

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

ANDERSON CARVALHO CRISPIM

**MONTAGEM DE UM GRUPO GERADOR A PARTIR DE UM MOTOR A
GASOLINA DE 18 HP E UM GERADOR ELÉTRICO DE 2 kW, PARA FUNCIONAR
COM GÁS POBRE**

JOÃO PESSOA

2017

ANDERSON CARVALHO CRISPIM

**MONTAGEM DE UM GRUPO GERADOR A PARTIR DE UM MOTOR A
GASOLINA DE 18 HP E UM GERADOR ELÉTRICO DE 2 kW, PARA FUNCIONAR
COM GÁS POBRE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial
para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Freitas Jaguaribe

JOÃO PESSOA

2017

ANDERSON CARVALHO CRISPIM

**MONTAGEM DE UM GRUPO GERADOR A PARTIR DE UM MOTOR A
GASOLINA DE 18 HP E UM GERADOR ELÉTRICO DE 2 kW, PARA FUNCIONAR
COM GÁS POBRE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba como parte das exigências do Programa de Graduação em Engenharia Mecânica para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Emerson Freitas Jaguaribe
(Orientador - UFPB)

Prof. Dr. Adriano Sitônio Rumão
(Membro - UFPB)

Me. Rennan Secundo
(Membro - UFPB)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades ao longo da minha vida.

Agradeço aos meus pais, Alcenira de Lourdes Carvalho Crispim e Edivaldo Crispim da Silva, por me ensinarem os valores da vida. Obrigado mãe, que sempre me deu apoio e incentivo nas horas difíceis, de cansaço e desânimo, com todo seu amor. Obrigado pai, que apesar de todas as dificuldades me ensinou a jamais desistir dos meus sonhos, sendo meu maior exemplo de ser humano, sempre com um coração enorme e com caráter indiscutível.

Agradeço às minhas irmãs, Aline de Lourdes Carvalho Crispim e Amanda de Lourdes Carvalho Crispim, por me incentivarem durante toda caminhada acadêmica, participando diretamente das minhas vitórias.

À minha namorada Bárbara Maria Santos de Carvalho, por sempre me incentivar a seguir em frente nos momentos de dificuldades, com amor, carinho e paciência.

Aos meus cunhados, Jaílson Freitas da Silva e Oriel Diniz Vale Neto, por me auxiliarem com a elaboração do trabalho, com indicações sobre as possíveis correções a serem feitas.

À Universidade Federal da Paraíba, seu corpo docente, direção e administração, pela dedicação em transmitir os conhecimentos e pela oportunidade de fazer esta graduação.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Emerson Freitas Jaguaribe, pelo suporte, dedicação, correções e incentivo durante a realização deste trabalho.

A todos os meus amigos que, direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

A atual dependência mundial dos combustíveis fósseis traz à tona a necessidade de se procurar fontes alternativas de energia. Nesse trabalho buscou-se utilizar um grupo gerador como fonte auxiliar de energia. De fato, o grupo gerador utilizado adveio da montagem de um motor de combustão interna, a gasolina, de 18 HP e um gerador de 2 kW já existentes no Laboratório. Buscando-se agilidade, montou-se o motor e o gerador em plataformas diferentes. Como objetivo a equipe empenhou-se em operar o motor com o gás pobre produzido por um gaseificador. Tendo em vista que o motor seria alimentado por um gás, foi necessário instalar um controlador de mistura ar/gás, desenvolvido no próprio Laboratório de Inovação. Ao se constatar que a duplicidade de bases de suporte para o grupo gerador causou imensos problemas gerados pela vibração, buscou-se corrigir o problema de forma simples, adotando-se uma base única, capaz de facilitar o alinhamento dos eixos dos equipamentos. Essa base foi suportada por coxins. Com o grupo gerador estando em uma só plataforma e tendo-se dominado a regulagem do misturador ar/gás, pode-se garantir a geração de potência em uma escala acima da esperada.

Palavras-chave: Grupo gerador. Redução do excesso das vibrações. Alinhamento entre eixos. Regulador de mistura manual.

ABSTRACT

Nowadays world-wide fossil fuel dependency brings out the need of searching for alternative sources of energy. In this work we tried to use a generator set as auxiliary source of energy. In fact, this generator set came from an assembly of an internal combustion engine, powered by gasoline, of 18 HP, and a generator of 2 kW already existing in the Laboratory. Seeking agility, the engine and the generator were mounted on different platforms. Since our purpose was to operate the engine with the lean gas produced by a gasifier. With the engine being powered by gas, it was necessary to install an air / gas mixture controller, developed in the Innovation Lab itself. When it was found that the double base support for the generator set caused immense vibration problems, we sought to correct the problem in a simple way, by adopting a single base, capable of facilitating the alignment of the equipment axes. This base was supported by cushions with the generator set put in a single platform and, we once having mastered the regulation of the air / gas mixer, it was possible to assure the power generation in a scale above the expected.

Key-words: Generator set. Reduction of excess vibrations. Axes alignment. Manual mixing regulator.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Grupo gerador Toyama: réplica utilizada no trabalho.	11
Figura 2 - Sistema sob a posição de equilíbrio.	12
Figura 3 - Sistema não equilibrado com atuação das forças conservativas.	12
Figura 4 – Mola linear de elo mecânico.	15
Figura 5 - Isolador de neopreno ou borracha.	17
Figura 6 - Isolador de mola.	18
Figura 7 - Caso especial de um isolador de mola.	18
Figura 8 - Isolador a granel.	19
Figura 9 - Coxim radiador de Mercedes Benz Mb Om352, o mesmo utilizado neste estudo.	20
Figura 10 - O desalinhamento no acoplamento entre os eixos motor e gerador.	22
Figura 11 – Ilustração do desalinhamento entre eixos: Angular, Combinado e Paralelo.	23
Figura 12 – Desalinhamento por movimento axial.	23
Figura 13 - Exemplo de acoplamento rígido.	24
Figura 14 - Exemplo de acoplamento elástico de dentes AM (acoplamento de dupla cruzeta).	25
Figura 15 - Vista frontal da viga rompida.	26
Figura 16 - Vista lateral da viga rompida.	27
Figura 17 - Sistema com coxins para redução das vibrações referente à parte inferior.	27
Figura 18 - Sub chassi para o posicionamento do gerador e motor em uma mesma base.	28
Figura 19 - Cantoneira com um rasgo para que a peça tenha a liberdade necessária para o alinhamento no eixo “X”.	29
Figura 20 - Acoplamento flexível do tipo elástico instalado no sistema.	29
Figura 21 - Vista do sistema com coxins para redução das vibrações com o sub chassi na parte superior.	30
Figura 22 - Regulador de mistura manual em “Y” montado na intersecção do tubo de entrada de ar, da tubulação de gás pobre e da entrada do carburador.	30
Figura 23 - Mesa base atual sem a necessidade do peso suporte para mantê-la estática.	31

