
Projeto conceitual de um equipamento de apoio no solo dedicado a motores turboshaft

Apresentado por
Edison Jair Bejarano Sepúlveda



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Fundación Universitaria Los Libertadores

Faculdade de Engenharia e Ciências Básicas

Programa de Engenharia Aeronáutica

Bogotá D.C., Colombia

2019



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Projeto conceitual de um equipamento de apoio no solo dedicado a motores turboshaft

Apresentado por
Edison Jair Bejarano Sepúlveda
como exigência parcial para obtenção do

Título de
Engenheiro Aeronáutico

Dirigido por
MSc Iván Felipe Rodríguez Barón

Codirigido por
Ing. Brayan Alejandro Rosas Bonilla

Apresentado á
Programa de Engenharia Aeronáutica
Fundación Universitaria Los Libertadores
Bogotá D.C., Colombia
2019



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Notas de aceitação



Assinatura do presidente da banca

LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Assinatura da banca

Assinatura da banca

Bogotá D.C., novembro de 2019



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

As diretivas da Fundación Universitaria Los Libertadores, a banca avaliadora e o corpo docente não são responsáveis pelos critérios e ideias apresentadas no presente documento. Estes correspondem unicamente aos autores e aos resultados de seu trabalho.



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Dedicatória



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

*"Para os dois amores da minha vida,
quem sempre ficaram do meu lado."*



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Agradecimentos

Ao MSc Iván Felipe Rodríguez Barón, por sua paciência, ensinamentos e orientações que me ajudaram em todo o tempo deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Aeronáutica e prof. Msc. Jaime Enrique Orduy, por me fornecer todas as facilidades necessárias para este trabalho.

Aos engenheiros que Brayan Alejandro Rosas Bonilla e Jhon Sebastian Merchan Camelo, que compartilharam sua ideia do projeto comigo e fez tudo acontecer.

À minha amada família: à minha mãe por sempre me oferecer todo seu amor, mesmo antes de eu nascer, obrigado por tanto; ao meu irmão por me apoiar sempre, eu sei que sempre posso confiar nele inclusive nos piores momentos.

Para Sarita, que sempre cuidou de mim e sempre quis o melhor para o meu futuro, porque ela era o ingrediente perfeito para eu alcançar essa vitória na minha vida, a ajuda que deu para mim foi importante, estive do meu lado, mesmo nos momentos e situações mais tempestuosas, sempre me dando o meu melhor. Não foi fácil concluir com sucesso esse projeto, mas seu amor torna o impossível realidade.

Aos meus grandes amigos, Jessica, Diego, Edgar e Michel, eles sempre me deram sorrisos e grandes momentos. Sei que, embora estejamos longe, sempre posso contar com todos eles.

A cada um dos meus queridos *Juaicay* por me mostrar o amor e carinho pela dança e folclore colombiano, por se tornar mais uma família para mim, obrigado por me dar sua alegria e boa energia o tempo todo.



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Sumário

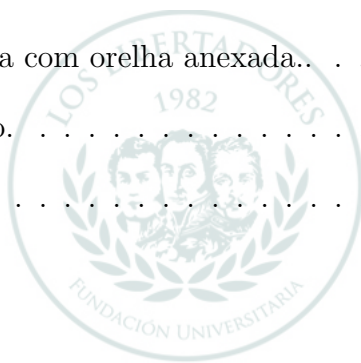
1	Introdução	1
1.1	Abordagem do problema e justificativa	3
2	Objetivos	4
2.1	Objetivo geral	4
2.2	Objetivos específicos	4
3	Revisão bibliográfica	5
3.1	Por que o motor Klimov TV3-117?	5
3.1.1	Evolução dos motores turboshaft	5
3.2	Motores Klimov TV3-117	9
3.2.1	Generalidades	10
3.2.2	Especificações (TV3-117VM)	10
3.2.3	Sistema de fixação do motor á aeronave	11
3.3	Helicópteros Mil Mi-8	13
3.3.1	Características gerais	15
3.4	Manutenção dos motores turboshaft	16
3.4.1	Processo de reparação e overhaul	16
3.4.2	Equipes de apoio como ferramentas na manutenção	18
4	Metodologia	19

5	Design e Materiais	21
5.1	Definição das necessidades e requisitos	21
5.2	Materiais	23
5.3	Procedimento e uso de equipamentos de apoio no solo	25
5.4	Modelagem de design do equipo de apoio para motores Klimov TV3-117 usando software assistido	26
6	Resultados e discussão	28
6.1	Simulações de testes estruturais	29
6.1.1	Simulação de suporte de rotação	29
6.1.2	Simulação do suporte de fixação	34
6.1.3	Simulação do parafuso de carregamento	39
6.2	Viabilidade técnica e estrutural do suporte	43
6.3	Delimitar o âmbito de aplicação e limitações do suporte	44
7	Conclusões e trabalhos futuros	45
7.1	Conclusões	45
7.2	Trabalhos futuros	46
8	Anexos	48

