme a equação a seguir:

$$f_\omega = f_{60RPM} \cdot \left(\frac{\omega}{60} \right) \quad (12)$$

onde f_ω é a frequência de falha para uma velocidade de rotação ω (em RPM).

Tabela 3.1 – Frequências específicas a 60 RPM dos rolamentos do sistema (em Hertz)

	Rolamento de Testes	Rolamentos Carga Radial	Rolamento de Carga Axial	Rolamento de Suporte
BPFI	12,341	20,307	8,44	10,77
BPFO	9,659	17,693	6,56	8,23
FTF	0,439	0,466	0,44	0,433
BSF	7,912	14,376	4,72	7,167

Fonte: SKF

A transmissão de movimento do motor para o eixo tem uma relação de 3:1, ou seja, a frequência do motor será de três vezes a da velocidade do eixo. O inversor de frequência introduz uma frequência de 300Hz ao sistema, já que está conectado a uma rede de força de 50 Hz, e a relação para um retificador de onda inteira é de seis vezes a frequência desta. O sistema de pressurização conta com uma bomba elétrica acionada de 15 em 15 segundos durante 2 segundos, introduzindo uma frequência de 292Hz ao sistema.

4. METODOLOGIA DE TESTES

A criação de um “ponto zero” da bancada será feita mediante a aquisição de sinais de vibração em diferentes pontos da mesma e em diferentes velocidades. Uma vez que as técnicas de análise de vibração estão consolidadas para altas velocidades (acima de 120RPM),

a criação desse ponto zero será feita em velocidades acima das velocidades em que os testes serão realizados (entre 100 e 333 RPM). Na Figura 4.1, o esquema mostra a localização e direção dos pontos de medição.

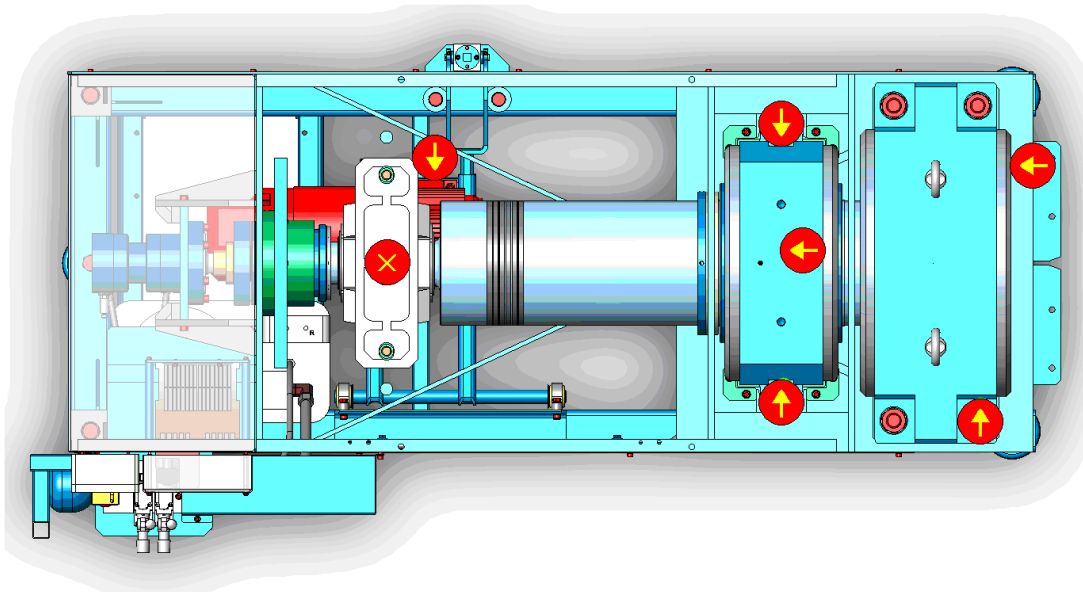


Figura 4.1 – Localização dos pontos de monitoramento

É possível ver os pontos destacados por um círculo vermelho. Há no esquema sete diferentes pontos: motor (radial), rolamento de suporte (radial), rolamento de carga radial (um ponto axial e dois radiais) e rolamento de testes (um ponto radial e outro axial).

Primeiramente, utilizar-se-á o espectro de vibração em mm/s por Hertz, ou seja, espectro de velocidade. O espectro de velocidade apresenta vantagem em relação ao espectro de aceleração para análise de vibrações de componentes a baixas velocidades. Na Figura 4.2 é possível ver a relação entre espectros de velocidade e aceleração.

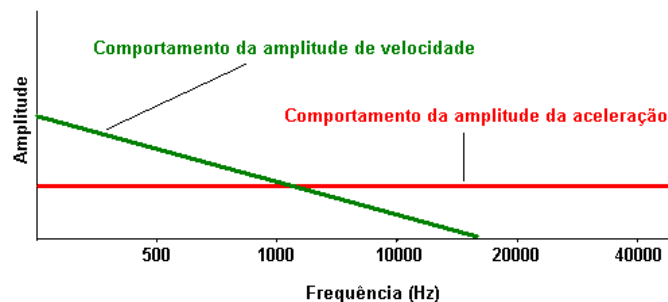


Figura 4.2 – Comparação entre espectros de velocidade e de aceleração

Considerando-se uma mesma amplitude de aceleração para todas as frequências, a amplitude da velocidade será maior (e mais visível) para baixas frequências. Isso se deve ao fato que um mesmo ponto sob influência de uma aceleração constante, quando em baixa frequência tem mais tempo para desenvolver sua velocidade do que quando em alta frequência.

A criação de um banco de dados com sinais vibratórios da bancada será feita com a ajuda do software Prüftechnik OmniTrend, específico para o monitoramento de condições de máquinas. Constará no banco de dados, medições feitas em diferentes estados de carregamento e velocidade. Primeiramente serão feitos os testes em altas velocidades, estando a bancada apta a realizar testes, estes serão feitos em velocidades de 10 a 150 RPM.

Detectado algum problema na análise de vibrações, será feito um estudo na bancada e a diagnosticagem pode ser feita visualmente ou através de outras técnicas (como sensores de deslocamento, termovisor, etc). O estudo da origem do problema será feito baseado no histórico da máquina (construção, projeto ou reparo).

Após o reparo da máquina, um estudo geral das vibrações será feito a fim de comparar com outros espectros disponíveis. O monitoramento deve ser constante até que a bancada esteja apta a realizar os testes para qual ela foi concebida, e para isso, os componentes presentes devem assegurar estabilidade e perfeita operação, de modo a não introduzirem vibrações adicionais desconhecidas.

Devido o alto custo do rolamento de testes, este só receberá falhas quando a bancada apresentar comportamento estável. Para assegurar a estabilidade, uma metodologia de controle será definida com base nos pontos em que foram detectados os problemas.

5. PROBLEMAS DETECTADOS

5.1. Deslocamento Axial do Eixo

5.1.1. Detecção

Após 3 semanas de uso, quando a determinação do “ponto zero” estava sendo feita, foi detectada uma anormalidade no espectro de vibração da bancada, quando medida a vibração no mesmo ponto e sentido (alojamento dos rolamentos de carga radial na posição axial) mas em diferentes estados de carregamento (carga axial e carga radial máximas).

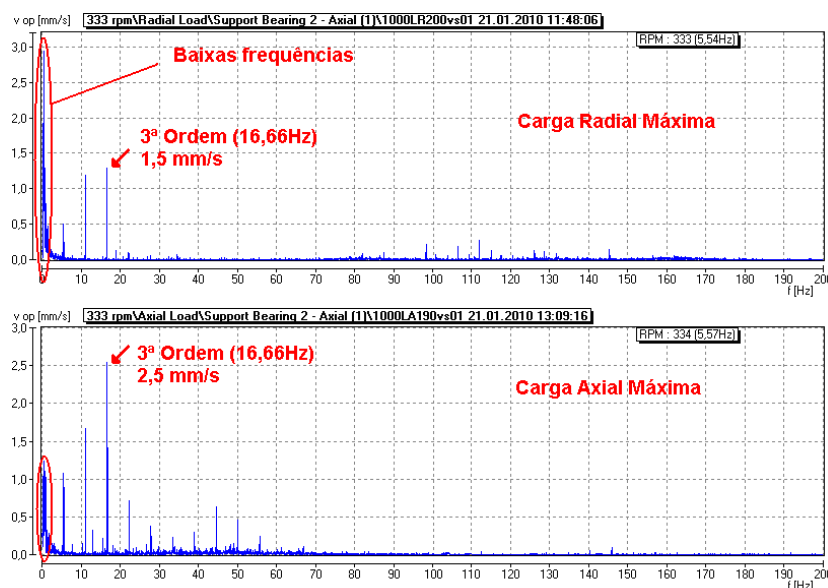


Figura 5.1 – Comparação do espectro de vibração em diferentes carregamentos

Primeiramente, havia picos nas três primeiras ordens, efeito que pode ser causado por:

- Desalinhamento
- Rolamento não perpendicular
- Folga
- Eixo torto

Outra observação que deve ser feita na comparação dos dois espectros nas mais baixas frequências, geralmente elas podem ser causadas devido ao sensor utilizado (sua sensibilidade, construção, etc) ou por um desbalanceamento no sistema. Uma vez que essas

baixas frequências sofrem mudança na comparação dos sinais e o erro causado pelo sensor é sistemático, é provável que o sistema esteja sofrendo algum desbalanceamento.