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	9
INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos.....	10
1.1.1 Geral.....	10
1.1.2 Específicos	10
CAPÍTULO II.....	11
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
2.1 Grupo Gerador.....	11
2.2 Vibrações: Conceitos Básicos	12
2.2.1 Vibração e Amortecimento	12
2.2.2 Classificação das Vibrações Mecânicas.....	13
2.2.3 Elementos que compõem um sistema vibratório.....	14
2.2.4 Tipos de isoladores para o sistema de amortecimento	16
2.2.4.1 A aplicação do Coxim para o Amortecimento	20
2.3 Alinhamento Entre Eixos	20
2.3.1 A importância do alinhamento dos eixos	21
2.3.2 Acoplamentos.....	21
2.3.2.1 Classificação dos Acoplamentos	23
2.4 Regulador De Mistura Ar/Gás Pobre Manual	25
CAPÍTULO III	26
DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL.....	26
CAPÍTULO IV.....	30
4 RESULTADOS	30
CAPÍTULO V	32
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
CAPÍTULO VI.....	33
REFERÊNCIAS	33

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Em resposta a atual dependência dos combustíveis fósseis, busca-se fontes alternativas de energia, pois as reservas de combustíveis fósseis na terra são escassas e sujeitas a desaparecerem à medida que são consumidas.

É conhecido que a biomassa é um recurso de carbono natural e renovável grande o suficiente para ser utilizado como substituto dos combustíveis fósseis. De acordo com Rumão (2013, p.18), biomassa:

É toda e qualquer matéria formada por carboidratos, lipídios (óleos vegetais), proteínas, dentre outras substâncias, que, em geral, são de origem animal, ou vegetal. Resulta-se de uma série de processos físico-químicos naturais, quando os seres vivos clorofilados utilizam o dióxido de carbono e água para obter glicose através da energia luminosa, em geral, a solar. Constituem, portanto, fonte de energia renovável. (RUMÃO, 2013, p. 18).

É empregada tanto para geração de potência, como para de eletricidade. Um dos processos fundamentais realizados com esta é a gaseificação, que, segundo Sánchez apud Rumão (2013) é a transformação de combustíveis sólidos (madeira, rejeitos de agricultura, etc.), a temperaturas elevadas (800 ~ 1000°C), em uma mistura gasosa de combustíveis.

O gás derivado da gaseificação, conhecido como gás pobre, quando utilizado como combustível em um grupo gerador, pode se tornar em uma alternativa de energia viável às sociedades sem acesso a rede elétrica. O grupo gerador é definido como um equipamento constituído por um gerador, acionado por motor de combustão interna.

Na Universidade Federal da Paraíba - UFPB, a equipe do Laboratório de Inovação Tecnológica - LI, integrada por alunos de graduação, mestrado e do doutorado em Engenharia Mecânica, realiza projetos na Área Térmica, incluindo estudos relacionados a grupos geradores.

Dentre esses grupos geradores, existe um no qual o acoplamento do motor e do gerador foi feito em plataformas diferentes, ocasionando o excesso das vibrações. Essa pesquisa teve como objetivo possibilitar o bom funcionamento do grupo gerador cujo motor foi alimentado com gás pobre.

Para solucionar a questão da duplicidade de bases, preparou-se um sub chassi e um sistema com coxins, reduzindo-se, assim, o excesso das vibrações no sistema. A colocação do

motor e do gerador no sub chassi, gerou a necessidade do alinhamento entre os eixos do motor e do gerador.

Após a conversão do motor para funcionar com gás pobre, o grupo gerador passou a necessitar de um controlador para mistura ar/gás pobre. Adaptou-se um regulador de mistura manual em “y”, o qual ao ser manuseado altera a passagem do fluxo de ar para aumentar o de gás pobre, ou vice-versa.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Fazer funcionar um grupo gerador constituído por um motor de combustão interna de 18 HP e um gerador de 2 kW, que será alimentado por gás pobre.

1.1.2 Específicos

- Adaptar um regulador de mistura ar/gás pobre manual, em “y”, para controlar a mistura;
- Estabelecer uma maneira de acoplar o motor e o gerador, garantindo, após o acoplamento, o alinhamento entre os eixos do motor e do gerador.

CAPÍTULO II FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Grupo Gerador

Em artigo específico da STEMAC (MARKETING, 2011) o grupo gerador, ilustrado na Figura 1, é mencionado como o equipamento utilizado como fonte auxiliar, com a possibilidade de suprir a necessidade de energia em locais sem acesso a rede elétrica.

Figura 1 - Grupo gerador Toyama: réplica utilizada no trabalho.



Fonte: STEMAC GERADOR (2011)

Os grupos geradores ganharam grande destaque nas crises energéticas brasileiras de 2013 e 2014, envolvendo o Sistema de Geração e o Sistema de Transmissão Nacional (SIN). Várias propostas foram debatidas e o governo adotou medidas emergenciais de investimento no setor elétrico para conter a falta de oferta em algumas regiões do Brasil.

Um dos nichos da indústria que se destacou foi à produção de grupos geradores, pois para atingir as metas de racionamento sem prejudicar a sua produção, as indústrias recorreram aos grupos geradores para fugir do mercado spot (mercado de commodities).

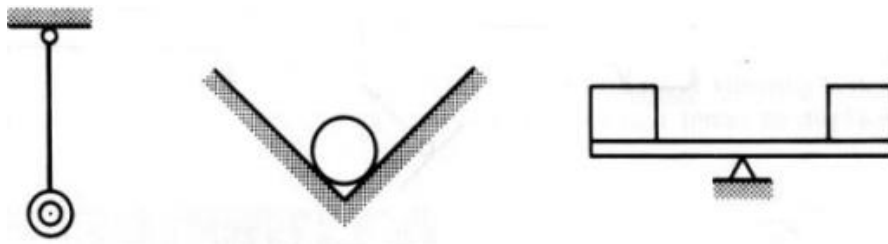
2.2 Vibrações: Conceitos Básicos

São vários os conceitos básicos das vibrações a serem analisados, cada qual com sua importância e finalidade específica.

2.2.1 Vibração e Amortecimento

A noção de vibração começa com a ideia de equilíbrio. Um sistema está em equilíbrio quando a resultante de todas as forças atuantes sobre o mesmo é nula. Qualquer sistema que esteja sob esta condição somente sairá dela quando ocorrer alguma perturbação externa. Para Kelly (2000), vibrações são as oscilações de um sistema mecânico ou estrutural sobre uma posição de equilíbrio, conforme Figura 2.

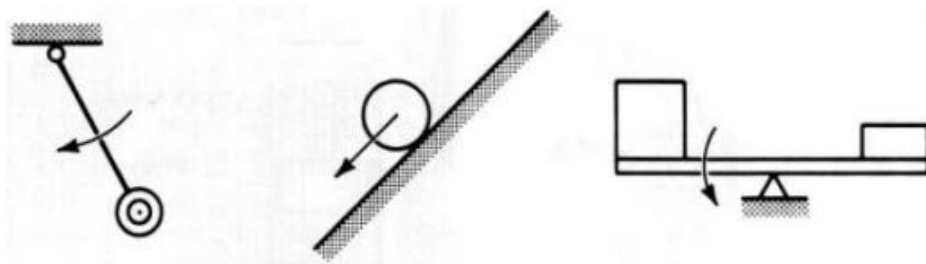
Figura 2 - Sistema sob a posição de equilíbrio.