Lista de figuras

3.1	Comparativo dos componentes dos motores turboprop e turboshaft .	7
3.2	Relação peso-potência versus o ano de fabricação.	7
3.3	Peso e comprimento médio de motores turboshaft segundo o ano de fabricação.	9
3.4	Posicionamento dos motores TV3-117VM na aeronave.	11
3.5	Fixação frontal do motor TV3-117VM.	12
3.6	Fixação traseira do motor TV3-117VM.	13
3.7	Mil Mi-8.	15
3.8	Fluxograma do processo geral de overhaul para um motor turboshaft.	17
5.1	Klimow TW-3-117, eigenes Bild.	22
5.2	Projeção de suporte com o motor do turboshaft	25
5.3	Projeção de suporte do motor do turboshaft - vista frontal	26
5.4	Projeção de suporte de giro pendurado dos cabos de aço.	27
6.1	Cargas e elementos de fixação do suporte de rotação.	30
6.2	Malha tipo triangular do suporte de rotação.	31
6.3	Análise estática do suporte de rotação-tensões.	32
6.4	Análise estática do suporte de rotação-deslocamentos.	33
6.5	suporte de fixação.	35
6.6	Malha tipo triangular do suporte de fixação.	36
6.7	Análise estático do suporte de fixação-tensões.	37

6.8	Análise estático do suporte de fixação-deslocamentos.	38
6.9	Análise estático do suporte de fixação-deformações.	38
6.10	Parafuso de carregamento.	39
6.11	Análise estática do parafuso de carga-tensões.	41
6.12	Análise estática do parafuso de carga-deslocamentos.	41
6.13	Análise estática do parafuso de carga-deformações.	42
8.1	Cabo de aço.	48
8.2	Orelha de carga a estibordo.	49
8.3	Estibordo de carga.	49
8.4	Estibordo de carga com orelha anexada.	49
8.5	Gancho de fixação.	50
8.6	Salva cabo.	50



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Lista de tabelas

5.1	Valores mínimos das propriedades do aço A36 estabelecidos pela norma ASTM.	24
6.1	Propriedades volumétricas.	29
6.2	Propriedades das cargas e elementos de fixação.	31
6.3	Propriedades da Malha.	32
6.4	Análises estático de tensões e deslocamentos.	33
6.5	Propriedades volumétricas.	34
6.6	Propriedades das cargas e elementos de fixação.	35
6.7	Propriedades da Malha.	36
6.8	Análises estático de tensões.	37
6.9	Análises estático de deslocamentos e deformações.	38
6.10	Propriedades volumétricas.	39
6.11	Propriedades das cargas e elementos de fixação.	40
6.12	Propriedades da Malha.	41
6.13	Análises estático de tensões, deslocamentos e deformações.	42



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Projeto conceitual de um equipamento de apoio no solo dedicado a motores turboshaft

Resumo

Nas oficinas de Manutenção aeronáutico que possuem certificação como Organização de Manutenção Aprovada (OMA), são realizados procedimentos de manutenção como revisões gerais, reparos menores e maiores de sistemas, subsistemas e componentes aeronáuticos, incluindo motores e hélices os quais são realizados na linha. É o caso da oficina *CMR* da empresa *Vertical*, onde foi encontrado um problema no processo de manutenção dos motores *Klimov TV3-117*, já que seu peso está na faixa de aproximadamente 250 a 350 kg e isso origina dificuldades no estágio de manipulação e rotação do motor, causando o atraso nos períodos de tempo estipulado para cada operação e aumentando assim os custos para o operador. Por meio de modelagem computacional, e utilizando software para projeto auxiliado por computador (CAD), é realizada uma pesquisa aplicada, para o projeto conceitual e análise estrutural. Esse tipo de pesquisa deixou como resultado a conceptualização e viabilidade estrutural de um protótipo do equipamento de apoio no solo para manuseio e manutenção de motores turboshaft, que consequentemente, poderia com sua futura implementação economizar até 100 horas de trabalho-homem o que traduz em cerca de \$10.000 dólares, já que no processo atual é necessário quatro especialistas e dois inspetores, e com o projeto, são apenas necessários um de cada.

Palavras-chave: Desenho assistido por computador (CAD). Análise estrutural. Turboshaft. Equipamento de apoio no solo. Manutenção aeronáutica.