5.1.2. Diagnóstico

Uma vez localizado o problema no eixo, a primeira medida foi a inspeção visual do mesmo, mediante a abertura das tampas superiores. Quando observada a localização do eixo em relação ao rolamento de suporte e rolamento de testes, uma distância de aproximadamente 40mm foi detectada (Figura 5.2).

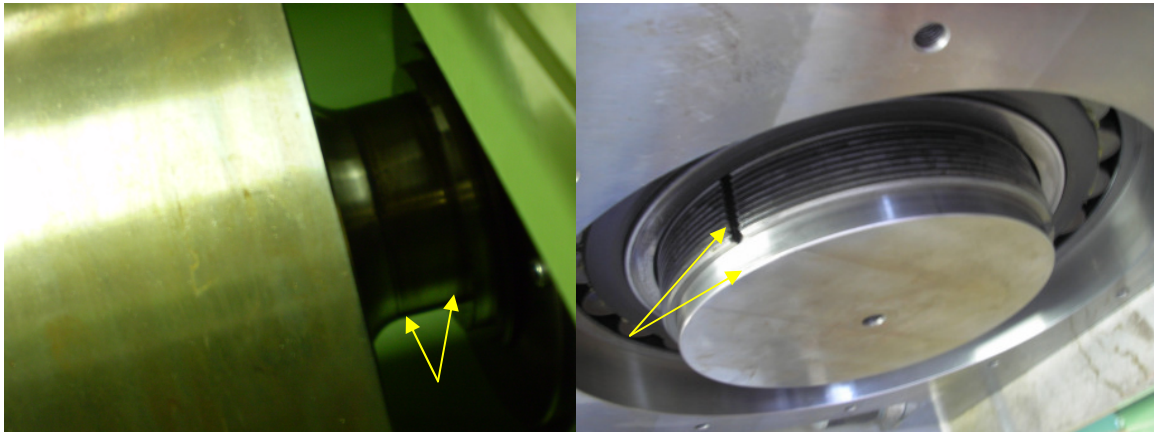


Figura 5.2 – Deslocamento axial do eixo

Sabendo que o eixo havia sido deslocado, foi verificado o alojamento do rolamento de testes, que poderia ter tido a mesma movimentação. Porém ao verificar a posição do eixo em relação ao rolamento de testes, foi visualizado que apenas o eixo havia mudado sua posição inicial.

5.1.3. Origem

Após o reparo, o problema não ocorreu novamente, descartando-se a hipótese de a carga axial ser muito alta para o rolamento de testes. Sabendo-se que quando em construção a máquina após montada, teve de ter o motor trocado por conta de insuficiência de torque, teve de ser remontada. É provável que quando o rolamento de testes foi remontado não teve a correta pré-tensão de ajuste.

5.2. Movimento do Alojamento do Rolamento de Testes

5.2.1. Detecção

Após o primeiro reparo, as medições de vibrações voltaram a apresentar irregularidades, como é possível ver o sinal no domínio do tempo, mostrado na Figura 5.3. Nessa análise, é possível ver a repetição de picos a cada 1,5s, que é o tempo de uma rotação a 40 RPM, velocidade em que foi tomada a medição.

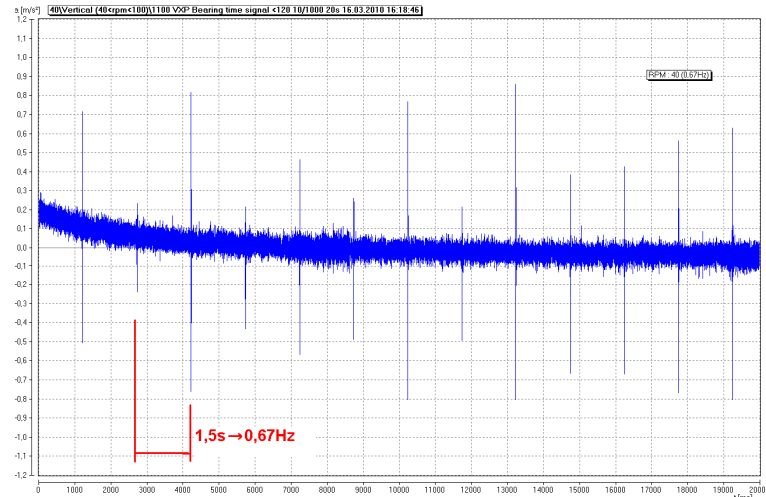


Figura 5.3 – Sinal no tempo (aceleração) do primeiro reparo.

Uma vez que o teste foi feito utilizando apenas carga radial, mais testes com diferentes carregamentos foram realizados. E o efeito que a carga axial produz no sistema fica claro se analisados os espectros de velocidade do mesmo ponto (radial sobre o rolamento de suporte) para dois diferentes carregamentos (radial solitário e radial e axial em conjunto) mostrados na Figura 5.4.

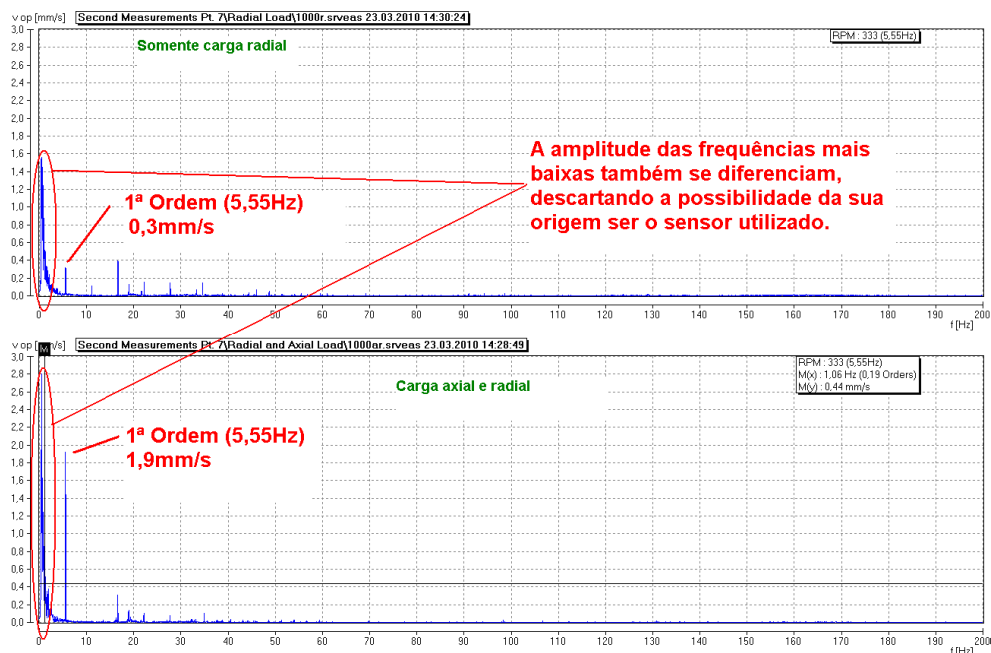


Figura 5.4 – Comparação entre carregamento somente radial e carregamento radial e axial.

É possível ver um incremento na amplitude da vibração na frequência de 5,55Hz, que para a velocidade de 333 RPM representa a primeira ordem. O incremento é de aproximadamente seis vezes, o que demonstra que há um problema na bancada visto somente quando os dois cilindros hidráulicos exercem carga no sistema.