Fonte: BONI (2016)

As vibrações são iniciadas quando um elemento de inércia é deslocado do seu equilíbrio devido a uma energia transmitida ao sistema através de uma fonte externa. A força de restauração, ou força conservativa desenvolvida em um elemento de energia potencial, puxa o elemento de volta ao ponto de equilíbrio, como se visualiza na Figura 3.

Figura 3 - Sistema não equilibrado com atuação das forças conservativas.



Fonte: BONI (2016)

De acordo com Rao (2009), o balançar de um pêndulo e o movimento de uma corda dedilhada são exemplos típicos de vibração. A teoria de vibração trata do estudo de movimentos oscilatórios de corpos e as forças associadas a eles.

A vibração está presente em qualquer sistema mecânico que se mova e/ou produza movimento. Assim sendo, o excesso das vibrações reduz a vida útil dos componentes do grupo gerador, entre eles, a armação da base, peças do motor, entre outros.

Segundo Thomson (1998), o amortecimento está presente em todos os sistemas oscilatórios, tendo como efeito remover a energia mecânica presente no sistema, sendo esta, quando em um sistema vibratório, dissipada em calor ou irradiada.

Exemplificando quanto a dissipação de energia mecânica em forma de calor, esta pode ser experimentada simplesmente dobrando um pedaço de metal para frente e para trás várias vezes. Quanto a dissipação em forma de irradiação, pode ser exemplificada através das ondas produzidas pelo movimento de emergir e submergir de uma boia na água, onde as ondas irradiam e afastam-se da boia, resultando em sua perda de energia mecânica.

De acordo com BALACHANDRAN (2011), existem, no geral, três elementos que compõem um sistema vibratório, eles são: elementos de inércia, elementos de rigidez e elementos de dissipação.

A vibração de um sistema envolve a transferência alternada de sua energia potencial para energia cinética e de energia cinética para energia potencial. Se o sistema for amortecido, certa quantidade de energia mecânica é dissipada em cada ciclo de vibração e deve ser substituída por uma fonte externa, se for preciso manter o regime permanente de vibração.

2.2.2 Classificação das Vibrações Mecânicas

Em sistemas mecânicos existem diferentes formas de classificar as vibrações, podendo ser quanto à excitação, ao amortecimento e ao deslocamento.

Segundo Rao (2009), as vibrações podem ser caracterizadas quanto à excitação, podendo ser livres ou forçadas. Se um sistema, após uma perturbação inicial, continuar a vibrar por conta própria, a vibração resultante é conhecida como vibração livre, ou seja, nenhuma força externa age sobre o sistema. A oscilação de um pêndulo simples é um exemplo de vibração livre.

Se um sistema estiver sujeito a uma força externa (muitas vezes uma força repetitiva), a vibração resultante é conhecida como vibração forçada. A oscilação que surge em máquinas, como motores a diesel, é um exemplo de vibração forçada.

A condição conhecida como ressonância ocorre quando a frequência da força externa coincidir com uma das frequências naturais do sistema, sucedendo assim, oscilações perigosamente grandes no sistema.

De acordo com Bolina et al. (2015), as frequências naturais indicam a taxa de oscilação livre da estrutura depois de cessada à força que provocou o seu movimento. Em palavras similares, representa o quanto a estrutura vibra quando não há força aplicada sobre ela. Esta frequência é função direta da rigidez e inversa da massa da estrutura, sendo designada por um número real positivo e cuja unidade mais comum é o Hertz.

Uma estrutura possui diversas frequências naturais, pois ela pode vibrar livremente (após ter sido excitada por uma força) em diversas direções, sendo a primeira frequência natural a menor e mais importante entre todas, denominando-se frequência fundamental.

Em estruturas convencionais a primeira frequência é sempre a mais preponderante ao movimento oscilatório, sendo os demais modos de vibração insignificantes frente a este. Os modos de vibração é a forma como a estrutura vibra, relacionada a cada uma de suas frequências naturais, ou seja, para cada frequência natural existe um modo de vibração específico ou um perfil de vibração.

Quanto ao amortecimento, as vibrações podem ser amortecidas ou não amortecidas. Se nenhuma energia for perdida ou dissipada por atrito ou outra resistência durante a oscilação, a vibração é conhecida como vibração não amortecida. Todavia, se qualquer energia for perdida dessa maneira, ela é conhecida como vibração amortecida (RAO, 2009).

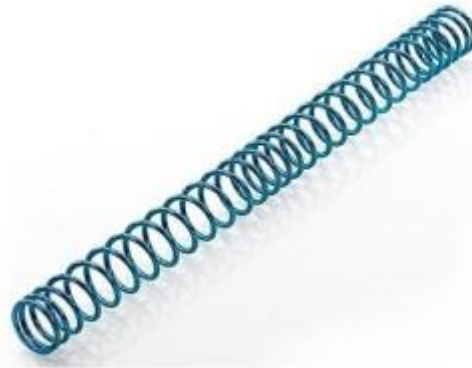
Quanto à última, pode ser retilínea ou torcional. Ambas caracterizam os principais tipos de vibração que ocorrem dentro de um sistema gerador (Clifford Power, 2014). Na vibração torcional, a combustão de motores produz forças que são transmitidas ao eixo de manivela do motor e depois para todas as massas rotativas do motor. A correta correspondência do motor e do gerador pelo fabricante, elimina a vibração de torção.

A vibração linear ou retilínea pode apresentar-se de várias formas, sendo difícil isolar todas as causas e as vibrações, podendo mudar de local para local. A vibração está sempre no sistema quando um grupo gerador está em execução, tendo os isoladores de vibração a função de reduzir a transmissão das vibrações (S/A, Clifford Power, 2014).

2.2.3 Elementos que compõem um sistema vibratório

Elementos de Mola é uma mola linear de elo mecânico, ilustrada na Figura 4, cuja massa e amortecimento são, de modo geral, considerados desprezíveis.

Figura 4 – Mola linear de elo mecânico.



Fonte: GM TATICO (2017)

Uma força é desenvolvida na mola sempre que houver um movimento relativo entre suas duas extremidades, proporcional à quantidade de deformação e, demonstrada pela Eq. 1.

$$F = kx \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

F = força [N]

k = constante elástica da mola [N/m]

x = deslocamento [m]

O trabalho realizado na deformação de uma mola é armazenado como deformação ou Energia Potencial (U) na mola. Pela Eq. 2:

$$U = \frac{1}{2}kx^2 \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

U = energia potencial [J]

k = constante elástica da mola [N/m]

x = deslocamento [m]

Quanto aos Elementos de Massa ou Inércia, admite-se que um corpo rígido pode ganhar ou perder Energia Cinética (K) sempre que a velocidade do corpo mudar. Pela Segunda Lei do Movimento de Newton o produto da massa por sua aceleração é igual à força aplicada à massa.