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Conceptual design of a ground support equipment dedicated to turboshaft engines

Abstract

Aircraft Maintenance Facilities that have been certified as MRO (Maintenance, Repair and Overhaul) centres where maintenance procedures such as general revision, minor repairs of systems, subsystems and aeronautical components are carried out, including the overhaul of engines and propellers which are performed in line. It is the case of the CMR center of the company *Vertical*, where a problem in the maintenance process of the *Klimov TV3-117* engine was identified due to the difficulties in the stage of handling and rotation of the unit, as its weight is in the range between 250 and 350 kg, often causing delay in the stipulated time for each operation, therefore increasing the overall costs for the operator. By means of computer modelling, a CAD software was used in order to carry an applied research for the conceptual projection and the structural analysis of the design. This research has as a result the conception and the structural viability study of the prototype for a ground support equipment for handling and maintenance of a turboshaft engine, with whose implementation would enable the saving of 100 man-hours of labour, as four specialised operators and two inspectors are needed when conventional support systems are used for the overhaul of the engine, and with this new design, only one of each would be needed instead. All this adds up to an amount of about \$10 000 being saved per overhauled engine.

Keywords: Computer-aided design (CAD). Structural analysis. Turboshaft. Ground support equipment. Aircraft maintenance.



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Capítulo 1

Introdução

A manutenção das aeronaves tem uma importância vital para que elas mantenham a segurança em cada uma de suas operações. Desde os inícios da indústria aeronáutica esta vivenciou um crescimento vertiginoso, tanto assim que muitos dos operadores aeronáuticos mais notáveis na atualidade chegaram a mostrar aumentos na aquisição de frotas de até 120% nos últimos 20 anos (ADDEPALLI *et al.*, 2018).

Esse comportamento é um reflexo da evolução e melhoria em muitos componentes das aeronaves, pois muitos dos fabricantes se concentraram em otimizar o custo-benefício das operações. Um exemplo disso foi a destacável redução de consumo respeito aos motores: eles passaram de ter uma média de 8 litros de combustível em uma viagem de 100 km/h por passageiro em 1985 para 3 litros no ano 2017 (ICAO, 2015).

Da mesma forma, técnicas e ferramentas que aprimoram os processos de revisão e reparação foram desenvolvidas, como bancos de teste e equipamentos de apoio no solo. Estes avanços são de suma importância, pois podem facilitar o manuseio de sistemas, subsistemas e componentes aeronáuticos em processos de manutenção realizados dentro das Oficinas

de manutenção aeronáuticas - TAR (Taller Aeronáutico de Reparación) (AEROCIVIL, 2013). Nas oficinas são executados procedimentos de manutenção em linha, revisão geral de pequenos e grandes reparos de sistemas, subsistemas e componentes de uso aeronáutico, entre eles motores e hélices.

Em muitas das oficinas aeronáuticas dedicadas ao MRO (Maintenance, Repair and Overhaul) como e a empresa Vertical possuem diversas ferramentas avançadas para o manuseio dos diferentes componentes. Porém no caso dos motores, possuem equipamentos simples de apoio no solo que não permita uma manipulação suficiente para obter um ótimo desempenho no momento da manutenção, tornando-se um processo desconfortável e laborioso.

Porém para obter ótimos resultados, tanto no tempo quanto nos custos de manutenção, o uso das ferramentas certas é necessário e de vital importância para fazer a diferença nos procedimentos, pois com elas será possível facilitar e agilizar as operações desenvolvidas pelos técnicos, permitindo manutenção com maior frequência e menor duração.

Neste o uso de ferramentas computacionais é importante para fazer a diferença nos processos, pois com isso os procedimentos técnicos podem ser facilitados e agilizados, permitindo manutenção com menos complexidade e duração, com o qual como vai se apresentar no capítulo 5, onde por meio da modelagem computacional usando um software auxiliado por computador foi projetada a ideia conceitual do projeto (CATIA, 2016), no mesmo tempo que foi realizado um análises aplicado

(ARAÚJO CUNHA *et al.*, 2017), para o análise estrutural de um equipamento de apoio no solo para manuseio e rotação do motor.

1.1 Abordagem do problema e justificativa

Este projeto está focado na evidência de dificuldades na rotação e no manuseamento em geral de motores turboshaft, nomeadamente quando eles estão no processo de manutenção. Essas complicações são devidas principalmente aos pesos massivos desses equipamentos, pois este tipo de motores estão na faixa de aproximadamente 200 a 450 kg (GENERAL ELECTRIC, 2014; GENERAL ELECTRICS, 2018) , e também devido às suas grandes dimensões.

Se bem que o atraso de tempo devido a uma difícil manobrabilidade na manutenção do motor significa também despesas para os operadores das diferentes aeronaves, o fato de reduzir elas, seria uma proposta interessante para qualquer empresa, desta forma, a oficina de manutenção aeronáutica *Vertical*, detectou a necessidade de melhorar o processo de manutenção dos motores *Klimov TV3-117*, já que seu peso e dimensão representam ao redor de seis pessoas para conseguir realizar um overhaul, o qual o que é traduzido em um alto custo de pessoal e tempo, o qual pode ser resolvido com a implementação de um suporte de apoio no solo, dessa forma pode se facilitar e agilizar os processos para o pessoal permitindo manutenções com menos complexidade, duração e pessoal.