5.2.2. Diagnóstico

Sabendo-se que havia um problema no movimento do eixo, primeiramente foi averiguada a possibilidade de repetição do primeiro problema, deslocamento axial do eixo,

porém o eixo continuava no lugar correto. Dessa forma, a pré-tensão do rolamento de testes junto ao eixo também é considerada correta.

Uma vez que a detecção só é possível quando há carga axial no sistema, a realização do diagnóstico foi concentrada na observação da bancada em tal estado. Com comparações de posição do alojamento do rolamento de testes, em algumas vezes foi possível encontrar uma diferença de 5mm quando a carga axial e radial estavam acionadas.

Sabe-se que os parafusos que fixam o alojamento à estrutura não são interferentes à mesma, ou seja, o alojamento e a estrutura não possuem rosca. Há uma folga que pode ser vista na Figura 5.5.

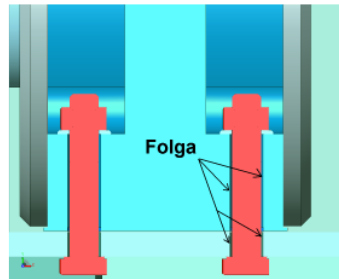


Figura 5.5 – Projeto dos parafusos de fixação do alojamento do rolamento de testes

Desse modo, é possível associar o problema encontrado ao pouco torque de aperto dos parafusos responsáveis por impedir a movimentação do alojamento.

5.2.3. Origem

Após a realização do diagnóstico, a origem do problema pode ser considerada o mau reparo realizado após o primeiro defeito. Na ocasião, os mecânicos removeram estes parafusos de fixação do alojamento do rolamento de testes para que este fosse fixado à ferramenta que empurrava o eixo no sentido axial.

O grande problema do conserto consiste na recolocação dos parafusos do alojamento. O projeto especifica um torque de 2400 N.m para o aperto dos parafusos, o que dificulta a operação se feita manualmente. Considerando que o processo foi feito sem a utilização de ferramentas de torque especiais (apenas uma chave com braço de 1m de comprimento e uma prolongação de 1,5 m) e em posição que não beneficiava o movimento.

Uma vez que um humano médio pode exercer cerca de 500N de força em posição privilegiada, os mecânicos, com as ferramentas disponíveis, exerceriam em torno de 1750N, já que não é possível a aplicação da força dos dois na extremidade da ferramenta com a prolongação.

5.3. Alojamento dos Rolamentos da Carga Radial em Posição Errônea

5.3.1. Detecção

O espectro de vibração já apresentava possíveis irregularidades na bancada após o reparo do eixo deslocado axialmente, e a situação se agravou após a retomada dos testes. Na comparação do espectro de vibração após o primeiro reparo e a situação atual, diversos picos de 1ª até 9ª ordem são visíveis, característica de desalinhamento severo (fonte), o que pode ser visto na Figura 5.6.

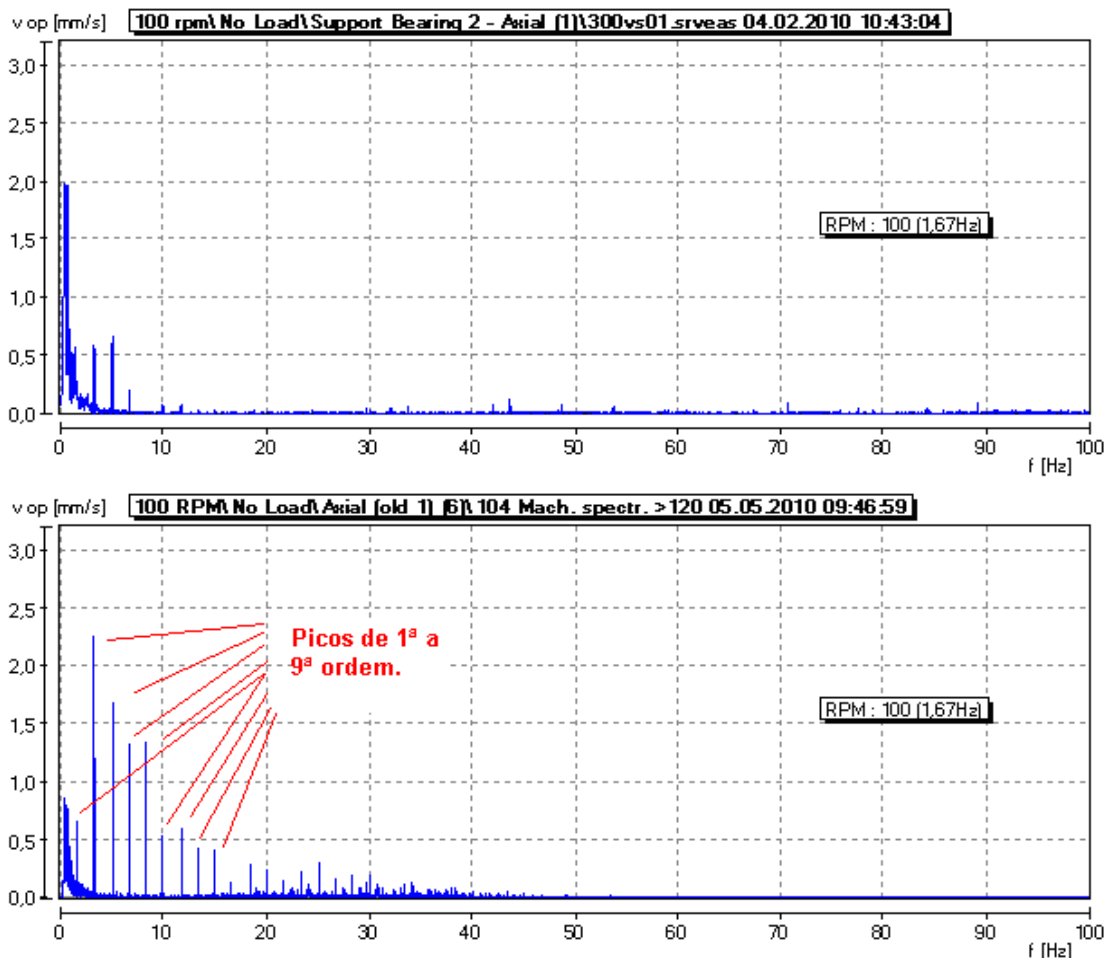


Figura 5.6 – Comparação do espectro de vibrações depois do primeiro reparo e situação atual

A aparição de picos de primeira, segunda e terceira ordem, pode ser causada por diversos motivos, entre eles:

- Desalinhamento
- Rolamento torto

5.3.2. Diagnóstico

Com a análise de vibrações, conclui-se que há um problema no eixo ou em alguma parte a ele ligada. Dessa forma, um estudo no movimento do eixo se fez necessário, para isso foram instalados sensores de deslocamento (no eixo: dois na posição radial, dois na posição vertical e um na posição axial; no alojamento: um para cada coordenada: x, y e z). Os dados adquiridos com a ajuda do coletor de dados on-line Prüftechnik Signalmaster, que grava sinais no tempo de todos os sensores de modo simultâneo, foram importados pelo software ME'Scope que é capaz de reproduzir a movimentação dessa bancada.

Os dados foram obtidos em quatro diferentes carregamentos: Sem carga induzida; carga radial de 300kN; carga axial de 100kN; carga radial de 300kN e carga axial de 100kN.

Para cada estado de carregamento, os dados foram coletados em diferentes velocidades: bancada parada; 10 RPM; 40 RPM; 100 RPM.

Com a análise dos diferentes resultados, é possível detectar um movimento anormal do alojamento dos rolamentos de carga radial. O alojamento deveria permitir a movimentação axial do eixo, através de um ajuste folgado. Esse comportamento pode ser visto na Figura 5.7.