O módulo do trabalho é dado pela intensidade da força multiplicada pelo comprimento do deslocamento na direção de aplicação da força (F). Já o trabalho realizado sobre uma massa é armazenado na forma de energia cinética da massa.

Em relação aos Elementos de Amortecimento, podem ser classificados como: a) amortecimento viscoso, b) amortecimento coulomb ou por atrito seco e c) amortecimento material ou sólido ou por histerese.

O amortecimento viscoso é o mecanismo de amortecimento mais comumente utilizado em análise de vibrações. Quando sistemas mecânicos vibram em um meio fluido como ar, gás, água e óleo, a resistência oferecida pelo fluido ao corpo em movimento faz com que a energia seja dissipada.

A quantidade de energia dissipada depende de muitos fatores como o tamanho, a forma do corpo em vibração, a viscosidade do fluido, a frequência de vibração e a velocidade do corpo em vibração. No amortecimento viscoso, a força de amortecimento é proporcional à velocidade do corpo vibratório.

Quanto ao amortecimento coulomb ou por atrito seco, a magnitude da força de amortecimento é constante, contudo sendo no sentido oposto ao movimento do corpo vibratório. O amortecimento nesse caso é causado pelo atrito entre superfícies em contato que estejam secas ou não tenham lubrificação suficiente.

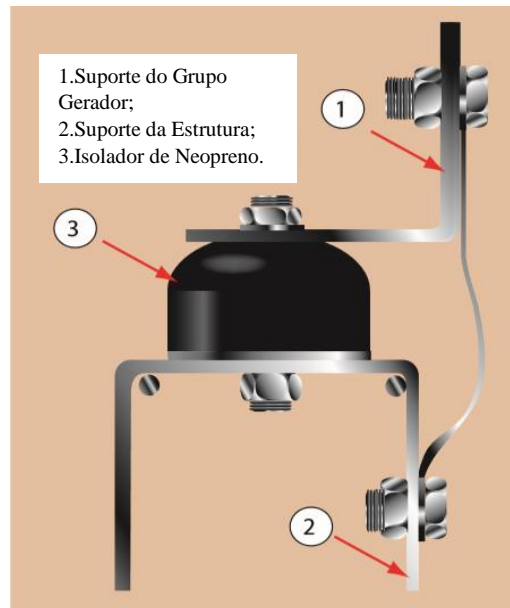
Quanto ao amortecimento material ou sólido ou por histerese, quando um material é deformado ele absorve e dissipa energia. O efeito deve-se ao atrito entre os planos internos, que deslizam ou escorregam enquanto as deformações ocorrem.

2.2.4 Tipos de isoladores para o sistema de amortecimento

Isoladores de neopreno ou borracha são aqueles utilizados entre a base e a almofada do conjunto, servindo e agindo como controles para isolar componentes do gerador. As montagens de neopreno são frequentemente integrais montadas entre o conjunto do motor-gerador e a superfície.

Eles fornecem até 90% de eficiência de isolamento, o que é suficiente para a maioria das instalações abaixo do nível da classe. Este sistema pode ser visualizado na Figura 5.

Figura 5 - Isolador de neopreno ou borracha.

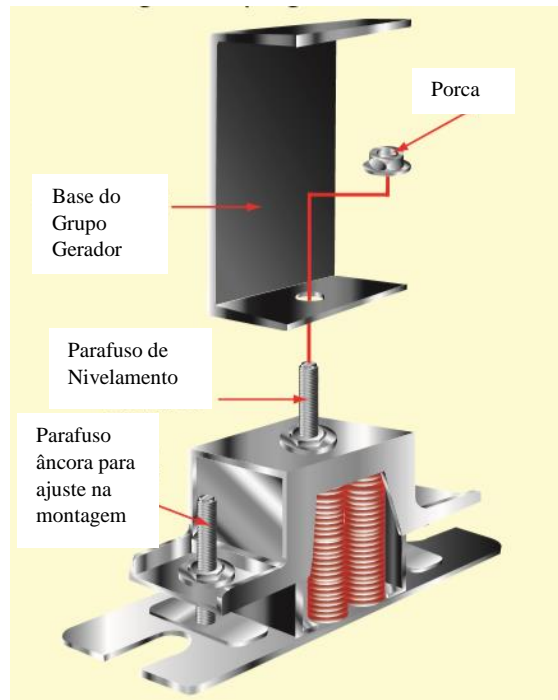


Fonte: CLIFFORD POWER (2014)

Na representação da Figura 6, os isoladores de mola fornecem até 98% de isolação de vibração e são adequados para todas as aplicações.

Ao escolher um tipo de mola, deve-se escolher o modelo correspondente ao peso do gerador, com intuito de evitar a compressão excessiva das molas. Ainda, deve-se consultar o histórico da localidade em relação a risco elevado de terremotos, afim de determinar se os isoladores de mola serão ou não necessários. Os tipos de mola são montados entre a superfície do gerador e a de montagem.

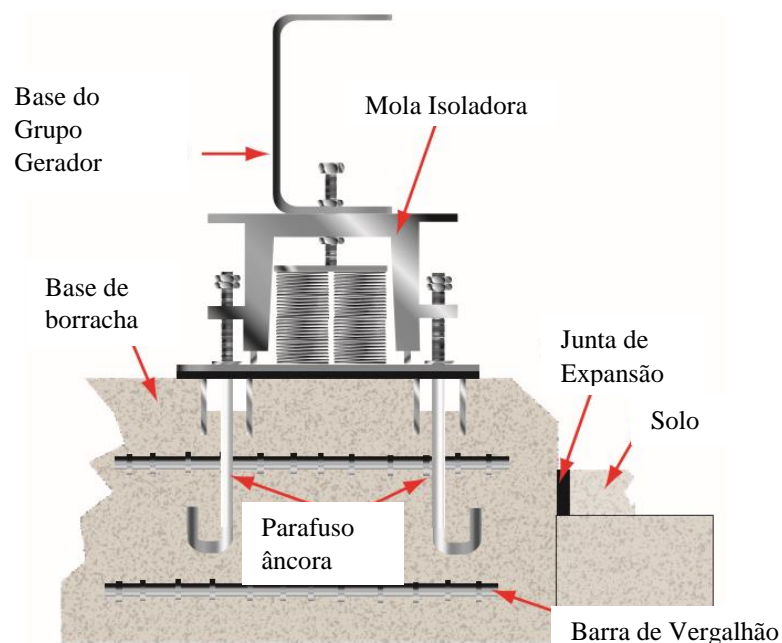
Figura 6 - Isolador de mola.



Fonte: CLIFFORD POWER (2014)

Os isoladores de Mola com tanque sub-base, como na Figura 7, são montados entre a almofada de concreto e um sub-tanque, devendo ser dada especial atenção à seleção dos isoladores de mola para compensar o peso variável da embalagem que ocorrerá devido à quantidade de combustível no tanque.