Capítulo 2

Objetivos

2.1 Objetivo geral

A finalidade principal deste trabalho é realizar um projeto conceitual de um equipamento de apoio no solo dedicado a motores *Klimov TV3-117*, tendo em vista a simplificação desse tipo de operações na sua potencial implementação nas oficinas de manutenção aeronáutico.

2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um protótipo do suporte no software de design *CATIA* atendendo aos requisitos técnicos e de design estabelecidos;
- Realizar uma análise estrutural do protótipo projetado, por meio de simulação estática no *módulo de estruturas de SolidWorks*;
- Determinar a viabilidade técnica e estrutural do suporte;

Capítulo 3

Revisão bibliográfica

3.1 Por que o motor Klimov TV3-117?

Como é mencionado na seção 3.2, o helicóptero Mil Mi-8 é o mais produzido no mundo, e com mais de 12 000 unidades construídas até o momento, continua em produção ainda hoje. O design da aeronave foi desenvolvido em 1989 na União Soviética pelo engenheiro aeronáutico Mikjail Mill, e atualmente tem uma demanda de produção mundial muito alta, operando em mais de 50 países, entre eles Colômbia, é por isso o motor Klimov TV3-117 se converte em um dos maiores em termos de quantidade.

3.1.1 Evolução dos motores turboshaft

Os motores turboshaft são um tipo de turbina a gás que produzem uma força de impulso por meio de potência de eixo, ao invés dos

motores a jato. Neles pode-se diferenciar entre dois conjuntos principais de peças: a seção da turbina conduzida pelo eixo primário (compressor, câmara de combustão e um ou mais estágios de turbina) e a seção de potência conduzida pelo eixo secundário (estágios adicionais de turbina, um sistema de redução de marchas e o eixo de saída). Deste modo, a primeira seção eleva a temperatura do gás que se expande e aciona a segunda. (KLIMOV S.A, 2015b)

Para entender como foi alcançado o design atual dos motores turboshaft, é interessante remontar-se às suas origens, que nem sempre foi no âmbito aeronáutico. Se tem registro de que nos começos da turbina a gás, esta foi desenvolvida para a propulsão de veículos blindados de combate. Os motores GT 101 (baseados no BMW 003), que foram as primeiras turbinas de gás para esta aplicação, foram testados nos tanques da Alemanha nazista em meados de 1944 (KAY ANTONY, 2002).

Os primeiros motores turboshaft eram adaptações dos motores turboprop, fornecendo energia na hélice através de um eixo acionado diretamente pelo gerador de gás, por meio de uma caixa de redução. Eles diferiam dos anteriores pelo fato do empuxo a jato residual dos turboprop ser evitado nos turboshaft, pela expansão adicional do ar na turbina, ou girando o escape em 180 graus para produzir dois jatos opostos (como mostrado na figura 3.1 abaixo).

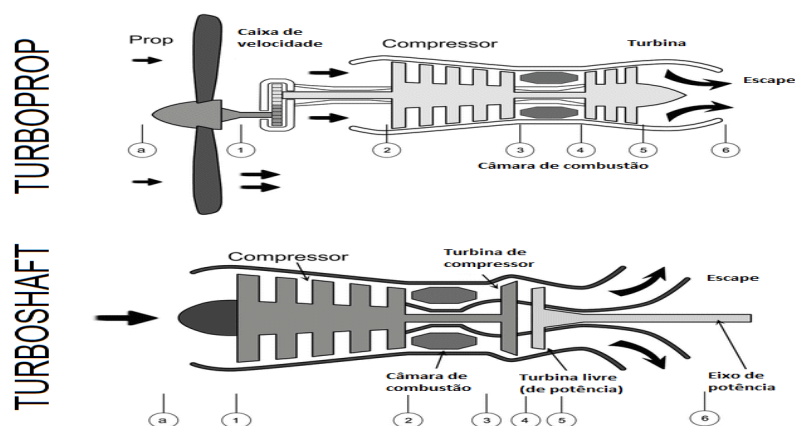


Figura 3.1 – Comparativo dos componentes dos motores turboprop e turboshaft

Fonte: EL-SAYED (2016)

Seguidamente, a figura 3.2 mostra a evolução dos diferentes modelos de motores turboshaft quanto á relação peso-potência deles.