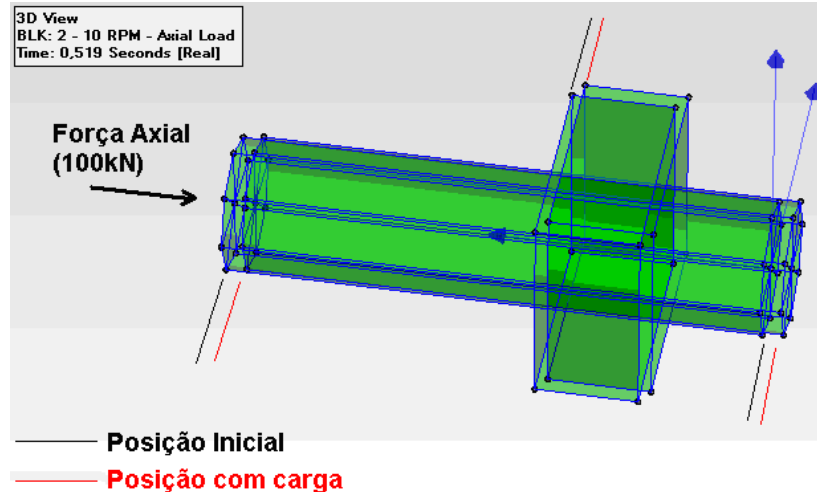


Figura 5.7 – Modelagem 3D do deslocamento amplificado do eixo e alojamento

É possível ver que até mesmo quando apenas a força axial está acionada, o alojamento realiza um movimento no mesmo sentido do eixo, dando a impressão que há uma relação entre os dois que não deveria ocorrer, detectando-se que há um problema no alojamento e não no eixo. Esse problema gera as diferenças no espectro de vibração vistos anteriormente.

Para fins de conhecer o efeito dessa interferência no eixo, foi realizada uma análise termográfica do alojamento e eixo, a fim de detectar alguma tensão no ajuste das partes, o resultado é visto na Figura 5.8.

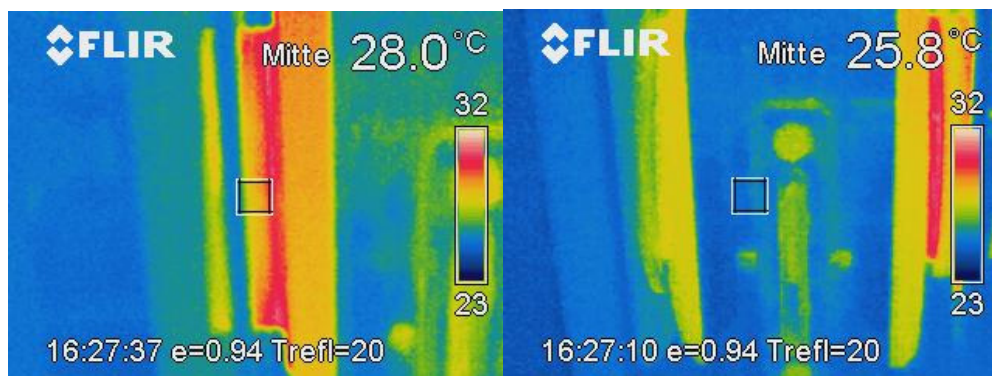


Figura 5.8 – Termografia da região de encaixe do eixo e do alojamento (vista de topo)

Uma vez detectada a alteração da temperatura no eixo, foram também realizadas medições da temperatura do eixo. Para isso, foram selecionados três pontos: distante de rolamentos (centro), esquerda e direita do alojamento. Em uma medição sem cargas induzidas ao sistema, os resultados são apresentados na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Medição da temperatura no eixo (em graus Celsius)

Tempo de operação da bancada	Pontos		
	Centro	Esquerda	Direita
0 min	25	25	25
60 min	27	32	33
120 min	29	37	38

É possível detectar uma grande diferença de temperatura no eixo, uma vez que este não tem a carga produzida pelos cilindros hidráulicos aplicada a ele. Conclui-se que a posição errônea do alojamento está não só produzindo vibrações adicionais ao sistema, mas também

tensionando o eixo, podendo causar uma falha nos rolamentos de carga radial ou outro problema.

5.3.3. Origem

A origem da falha se deve ao reparo realizado quando o alojamento do rolamento de testes estava deslocado. O eixo, ao ser empurrado pelos mecânicos, ocasionou um deslocamento do alojamento dos rolamentos de carga radial também.

Para o alojamento voltar à posição inicial, ele foi deslocado axialmente na direção motor-rolamento de testes, porém o alojamento dos rolamentos de carga radial precisou ser fixado para que não se movimentasse na mesma direção. Uma vez que o ajuste do último possuía erro, o cilindro dos rolamentos foram deslocados e isso gerou uma pré-tensão no alojamento.

6. CONCLUSÕES

Após os testes realizados na máquina, conhece-se o comportamento do eixo e do alojamento dos rolamentos de carga radial, estes desempenham um papel muito importante para a qualidade dos testes realizados na bancada. Eles são capazes de introduzir vibrações não recomendáveis à bancada.

Vibrações que se alteram em função do tempo dificultam a realização de testes do tipo de falha induzida. É preciso ter frequências constantes de modo que quando se induz uma falha em um rolamento, a única frequência que deve mudar é aquela que essa falha venha a gerar. Considerando-se o estado atual da bancada, onde elementos não possuem um alinhamento adequado, a única forma de prosseguir com os testes é através de uma remontagem completa. Para isso devem ser utilizados sensores que assegurem o correto posicionamento das partes, como relógios comparadores e um sistema de alinhamento a laser. Os componentes quando desmontados, devem ser inspecionados visualmente para assegurar que nenhuma falha foi ocasionada pelos problemas ocorridos.

Após a remontagem da bancada, é preciso garantir que ela tenha um espectro de vibrações constante, para certificar-se que não há problemas que venham a modificar esse espectro, o monitoramento de pontos críticos, ou pontos em que detectaram os defeitos mencionados precocemente, deve ser feito, como é apresentado no Apêndice C.

Apenas o comportamento estável não é suficiente, é preciso estar dentro de algum parâmetro para julgar tal bancada apta a realizar suas funções. Não há um padrão específico para esse tipo de bancada, porém, para efeitos de comparação, é possível utilizar o padrão internacional ISO 10816-3 (Vibrações Mecânicas – Avaliação da vibração mecânica por medidas em partes não-rotativas – Parte 3: Máquinas industriais com potência normal acima de 15kW e velocidades nominais entre 120 rpm e 15000 rpm quando medidas em situ).

Os valores especificados não focam uma máquina de precisão como é a bancada, por isso o valor máximo apresentado como funcionamento bom é superior ao que deveria ser usado nesse caso. Dessa forma, o valor RMS da velocidade nos pontos citados no Apêndice C deve estar abaixo de 2,3 mm/s, como pode ser visto no Anexo F (considerando a máquina no Grupo 2 e flexível).

REFERÊNCIAS

ARATO JÚNIOR, A. Manutenção Preditiva Usando Análise de Vibrações. Barueri, SP: Manole, 2004

CROCKER, M. J. Noise and Vibration Control, Nova Jersey, Estados Unidos, 2007

PONCI, L. P., CUNHA, P. M. R. Previsão de Falha de Rolamentos por Análise Espectral e de Envelope, Teknikao Ind. e Com. Ltda, Relatório Interno, 11p., 2005.

MESQUITA, A. L. A, SANTIAGO, D. F. A., BEZERRA, R. A., MIRANTA, U. A., DIAS, M., PEDIERIVA, R. Detecção de falhas em rolamentos usando transformadas tempo-frequencia comparação com análise de envelope. In: Mecânica Computacional, Vol. XXI, PP.1938-1954, Santa Fé, Argentina, 2002.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

MOBIUS INSTITUTE. Vibration Training Quick Reference.

THOMSEN, M. Online Condition Monitoring von Windenergieanlagen mittels Körperschallanalyse, Flensburg, Alemanha, GEO Gesellschaft für Energie und Oekologie, Fachhochschule Flensburg, 2002. 79 p. Diplomarbeit.

ROBICHAUD, J. M. Reference Standards for Vibration Monitoring and Analysis. Saint John, Canada, Bretech Engineering Ltd., 2006

STURM, A. Wälzlagerdiagnosen an Maschinen und Anlagen, Colônia, Alemanha, Verlag TÜV Rheinland, Gutenberg Buchdruckerei, 1986, 172 p.

WOODSON, W. CONOVER, D. W. Human Engineering Guide for Equipment Design, 2nd. Edition Univ. of Calif. Press, 1964.