Figura 7 - Caso especial de um isolador de mola.



Fonte: CLIFFORD POWER (2014)

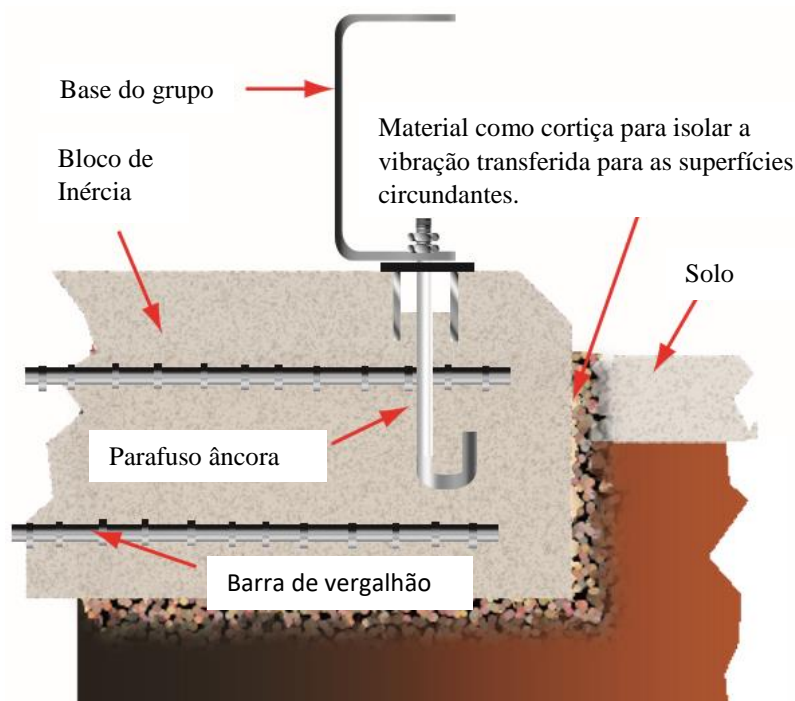
Solução diversa, seria especificar que os isoladores de mola serão montados entre a base do gerador e o tanque de combustível sub-base. No entanto, ao eliminar as considerações de peso, esta solução pode ser menos agradável esteticamente.

Há os casos especiais e requisitos de códigos existentes onde dois tipos de isoladores podem ser utilizados. São eles: os isoladores a granel e isoladores de mola.

Quando uma instalação é planejada em uma área onde os códigos estaduais e locais especificam montagens de segurança sísmica, terremoto, ou ainda, onde a instalação está alimentando uma aplicação que é extremamente sensível às vibrações, pode ser utilizado qualquer dos dois isoladores mencionados acima.

Os isoladores a granel, ilustrado na Figura 8, são utilizados nos sistemas de montagem mais complexos e de maior custo entre os demais. Por outro lado, o isolamento em massa também é o mais eficaz quando a vibração limitante é crítica. Este é obtido montando o grupo gerador em um bloco de inércia sólido e maciço, revestindo o bloco com fibra de vidro, cortiça ou outro material de absorção de movimento para separá-lo das estruturas circundantes.

Figura 8 - Isolador a granel.



Fonte: CLIFFORD POWER (2014)

Os isoladores de molas específicos para área sujeita a sísmica são dimensionados para o peso do sistema gerador que são suportados e montados entre a superfície do gerador e a almofada de montagem de concreto.

2.2.4.1 A aplicação do Coxim para o Amortecimento

O coxim é a peça metálica revestida de borracha, como ilustrada na Figura 9, que serve para sustentar o amortecedor no monobloco. Essa peça recebe todo o impacto do conjunto de suspensão, além de fazer o movimento rotacional provocado pelo giro do volante.

O amortecedor é apoiado no coxim e fixa-se no carro. Além de oferecer suporte, têm propriedades elásticas que o tornam capaz de isolar e dissipar as vibrações geradas pelo motor.

Figura 9 - Coxim radiador de Mercedes Benz Mb Om352, o mesmo utilizado neste estudo.



Fonte: DINAMICAR PNEUS (2017)

2.3 Alinhamento Entre Eixos

Em conjunto de equipamentos rotativos, o alinhamento tem a finalidade de deixar as faces do acoplamento sempre com a mesma distância, em qualquer ponto, e no mesmo plano.

O alinhamento tem por objetivo garantir o bom funcionamento dos equipamentos rotativos apresentando como característica principal: reduzir as vibrações, o aquecimento e aumentar a durabilidade dos componentes (Pauli et al., 1997).

Ainda quanto ao conceito, Piotrowsky (2006) utiliza a definição do desalinhamento entre eixos para compreender o que vem a ser alinhamento entre eixos:

[...] desalinhamento de eixos ocorre quando as linhas de centro dos eixos de rotação de duas (ou mais) máquinas não estão em linha um com o outro; é, portanto, o desvio da posição relativa do eixo de um eixo colinear de rotação medida nos pontos de transmissão de força (ou potência) quando o equipamento está rodando nas condições normais de operação (PIOTROWSKY, 2006).

Quanto ao alinhamento entre eixos é necessário compreender ainda os seguintes pontos: a importância do alinhamento e a peça onde ocorre o desalinhamento.

2.3.1 A importância do alinhamento dos eixos

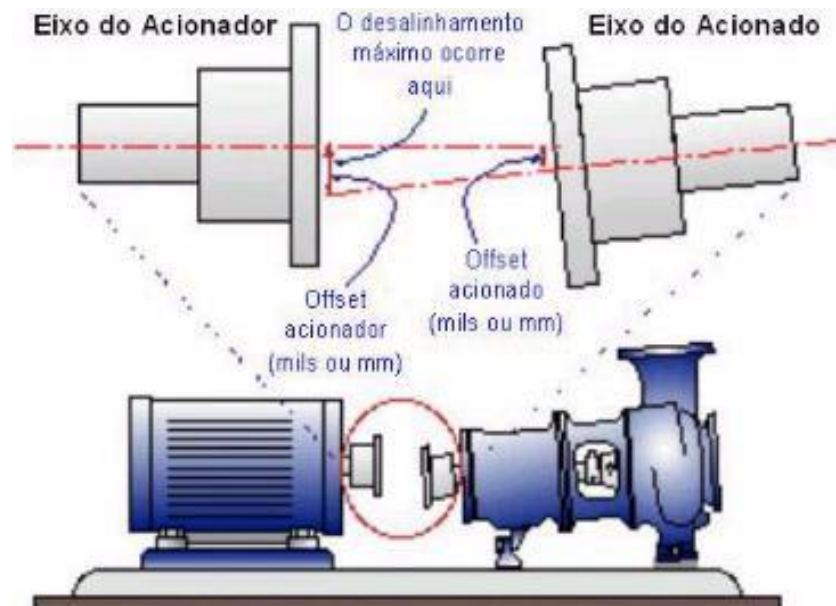
O alinhamento dos eixos é importante para prolongar o período de operação das máquinas rotativas. Além desta importância, apresenta benefícios como a redução das forças radiais e axiais excessivas sobre os mancais para garantir vida maior a estes e, estabilidade ao rotor sob condições dinâmicas de operação.