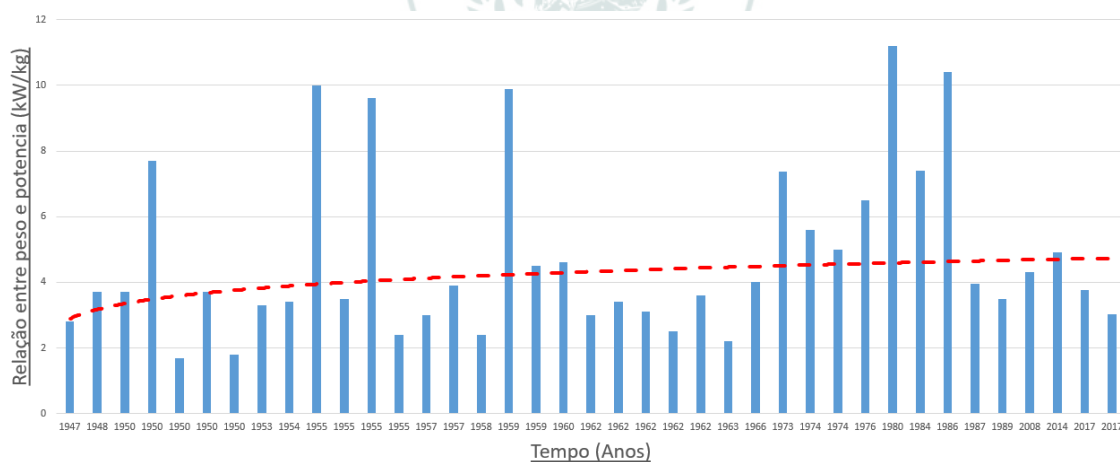


Figura 3.2 – Relação peso-potência versus o ano de fabricação.

Fonte: O Autor (2019)

A relação peso-potência ou potência mássica é um cálculo muito utilizado na comparação de motores, uma vez que é um indicador qualitativo simples e claro do rendimento dos mesmos. Após a análise do progresso desta variável com o passar dos anos, é observada uma tendência crescente para o referido rendimento dos motores desde a

década de quarenta até hoje.

Nos inícios do desenvolvimento dos motores turboshaft, estes tinham menor eficiência em termos de relação entre potência e consumo. Devido às limitações tecnológicas da época os primeiros motores tinham grandes dimensões e eram conseqüentemente pesados, restringindo-se assim o alcance da aeronave onde o motor for instalado. Contudo, através dos avanços científicos motivados principalmente pelas guerras do século XX, houve um aumento na relação de potência mássica desde o ano 1947 até o ano 2014, como pode ser percebido na figura 3.2. Por sua vez, é destacável um aumento muito alto nesta relação entre os anos 1970 e 1986.

Deste aumento progressivo, entende-se que a indústria estava percebendo que era preciso reduzir o peso dos motores para obter melhor rendimento, e por esse motivo o foco foi mudado para fazer novos motores mais leves e com um desempenho maior.

Quanto á evolução dos tamanhos dos motores turboshaft, a figura 3.3 apresenta o peso e as dimensões deles através do tempo. O gráfico revela que o maior avanço foi na redução das dimensões dos motores, o qual signífico um 65% menos do comprimento médio nos motores atuais sobre os primeiros modelos de turboshaft da década de quarenta; e no caso do peso a redução foi de um 56%. O anterior foi possível graças á implementação dos materiais compósitos, somado ás novas

tecnologias na parte da eletrônica.

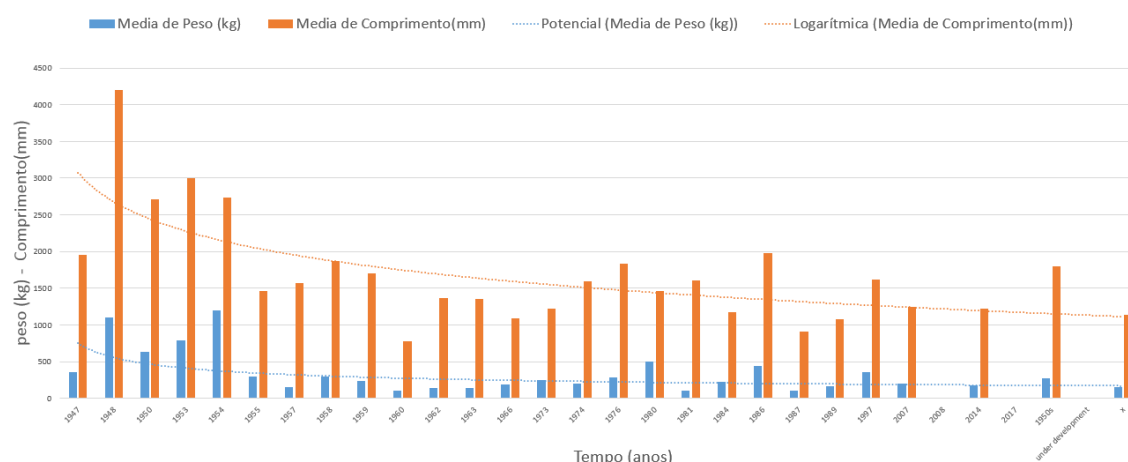


Figura 3.3 – Peso e comprimento médio de motores turboshaft segundo o ano de fabricação.