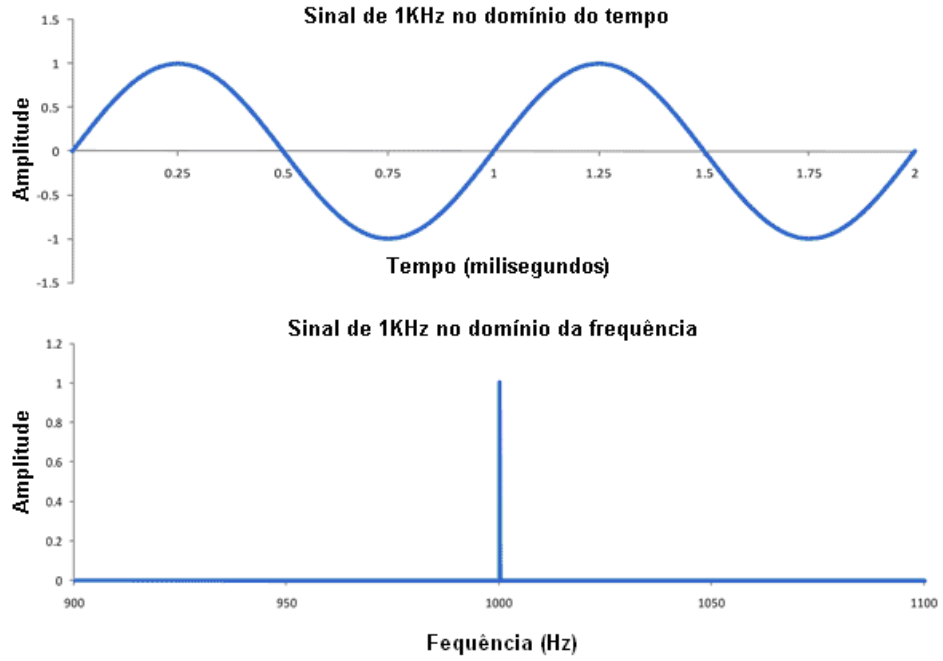
JAMALUDIN, N. MBA, D. Monitoring extremely slow rolling element bearings: part I, Banggi, Selangor, Malásia, Department of Mechanical and Material Engineering, Faculty of Engineering, UKM, 2001. 9 p. Artigo

LÖCHER, P.; MATTHIES, E. Aufnahme von Schwingungssignalen an definiert vorgeschädigten Kegelrollenlagern, Mannheim, Alemanha, Fakultät für Maschinenbau Institut für Tribologie, Hochschule Mannheim, Studienarbeit, 2007

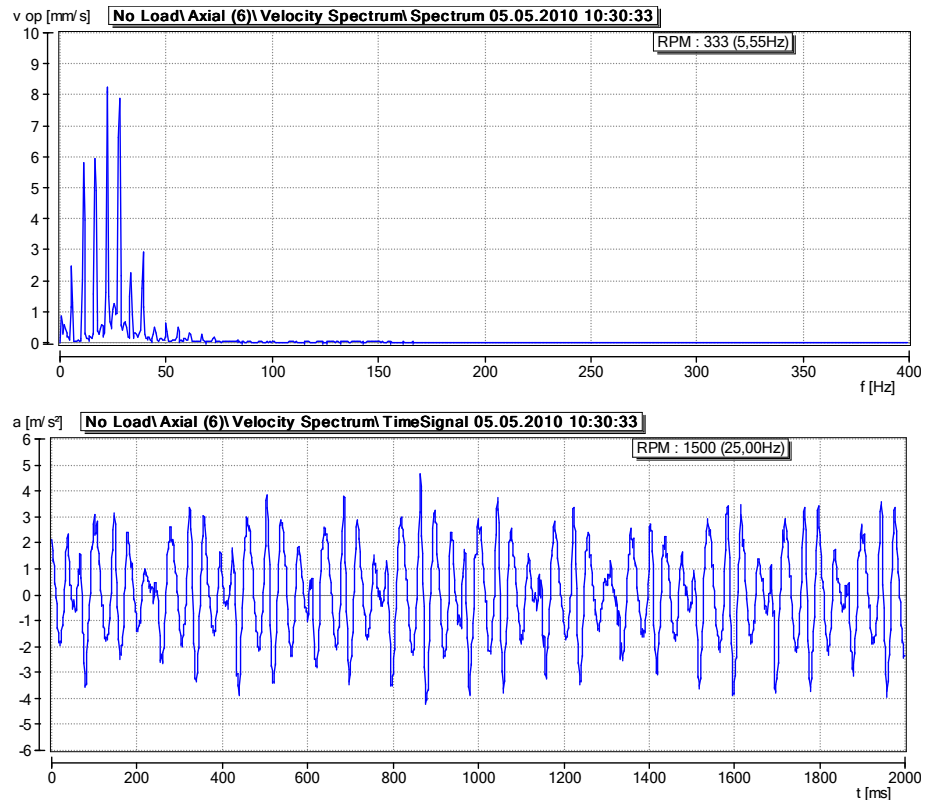
BEZERRA, R. A. Detecção de Falhas em Rolamentos por Análise de Vibração, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004. 1xx p. Tese (Doutorado).