O alinhamento também minimiza o desgaste nos componentes do acoplamento, reduz as falhas nos selos mecânicos, mantêm as folgas internas apropriadas no rotor e elimina a possibilidade de falha do eixo por fadiga cíclica.

2.3.2 Acoplamentos

É no acoplamento que ocorre o desalinhamento, como ilustrado na Figura 10, tratando-se de um conjunto mecânico, constituído de elementos de máquina e empregado na transmissão de rotação entre duas árvores ou eixos-árvore. Os princípios de rotação são transmitidos pelos acoplamentos segundo os princípios de atrito e de forma.

Figura 10 - O desalinhamento no acoplamento entre os eixos motor e gerador.

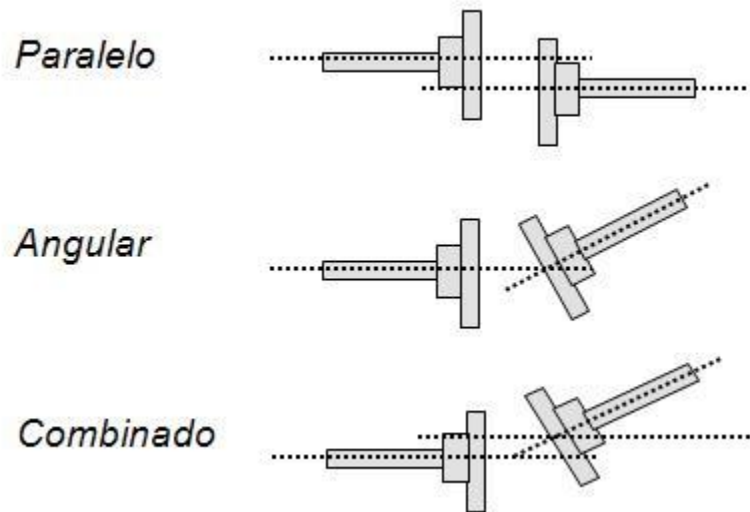


Fonte: PIOTROWSKY (2006)

Durante a operação do grupo gerador, as forças resultantes fazem que o eixo desalinhe na forma angular. Outras causas para a ocorrência do desalinhamento podem surgir, como: a expansão térmica, os rolamentos desgastados e erros de instalação.

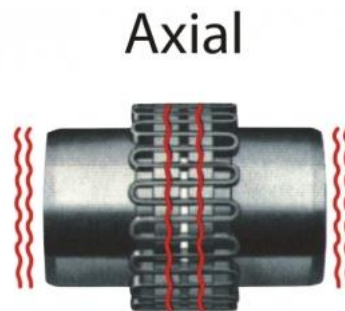
Segundo a plataforma virtual da Svenska KullagerFabriken (SKF), as funções presentes no acoplamento são: conectar e transmitir energia de um eixo de direcionamento para um eixo acionado; sistemas de proteção; e conseguir compensar totalmente os quatro desalinhamentos de eixo: angular, paralelo, combinação (angular + paralelo) e, movimento axial, demonstrados nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 – Ilustração do desalinhamento entre eixos: Angular, Combinado e Paralelo.



Fonte: TECMECANICO (2015)

Figura 12 – Desalinhamento por movimento axial.



Fonte: ACOPLAMENTOS METALFLEX (2016)

2.3.2.1 Classificação dos Acoplamentos

O grupo de acoplamentos comandáveis é aquele em que o motor elétrico ou de combustão interna parte em vazio, ou seja, o motor ainda não está acoplado à máquina, na partida do equipamento.

Em função de sua forma de acionamento, os acoplamentos comandáveis são mais complexos, porém apresentam a vantagem de economizar energia na partida do motor. Já o grupo de acoplamentos não comandáveis é aquele que o motor elétrico ou de combustão interna inicia junto com a máquina. Estes são mais simples e se aplicam em situações em que a partida do motor não represente um consumo excessivo de energia.

Assim, temos de acordo com seus aspectos construtivos, os seguintes tipos de acoplamentos:

a) Acoplamentos Rígidos, ilustrado na Figura 13, não absorvem desalinhamentos, nem tampouco, os choques ou vibrações provenientes do funcionamento da máquina ou da partida do motor. Estes exigem que se faça um alinhamento 0-0 perfeito dos dois eixos acoplados, antes da partida do equipamento. Transmite altas potências em baixas rotações (<400 rpm) e conectam eixos longos.

Figura 13 - Exemplo de acoplamento rígido.



Fonte: NAUTICEXPO (2017)

b) Acoplamentos Flexíveis, absorvem os desalinhamentos, por isso possuem uma folga mínima (GAP), tabelada pelo fabricante. Os eixos também são flexíveis e, quando o desalinhamento se torna mais severo, tendem a flexionar-se mais.

Os acoplamentos flexíveis podem ainda ser classificados em:

- Não Elásticos: são aqueles que apesar de acomodar certos desalinhamentos não possuem elasticidade torcional, transmitindo todos os choques e sobrecargas. Por exemplo: acoplamento de engrenagens, acoplamento de dentes arqueados, acoplamento de lamelas, junta cardan, junta homocinética.

- Elásticos (torcionalmente elásticos): são os que possuem um elemento de ligação elástico entre os cubos (borracha, grade, mola), como na Figura 14, com a finalidade de absorver choques e acomodar certos desalinhamentos. São exemplos: acoplamento de pino, acoplamento de dentes, acoplamento de grade, acoplamento ômega.

Figura 14 - Exemplo de acoplamento elástico de dentes AM (acoplamento de dupla cruzeta).



Fonte: MAIS PLÁSTICOS (2017)

2.4 Regulador De Mistura Ar/Gás Pobre Manual

A válvula reguladora de mistura manual é instalada em uma bifurcação no formato de “Y”, ou seja, no ponto de interseção entre o duto de ar, duto de gás pobre e o carburador. A válvula tem formato de meia lua e ao ser manuseada altera a passagem do fluxo de ar para diminuir ou aumentar o de gás pobre.

A partir desses conhecimentos foi possível realizar um desenvolvimento experimental, o qual será descrito neste estudo.

CAPÍTULO III

DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Na primeira montagem do grupo gerador foram detectadas dificuldades para fixá-lo à bancada. A princípio, como suporte para o motor utilizou-se um perfil quadrado. Este foi fixado na bancada e no grupo gerador, através de um parafuso.

Instalado o gerador em uma base e, o motor, em outra base, foi percebido o rompimento do fuso, atrasando o experimento.

Ocorrendo um terceiro rompimento do fuso que mantinha estático o suporte do motor, este desafixou-se. Além dessas dificuldades, a diferença de base acarretou o excesso das vibrações presentes no sistema que gerava danos a base de fixação, conforme observado nas Figuras 15 e 16, respectivamente.