Fonte: O Autor (2019)

Hoje em dia, o uso mais frequente deste tipo de motores é no âmbito da indústria civil, onde o desenvolvimento de métodos e tecnologias para a redução de custos de projeto, fabricação e manutenção representa um fator de peso. Alguns dos abordagens propostos pelas pesquisas atuais são as melhoras em compressores, ter menores perdas intersticiais de ar, bem como reduzir o peso conforme se foi possível analisar nesta seção.

3.2 Motores Klimov TV3-117

Entre os motores do tipo turboshaft, que são objeto deste trabalho, os de maior interesse são os pertencentes à família Klimov TV3-117. Fabricado pelo construtor aeronáutico russo Klimov, este motor foi desenvolvido em 1972 para uso em helicópteros e aviões. Segundo a

LOM PRAHA, uma das empresas líderes na prestação de serviços de MRO para helicópteros, os motores turboshaft TV3-117 em todas suas versões pertencem às unidades de propulsão de uso mais generalizado mundialmente (LOM-PRAHA, 2019). Aliás desde sua criação, mais de 25 000 unidades foram construídas e ainda hoje continua sendo fabricado (KLIMOV, 2019). Este motor turboshaft é usado, entre outros, no Mil Mi-8, que é, por sua vez, o helicóptero mais produzido do mundo (PLANT, 2019) e sobre o qual falaremos a seguir na seção 3.3.

Abaixo seguem algumas das características que foram encontrados em (KLIMOV S.A, 2015b) da configuração deste motor, estas são relevantes para a concepção do equipamento de apoio do solo.

3.2.1 Generalidades

A unidade propulsora dos helicópteros Mi-8 é composta por dois motores TV3-117VM e outros sistemas auxiliares adicionais. O controle dos motores é realizado por meio de um sistema de controle unificado que permite manter as rotações por minuto necessárias no rotor principal, tanto manual como automaticamente .

3.2.2 Especificações (TV3-117VM)

- Tipo de motor: turboshaft, com turbina livre
- Sentido de rotação: esquerda

- Rotação da turbina livre: 15 000 rpm (100 %)
- Potência do eixo de saída: 2000 cv (velocidade de decolagem)
- Peso seco: 293 kg
- Comprimento (com acessórios e bocal de exaustão): 2055 mm
- Largura: 650 mm

3.2.3 Sistema de fixação do motor á aeronave

Os dois motores TV3-117VM são montados no painel do teto da fuselagem, de modo que seus eixos e a linha de referência longitudinal do helicóptero formem um ângulo de $4^{\circ} 30'$.

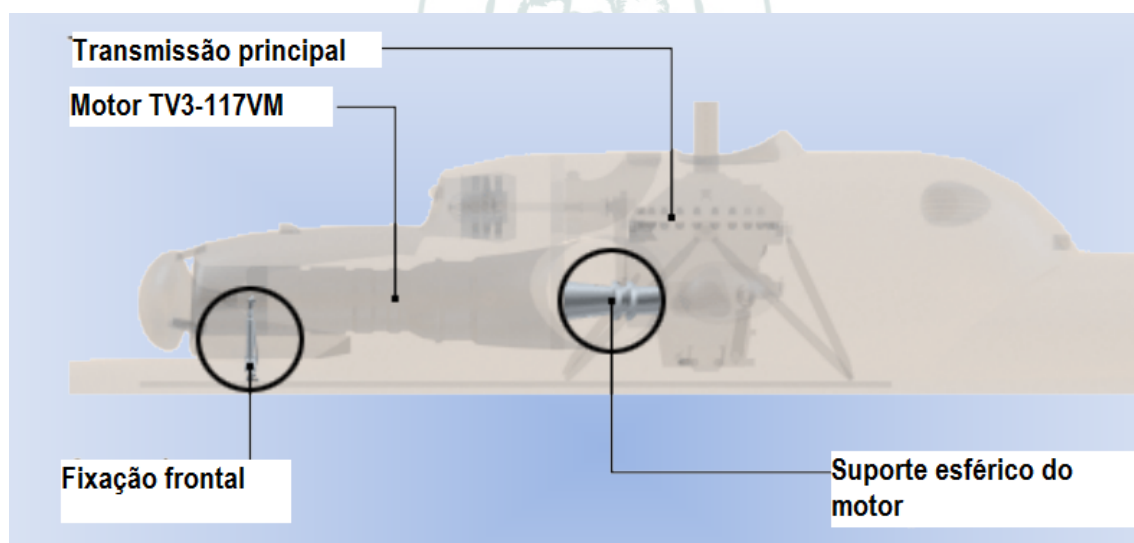


Figura 3.4 – Posicionamento dos motores TV3-117VM na aeronave.