APÊNDICES

APÊNDICE A – Transformação do sinal no domínio tempo para o domínio frequência

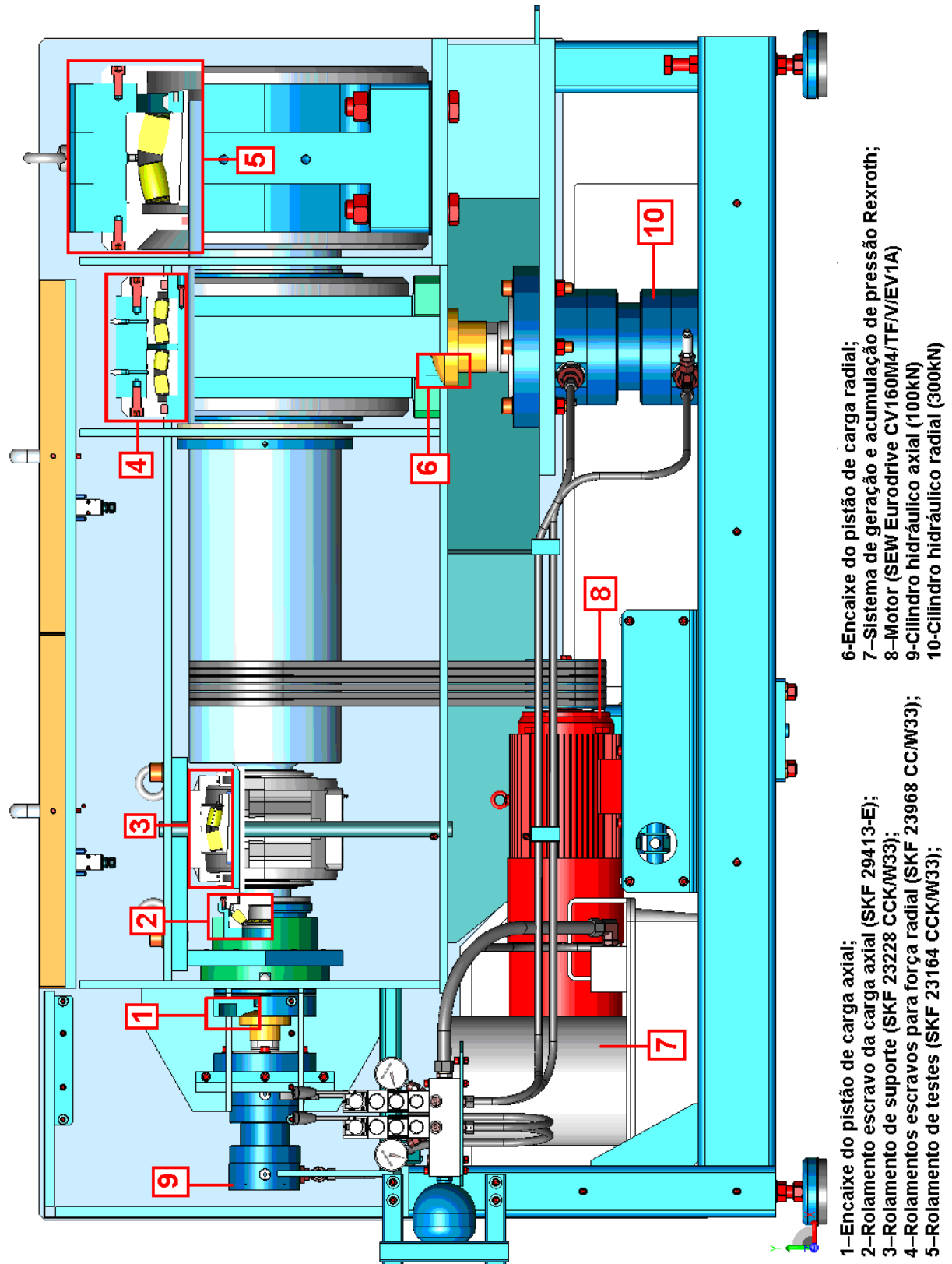


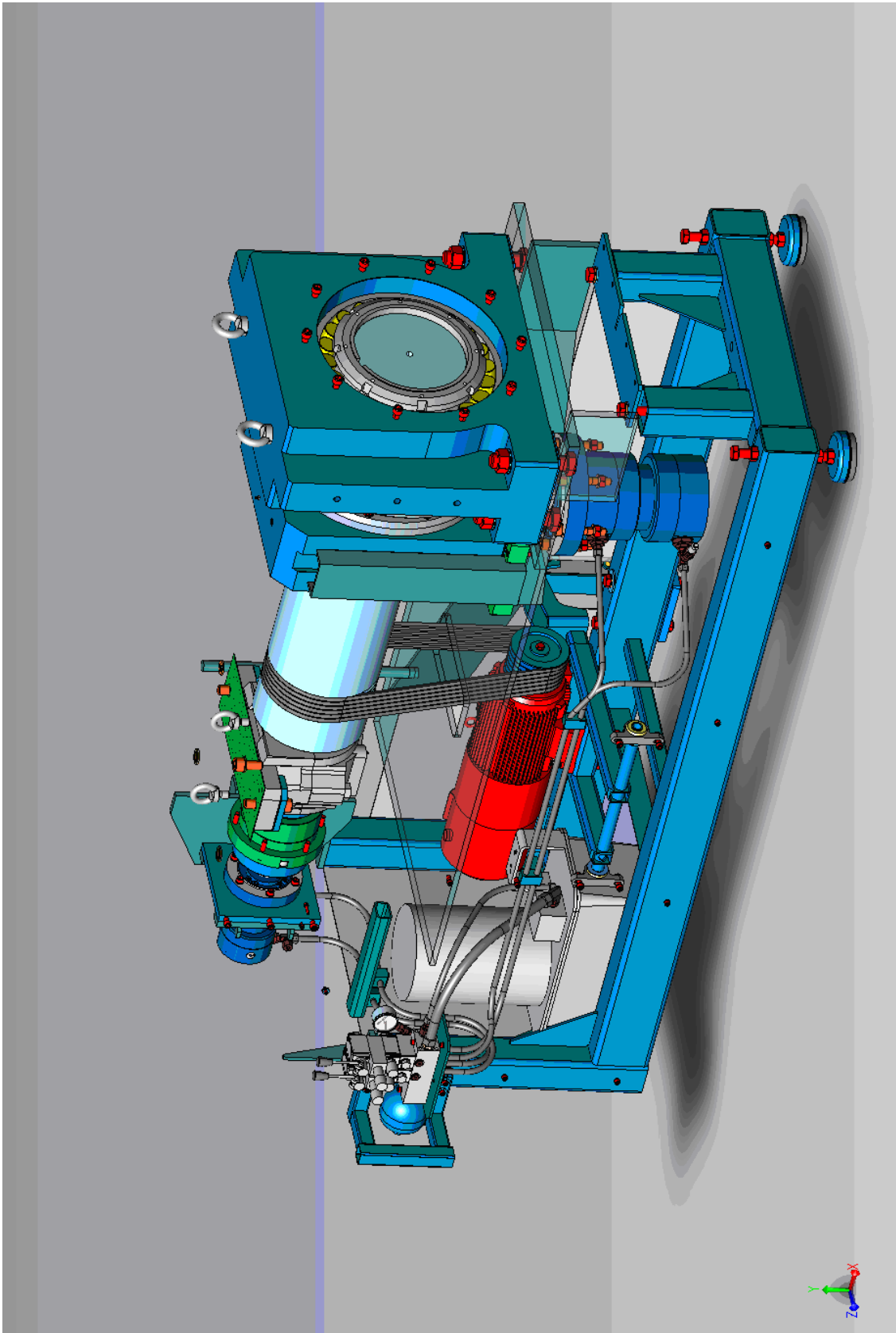
Esquematisação da transformação de um sinal com apenas uma senoidal



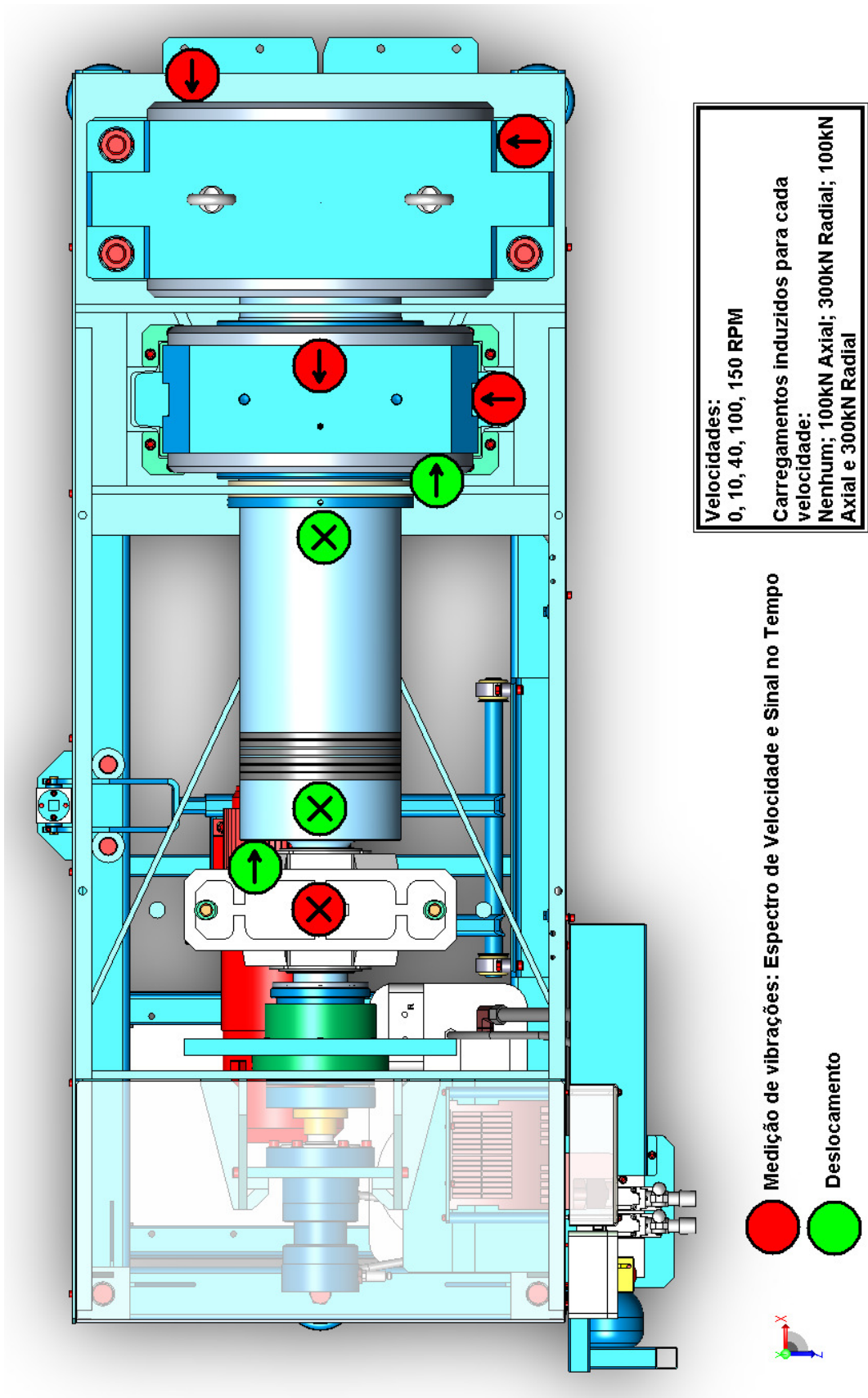
Situação real, um sinal complexo com múltiplas senoidais