Figura 15 - Vista frontal da viga rompida.



Fonte: ACERVO PESSOAL (2017)

Figura 16 - Vista lateral da viga rompida.



Fonte: ACERVO PESSOAL (2017)

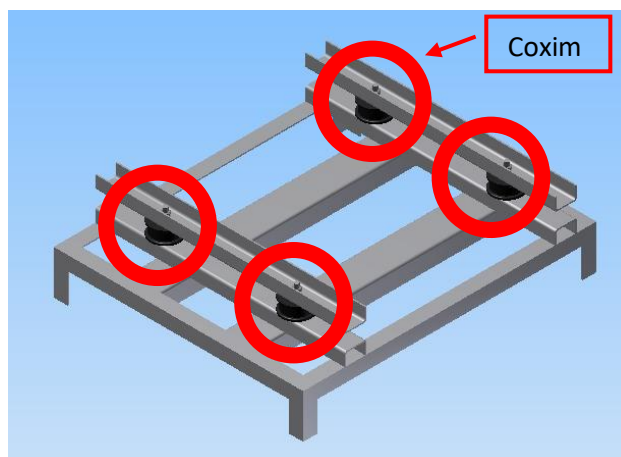
Conforme a problemática descrita anteriormente, foi necessário que a equipe buscasse soluções para resolver o problema.

Como solução, a equipe estruturou um sub chassi para posicionar o gerador e o motor na mesma base e preparou um sistema com coxins, a fim de reduzir o excesso das vibrações e corrigir o alinhamento entre os eixos do motor e do gerador.

O sistema com coxins, baseou-se no princípio do sistema isolador de borracha, utilizando-se como isolador o coxim radiador Mercedes Benz MB om352.

Adaptou-se quatro coxins na mesa base, instalados entre quatro cantoneiras em “U”, como visualizado na Figura 17, cada uma com 55 cm de comprimento, 5 cm de largura e 3 cm de espessura.

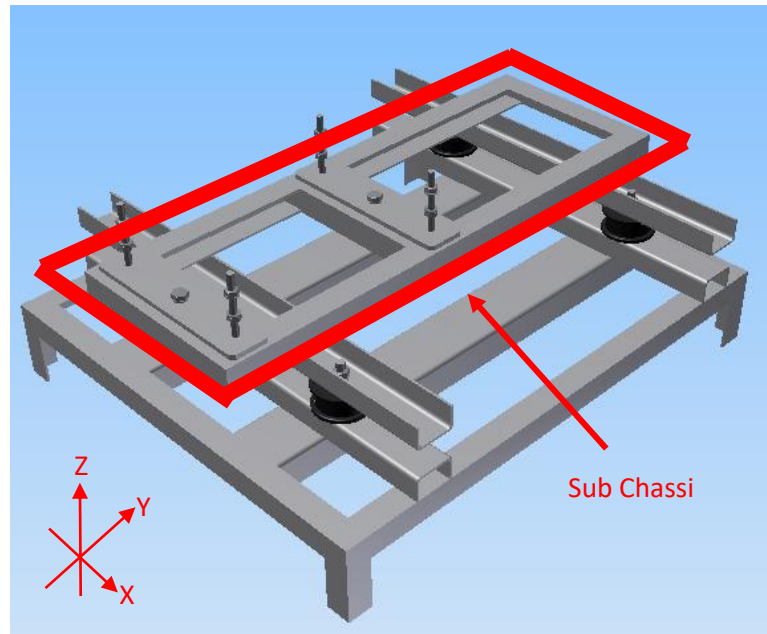
Figura 17 - Sistema com coxins para redução das vibrações referente à parte inferior.



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR (2017)

Para a montagem do gerador e do motor na mesma base, a equipe preparou um sub chassi, com intuito de manter o alinhamento entre os eixos do gerador e motor. Ele é composto por uma base retangular com 67 cm de comprimento, 27 cm de largura e 3 cm de espessura, conforme demonstrado na Figura 18.

Figura 18 - Sub chassi para o posicionamento do gerador e motor em uma mesma base.



Fonte: ELABORADO PELO AUTOR (2017)

O gerador ficou acoplado sobre duas peças, que forneceram a liberdade para deslocamento no plano “X” e no plano “Z”, facilitando o alinhamento entre o eixo do gerador e o eixo do motor. Essas peças ficam sobrepostas em duas cantoneiras com um rasgo, conforme Figura 19. Cada uma apresenta dois fusos nas extremidades, que permitem alinhar o eixo no plano “Z”.

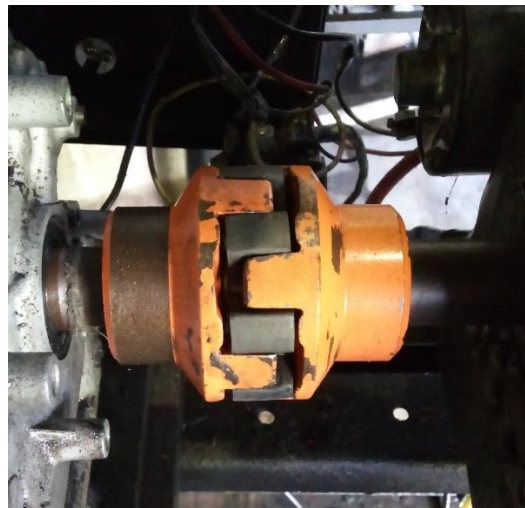
Figura 19 - Cantoneira com um rasgo para que a peça tenha a liberdade necessária para o alinhamento no eixo “X”.



Fonte: ACERVO PESSOAL (2017)

Para os eixos, a equipe utilizou um acoplamento por dentes AM (acoplamento de dupla cruzeta), podendo ser visualizado na Figura 20.

Figura 20 - Acoplamento flexível do tipo elástico instalado no sistema.



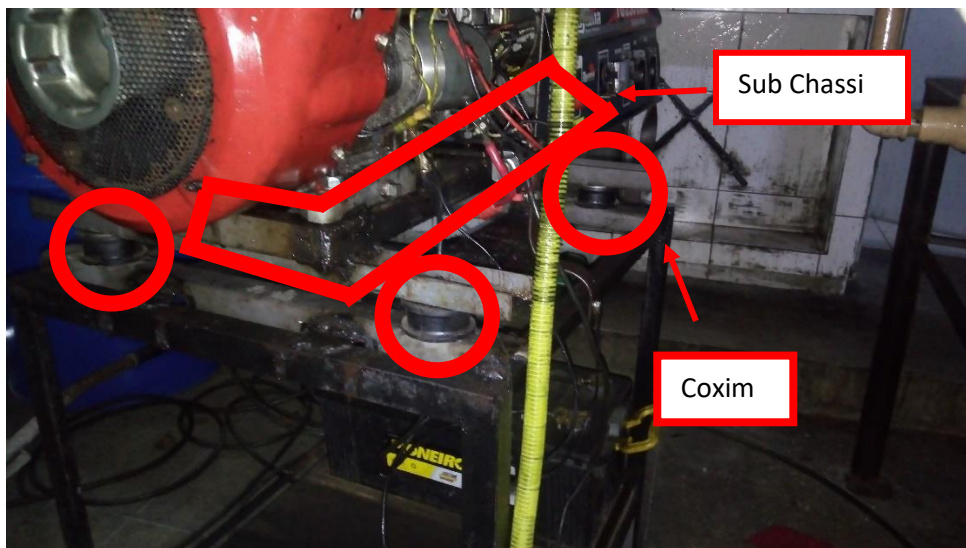
Fonte: ACERVO PESSOAL (2017)