Fonte: KLIMOV S.A (2015b)

Cada motor é fixado à fuselagem por meio de dois sistemas de suporte: o frontal e o traseiro esférico. O sistema frontal é formado por duas barras verticais longas e duas curtas. Ele é usado para impedir o deslocamento do motor nas direções vertical e transversal, além de excluir a rotação do motor em relação ao seu eixo. O sistema esférico

traseiro evita o deslocamento do motor e permite o movimento rotativo em relação a todos os eixos.

Fixação frontal

Com este modo de fixação, as forças axiais são suportadas apenas pelo suporte traseiro e pelo movimento rotativo - somente pelas colunas curtas e longas.

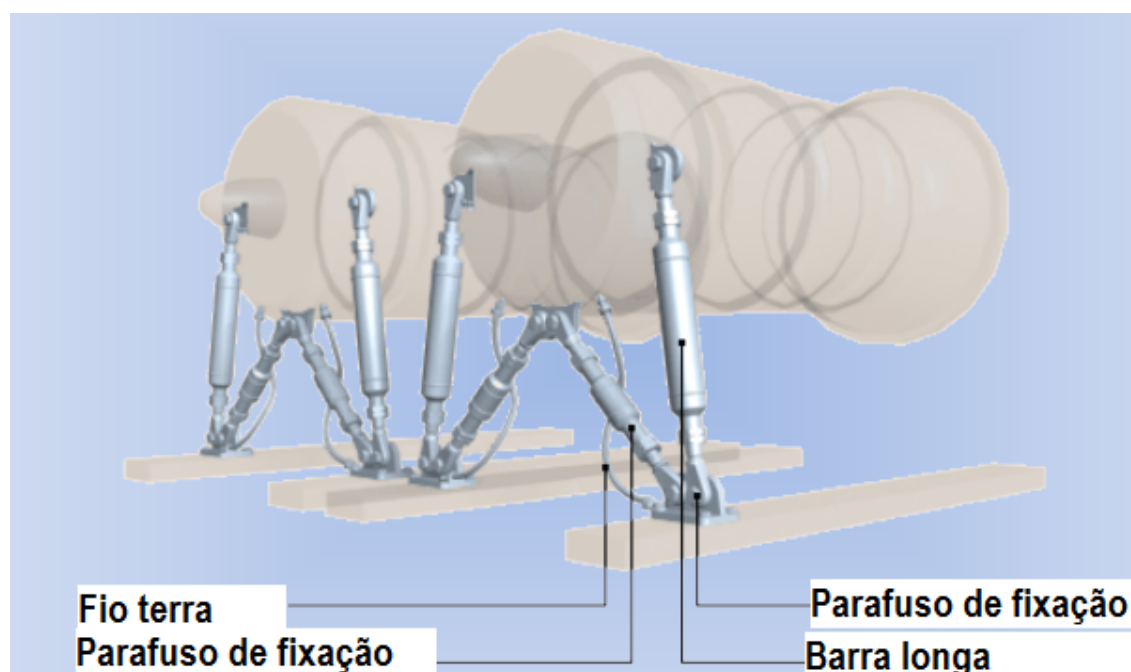


Figura 3.5 – Fixação frontal do motor TV3-117VM.

Fonte: KLIMOV S.A (2015b)

As outras forças são transmitidas para as barras verticais da frente e para o suporte traseiro, proporcionalmente à distância do centro de gravidade do motor. O alinhamento do motor com a transmissão principal é realizado no processo de montagem, variando o comprimento das barras verticais, girando os tensionadores, sem remover as barras verticais do motor ou os suportes do teto.

Fixação da esfera traseira

O motor está ligado à transmissão principal por meio da bucha esférica acoplada ao parafusos no corpo da transmissão principal. O corpo do motor através de um uma tampa esférica está presa a esta bucha. Para remover o motor da transmissão principal, isso está sujeito a suporte adicional, que é um dispositivo especial instalado para os suportes de teto da seção central da fuselagem.