APÊNDICE B – Desenho do projeto da bancada em detalhes



APÊNDICE B – Desenho do projeto da bancada em detalhes

APÊNDICE C – Mapa de pontos críticos e análises

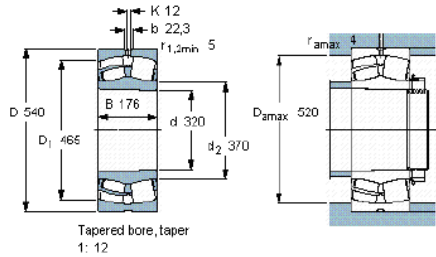


ANEXOS

ANEXO A – Informações sobre rolamentos do sistema

Rolamento de testes: SKF 23164 CCK/W33

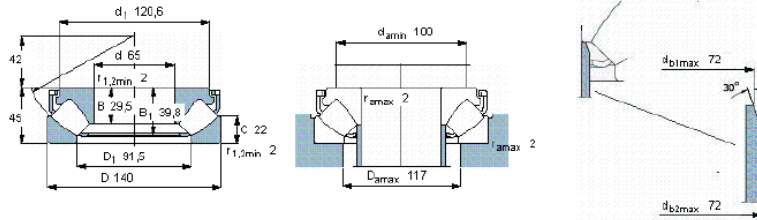
Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_u	Speed ratings Reference speed	Limiting speed	Mass kg	Designation
d	D	B	C	C_0					
mm			kN		kN	r/min			* - SKF Explorer bearing
320	540	176	3750	6000	440	850	1100	160	23164 CCK/W33 *



Calculation factors
 e 0,31
 γ_1 2,2
 γ_2 3,3
 γ_0 2,2

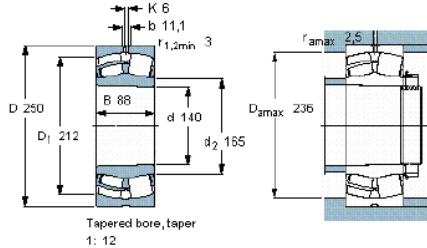
Rolamento escravo para carga axial: SKF 29413-E

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_u	Minimum load factor	Speed ratings Reference speed	Limiting speed	Mass kg	Designation
d	D	H	C	C_0						
mm			kN		kN	-	r/min			* - SKF Explorer bearing
65	140	45	455	1080	137	0,11	2600	4800	3,20	29413 E *



Rolamento de suporte: SKF 23228 CCK/W33

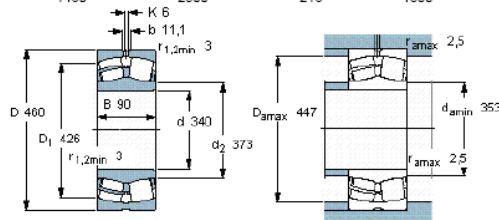
Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_u	Speed ratings Reference speed	Limiting speed	Mass kg	Designation
d	D	B	C	C_0					
mm			kN		kN	r/min			* - SKF Explorer bearing
140	250	88	915	1250	120	1700	2400	18,5	23228 CCK/W33 *



Calculation factors
 e 0,33
 γ_1 2
 γ_2 3
 γ_0 2

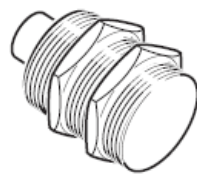
Rolamentos escravos para carga radial: SKF 23968 CC/W33

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_u	Speed ratings Reference speed	Limiting speed	Mass kg	Designation
d	D	B	C	C_0					
mm			kN		kN	r/min			* - SKF Explorer bearing
340	460	90	1460	2800	216	1300	1400	45,5	23968 CC/W33 *

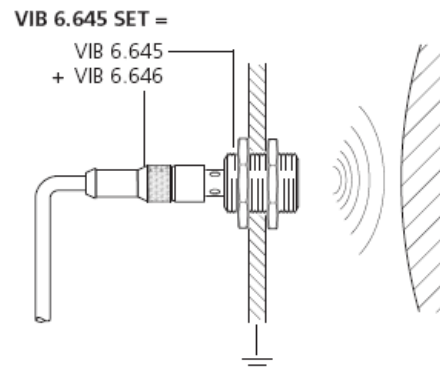


Calculation factors
 e 0,17
 γ_1 4
 γ_2 5,3
 γ_0 4

ANEXO B – Sensor de deslucamento Prüftechnik VIB 6.645

VIB 6.645 SETWegsensor für Online-CMS,
2-10mm, inkl. KabelDisplacement sensor for online CMS,
2-10mm, incl. cable

VIB 6.645

**Anwendung**

Der Sensor wird zur berührungslosen Abstandsmessung von metallischen Körpern in Nahbereich (2-10 mm) eingesetzt.

Funktion

Der Sensor arbeitet nach dem Induktionsprinzip und liefert über den gesamten Arbeitsbereich ein lineares Spannungs-Ausgangssignal, das sich proportional zum Abstand des Messobjekts ändert.

Technische Daten

Messgröße / -prinzip:	Abstand / Induktiv
Linearitätsbereich s_L	2 - 10 mm
Bemessungsabstand s_B	6 mm
Max. Linearitätsfehler bei s_B	$\pm 3\%$ von U_a max.
Wiederholgenauigkeit	$\pm 10\mu\text{m}$
Betriebsspannung	24 VDC
Ausgangssignal	0 ... 10 VDC
Grenzfrequenz	500 Hz
Lastwiderstand	$\geq 2 \text{ k}\Omega$
Leerlaufstrom	$\leq 10 \text{ mA}$
Einbauart in Stahl	bündig
Schutzart	IP67
Werkstoff Gehäuse:	Messing vernickelt
Werkstoff aktive Fläche:	PBT
Temperaturbereich	-10...+70°C
Temperaturdrift	$< 5\%$ von U_a max.
Justieranzeige	ja, LED
Anschluss:	PUR-Kabel + Stecker, 10m (VIB 6.646)

Application

The displacement sensor can determine the position of metallic objects within the specified range (2 - 10 mm).

Function

The displacement sensor is an inductive sensor that delivers a linear voltage output signal over the entire working range that is proportional to the distance from the measured object.

Technical data

Meas. quantity / principle	Distance / inductive
Linearity range s_L	2 - 10 mm
Rated operating distance s_B	6 mm
Max. non-linearity	$\pm 3\%$ from U_a max.
Repeat accuracy	$\pm 10\mu\text{m}$
Operating voltage	24 VDC
Output signal	0 ... 10 VDC
Limit frequency	500 Hz
Output resistance	$\geq 2 \text{ k}\Omega$
No-load supply current	$\leq 10 \text{ mA}$
Mounting in steel	flush
Protection	IP67
Housing material:	CnZn nickel plated
Material of sensing face:	PBT
Ambient temperature	-10...+70°C
Temperature drift	$< 5\%$ from U_a max.
Connection:	PUR cable + plug, 10m (VIB 6.646)

ANEXO C – Acelerômetro Prüftechnik VIB 6.142 R

VIB 6.142 R	Mobiler Industrieaufnehmer M5 plan, elektrisch isoliert	Mobile industrial accelerometer, M5 thread flat, electrically insulated
	VIB 6.142 DEX	- , Ex-Schutz

Technische Daten - VIB 6.142R / DEX

Für Schwingungsmessung bis 20 kHz, für Stoßimpulsmessung an Wälzlagern und für Kavitationsmessungen an Pumpen.

Signalssystem	Current LineDrive, 3,5 mA Ruhestrom mit überlagertem AC-Signal
Max. Messbereich (r.m.s.)	961 m/s ²
Übertragungsfaktor ±4%	1.0 µA/ms ² (159 Hz, 25°C)
Frequenzbereich	2 Hz ... 8 kHz
±5%	1 Hz ... 20 kHz
±10%	0,3 Hz ... 20 kHz
±3dB	36 kHz
Resonanzfrequenz	36 kHz
Linearitätsbereich ±10%	±961ms ⁻² (±98 g)
Temperaturbereich	-30°C ... +80°C
Ex-Schutz (PVC-Kabel)	-30°C ... +100°C
Standard (Rayolin-Kabel)	>10 mA / 7-18 V DC
Versorgung	< 5% bei 10 kHz
Querempfindlichkeit	< 0.05 ms ⁻² /K
Temperatursprungempfindlichkeit	< 5 ms ⁻² /T (bei 50 Hz)
Magnetfeldempfindlichkeit	< 0.1 ms ⁻² /µm/m
Bodendehnpfindlichkeit	< 0,01ms ⁻² ab 2 Hz
Rauschen, rms	> 300 kOhm
Ausgangsimpedanz	250 kms ⁻²
max. Stoßbeschleunigung	VA 1.4305
Gehäusematerial	IP65 (mit Kabel)
Schutzart	M5 oder Tastschraube
Befestigung	TNC
Anschluß	39 g
Gewicht	II 2 G EEx ib IIC T4 (Gas)
Ex-Schutz (optional)	II 2 D Ex ibD 21 T187°C (Staub)

anzuschließen nur an dafür vorgesehene PRÜFTECHNIK-Geräte mit:
 $U_{max} = 24V$; $P_{max} = 300mW$; $C_i = 15nF$; $L_i =$ vernachlässigbar klein

Technical data - VIB 6.142R / DEX

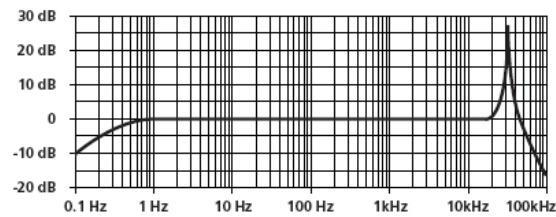
For vibration measurement up to 20 kHz and shock pulse measurement of anti-friction bearings and pump cavitation.