Para controlar a mistura ar/gás pobre, utilizou-se um regulador de gás pobre manual, sistema já projetado anteriormente por Rumão (2013) e adaptado pela equipe do Laboratório para o motor de dois cilindros. O sistema é posicionado na intersecção do tubo de entrada de ar, da tubulação de gás pobre e da entrada do carburador, formando um “Y” entre os três, ver Figura 22.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

Conforme descrito no experimento desenvolvido, a montagem atual pode ser observada nas Figuras 21 e 22, respectivamente.

Figura 21 - Vista do sistema com coxins para redução das vibrações com o sub chassi na parte superior.



Fonte: ACERVO PESSOAL (2017)

Figura 22 - Regulador de mistura manual em “Y” montado na intersecção do tubo de entrada de ar, da tubulação de gás pobre e da entrada do carburador.



Fonte: ACERVO PESSOAL (2017)

Após as implementações, observou-se que a mesa base onde se encontra o motor e o gerador não necessita mais do peso suporte para ficar estática, conforme Figura 23.

Figura 23 - Mesa base atual sem a necessidade do peso suporte para mantê-la estática.



Fonte: ACERVO PESSOAL (2017)

CAPÍTULO V

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conversão do motor do grupo gerador a gasolina para gás trouxe a necessidade de controlar a mistura ar/gás pobre, pois ao funcionar com gasolina o carburador realizava o controle da mistura.

A montagem do gerador e motor em bases diferentes, causou o excesso das vibrações e o desalinhamento entre os eixos de ambos, danificando a estrutura do equipamento e atrasando o experimento realizado pela equipe, uma vez que, necessitava diante destas circunstâncias recomençar o teste.

Com o desenvolvimento do estudo, observou-se que o sistema do sub chassi posicionando o gerador e o motor na mesma base, através das peças que alinham o gerador no plano “X” e no plano “Z”, tanto na frente do gerador, como na parte traseira, corrigiu o desalinhamento dos eixos motor e gerador.

O acoplamento do tipo elástico que foi utilizado na junção do motor e do gerador, tem a borracha como elemento de ligação elástico entre os cubos, com a finalidade de absorver choques e acomodar certos desalinhamentos, trazendo a flexibilidade necessária para não danificar os eixos na partida do motor.

O regulador de ar/gás pobre estudado funcionou de forma eficiente, controlando a mistura no motor convertido para gás.

Sabendo que a vibração presente no equipamento é classificada como forçada, reduziu-se as forças externas atuantes no sistema, através da utilização do sistema com coxins. Segundo a teoria do tipo isolador de borracha, o mesmo reduz cerca de 90% das vibrações presentes. De forma eficiente e, baseando-se no sistema com isolador de borracha, o sistema com coxins reduziu as vibrações no grupo gerador.

Na prática, o sistema com coxins em conjunto com o sub chassi mostrou-se como sendo uma solução economicamente viável, tornando as vibrações transmitidas do sub chassi para a mesa base quase imperceptíveis, preservando assim, a armação da mesa, reduzindo o ruído e aumentando a vida útil do sistema.

CAPÍTULO VI

REFERÊNCIAS

- S/A. **ALINHAMENTO**. Disponível em <www.tecmecanico.blogspot.com.br>. Acesso em: nov. 2017.
- BALACHANDRAN, B., Magrab, E. **Vibrações Mecânicas**. New York: CENCAGE Learning, 2011.
- BOLINA, C.C.; PALECHOR, E. U. L.; VÁSQUEZ, M. P. R. **Vibrações: as frequências naturais estimada e experimental de uma estrutura**. P. 186-194. In: Anais do Congresso Nacional de Matemática Aplicada à Indústria. Blucher Mathematical Proceedings, v.1, n.1. São Paulo: Blucher, 2015.
- BONI, Paulo. **Mecanismos e Dinâmica de Máquinas**. Notas de aula. Joinville, 2016. Disponível em <www.joinville.ifsc.edu.br>. Acesso em: out. 2017.
- S/A. **ENTENDA qual a função do coxim do amortecedor, e escolha peças de qualidade**. DINAMICAR PNEUS. Disponível em <www.dinamicarpneus.com.br>. Acesso em: set. 2017.
- KELLY, S. Graham. **Fundamentals of Mechanical Vibrations**. 2ed. New York: McGraw-Hill, 2000.
- S/A. **MAIS PLÁSTICO**. Disponível em <www.maisplastico.com.br>. Acesso em: set. 2017.
- S/A. **MARKETING, STEMAC GRUPOS GERADORES**. 2011. Disponível em <www.blogstemac.com.br>. Acesso em: set. 2017.
- S/A. **METALFLEX, Acoplamentos de grades elásticas**. 2016. Disponível em <www.acoplamentosmetalflex.com.br>. Acesso em: nov. 2017.
- S/A. **MOLA para airsoft madbull m110**. GM TATICO. Disponível em: <www.gmtatico.com.br>. Acesso em: nov. 2017.
- S/A. NAUTIC EXPO. **Acoplamento mecânico rígido / para barco / para eixo de transmissão**. 2017. Disponível em: <www.nauticexpo.com>. Acesso em: nov. 2017.
- PAULI et al. **Alinhamento de máquinas rotativas**. 1997. Disponível em <www.fabricadoprojeto.com.br>. Acesso em: nov. 2017.
- PIOTROWSKY, John. **A importância de alinhamento entre eixos**. Traduzido por Julio Nascif Xavier - Tecém Tecnologia Empresarial, 2006. Disponível em <www.ebah.com.br>. Acesso em: out. 2017.
- RAO, Singiresu. **Vibrações mecânicas**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- RUMÃO, Adriano Sitônio. **Geração de Potência e Energia Elétrica a partir da gaseificação de Rejeitos de Biomassa**. Tese. Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. João Pessoa, 2013. 130 p.
- SVENSKA KULLAGER FABRIKEN – SKF. **Acoplamentos de eixos flexíveis**. Disponível em <www.skf.com>. Acesso em: set. 2017.
- THOMSON, W.T.; DAHLEH, M.D. **Theory of Vibrations with Applications**, Prentice-Hall, 5th edition, 1998.

S/A. **VIBRATION Isolation used on Engine Generator.** CLIFFORD POWER. 2014. Disponível em <www.cliffordpower.com>. Acesso em: set. 2017.