Signaling system	Current LineDrive, 3.5 mA closed current with superposed AC signal
Max. measurement range (r.m.s.)	up to 961 m/s ² (98g)
Transmission factor ±4%	1.0 µA/ms ² at 159 Hz, 25°C = 9.8 µA/g at 159 Hz/77°F
Frequency range	2 Hz to 8 kHz
±5%	1 Hz to 20 kHz
±10%	0.3 Hz ... 20 kHz
±3dB	36 kHz
Resonant frequency	36 kHz
Linearity range ±10%	±961ms ⁻² (±98 g)
Temperature range	-30°C to 80°C / -22°F to 176°F
Intr. safe vers. (PVC cable)	-30°C to 100°C / -22°F to 212°F
Standard vers. (Rayolin cable)	>10 mA / 7-18 V DC
Power requirement	< 5% at 10 kHz
Transverse sensitivity	< 0.05 ms ⁻² /K
Temperature sensitivity	< 5 ms ⁻² /T (at 50 Hz)
Magnetic sensitivity	< 0.1 ms ⁻² /µm/m
Base strain sensitivity	< 0.01ms ⁻² from 2 Hz
Electrical noise, rms	> 300 kOhm
Output impedance	250 kms ⁻² = 25 000g
Shock limit	VA 1.4305 (stainless steel)
Case material	IP65 (w/cable)
Environmental protection	M5 or probe tip
Mounting	TNC
Connector type	39 g / 1.4 oz.
Weight	II 2 G EEx ib IIC T4 (Gas)
Intrinsic safety (optional)	II 2 D Ex ibD 21 T187°C (Dust)

to be used only with PRÜFTECHNIK instruments with:
 $U_{max} = 24V$; $P_{max} = 300mW$; $C_i = 15nF$; $L_i =$ negligibly small

Frequency response / Frequenzgang

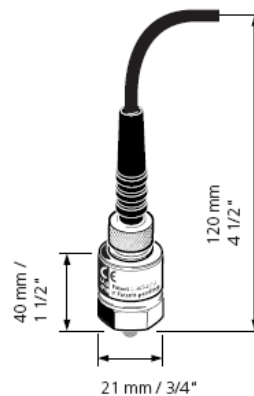
verschraubt oder geklebt / threaded or bonded mounting



Linearer Frequenzbereich eingeschränkt mit/
 Linear frequency range limited with

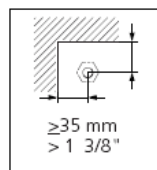
- Magnetadapter/ magnetic adapter: ≤ 5...20 kHz
- Tastschraube/ Probe tip: ≤ 1 kHz

Abmessungen / Dimensions

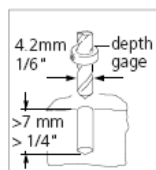


Montageanleitung

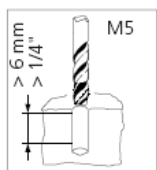
Mounting instructions



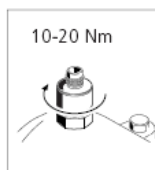
Select position
Position wählen



Bore out hole
Bohren



Tap thread
Gew. schneiden



Mount sensor
Montieren

ANEXO D – Sensor de velocidade Prüftechnik VIB 6.631

Technische Daten -

Laser-Triggersensor (VIB 6.631)

Laserwellenlänge	670 nm (rot)
Laserklasse	2 (DIN EN 60825-1, Mai 2008)
Versorgung	vom Messgerät
Ausgang	5 V TTL
Messbereich	0,1 bis 600'000 1/min.
Betriebstemperatur	-20°C bis +50°C
Messabstand	max. 2 m mit Reflexmarke max. 0,75 m mit Kontrastmarke
Schutzart	IP 65
Anschluß	Triggerkabel VIB 5.432-2.9
Gewicht	72 g

Technical Data -

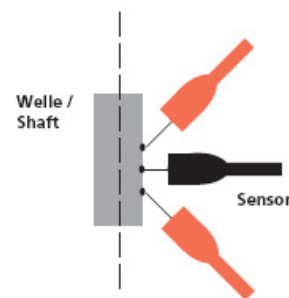
Laser Trigger Sensor (VIB 6.631)

Laser wavelength	670 nm (red)
Laser class	2 (DIN EN 60825-1, May 2008)
Supply	from instrument
Output	5 V TTL
Meas. range	0.1 to 600,000 rpm
Operating temp.	-20°C to +50°C / -4°F to +122°F
Meas. distance	< 2 m / 6' 6" w/ reflective mark < 0.75 m / 2' 5 1/2" w/ contrast mark
Env. protection	IP 65
Connection	Trigger cable VIB 5.432-2.9
Weight	72 g / 2.5 oz

Abmessungen & Installation



Dimensions & Installation



Zulässige Winkelabweichung:

± 45° (Reflexmarke)
± 15° (Kontrastmarke)

Acceptable angular deviation:

± 45° (Reflective mark)
± 15° (Contrast mark)

Sicherheitshinweise

- Nicht in den Laserstrahl schauen!
- Nur mit geeigneten Messgeräten der Fa. PRÜFTECHNIK betreiben!
- Gehäuse nicht öffnen!

Safety notes

- Do not stare into the laser beam!
- To be used only with suitable PRÜFTECHNIK instruments!
- Do not open the housing!

Reinigungshinweise

- Linse mit feuchtem Tuch reinigen.
- Nur Wasser verwenden, keine Alkohole!
- Linse vor Verunreinigung durch Hautfett schützen: Direkten Kontakt vermeiden; nicht mit Bereichen auf dem Tuch reinigen, die schon berührt wurden.

Cleaning instructions

- Clean the lens with a moist cloth.
- Use water only. Do not use alcohol of any kind!
- Protect the lens from contamination with skin grease. Avoid direct contact. Do not touch with areas of the cloth that were previously touched.

Technische Daten -

Reflexfolie (VIB 3.306)

Material	SL7610
Breite	10 mm
Länge	ca. 4,5 m, auf Rolle



Technical data -

Reflective tape (VIB 3.306)

Material	SL7610
Width	10 mm
Length	approx. 4.5 m, on roll

ANEXO E – Sensor de temperatura portátil Prüftechnik VIB 8.608

VIB 8.608**Temperatur-Handsonde Hand-held temperature probe**

Diese Handsonde wird zur Messung von Temperaturen bis 500°C eingesetzt. Mit der langen, schmalen Messspitze können auch schwer zugängliche Messstellen erreicht werden.

Um die Handsonde am VIBROTIP bzw. VIB-SCANNER Datensammler anschließen zu können, muß erst deren integrierter Temperaturfühler abgesteckt werden.

Technische Daten

Messbereich	-50°C ... +500°C
Empfindlichkeit	0,040 mV/°C
Genauigkeit	< 3°C
Abmessungen, LxØ	250 mm x 18 mm
Fühlerspitze, Ø	3 mm
Anschluß	QLA
Gewicht	83 g

As an alternative to VIBROTIP's or VIBSCANNER's built-in temperature probe, a hand-held probe is also available. This probe measures up to 500°C / 932°F.

To connect this probe, remove the built-in temperature probe as described in the operating instructions. Then insert into the same socket the plug of the hand-held temperature probe.

Technical data

Meas. range	-50°C ... +500°C / -58°F ... +932°F
Sensitivity	0.040 mV/°C
Accuracy	< 3°C / 4°F
Dimensions, LxØ	250 mm x 18 mm/ 9.8" x 0.7"
Probe tip, Ø	3 mm / 0.1"
Connector	QLA
Weight	83 g / 2.9 oz.

ANEXO F – Tabela de severidade de vibrações ISO 10816-3