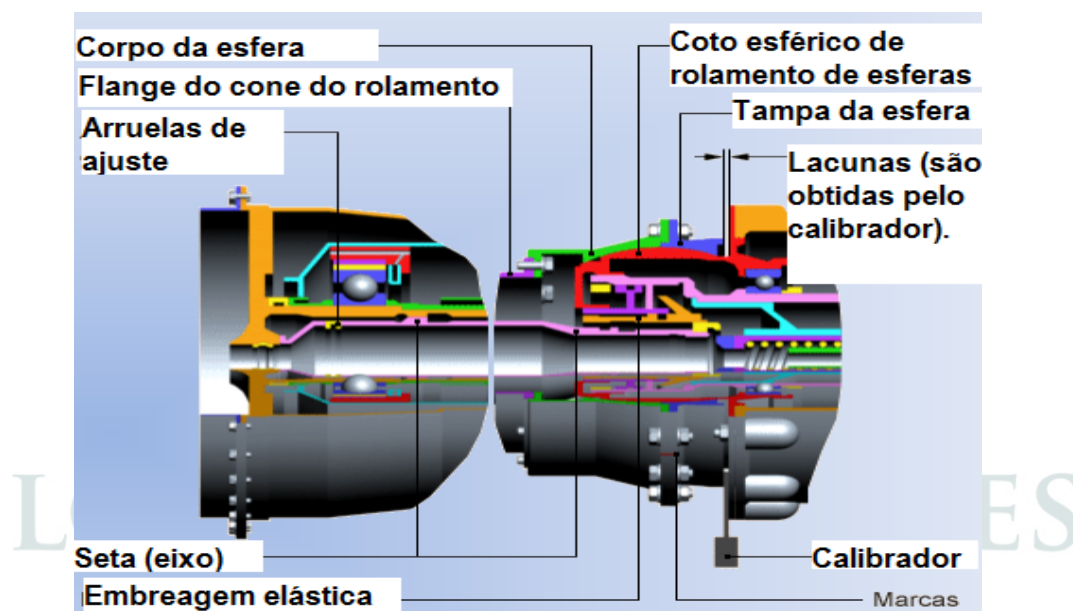


Figura 3.6 – Fixação traseira do motor TV3-117VM.

Fonte: KLIMOV S.A (2015b)

Para a instalação correta do motor é necessário ajustar seu eixo longitudinal e alinhar com a transmissão principal.

3.3 Helicópteros Mil Mi-8

Ele tem um rotor principal de 5 lâminas e dois motores TVE-3-117VM (KLIMOV S.A, 2015a), e é classificado como um dos helicópteros mais

pesados já construídos. Tem uma capacidade para transportar até 24 passageiros em uma configuração básica, além de um transporte de carga interna de até 3.000 kg, em gancho para carga externa até 4.000 kg com cargas de dimensões até 23 metros cúbicos, características que o tornam ideal para operações sísmicas, construção de torres elétricas, pontes e equipamentos de perfuração e manutenção para operações de petróleo e gás (MIL MOSCOW HELICOPTER PLANT WEBSITE, 2013).

Cargas de grande volume podem ser inseridas pela porta traseira da aeronave. Pode ser configurado para operações de evacuação médica com até 12 macas. Tem capacidade para realizar operações de resgate com o uso do guindaste de resgate, que pode ser elevado até 250 kg para alcançar áreas de difícil acesso e / ou onde não é possível pousar, tornando o helicóptero a opção ideal para operações humanitárias e desastres naturais. É assim que este helicóptero se tornou em uma das grandes opções de uso na Colômbia, devido à sua versatilidade e grande facilidade em apoiar os constantes confrontos e guerras que ocorrem no território colombiano, e conseqüentemente, foi por isso que neste projeto a escolha do motor Klimov TV3-117 foi realizada.



Figura 3.7 – Mil Mi-8.

Fonte: AviaStar (2009)

3.3.1 Características gerais

As informações abaixo são encontradas em (RUSSIAN HELICOPTERS, 2017).

Cabine

- Comprimento: 5 340 mm
- Largura: 2 340 mm
- Altura: 1 800 mm
- Volume: 27 m³

Capacidade

- Tripulação: 3
- Passageiros (número de assentos): até 26

Propriedades técnicas

- Fabricante: ULAN UDE - Fábrica de helicópteros - Rússia
- Velocidade máxima: 250 km / h
- Velocidade de cruzeiro: 230 km / h
- Alcance máximo com tanques embutidos: 610 km
- Teto máximo: 6000 m
- Teto estático fora do efeito solo: 1760 m

Peso

- Peso máximo de decolagem: 13 000 kg
- Com carga suspensa: 13 000 kg
- Carga útil máxima pendurada: 4000 kg
- Carga útil máxima dentro da cabine: 4000 kg
- Motores: 2 3-117
- Poder de decolagem: 2 x 2000 cv
- Poder de contingência: 2 x 2200 .c

3.4 Manutenção dos motores turboshaft

3.4.1 Processo de reparação e overhaul

O fluxograma abaixo apresenta o processo geral de reparo seguido pela empresa Lom Praha, uma das Oficinas Aeronáuticas de Reparo que oferecem o serviço de overhaul dos motores TV3-117 (LOM-PRAHA, 2019).

REPARO E OVERHAUL

ejbejaranos | November 18, 2019

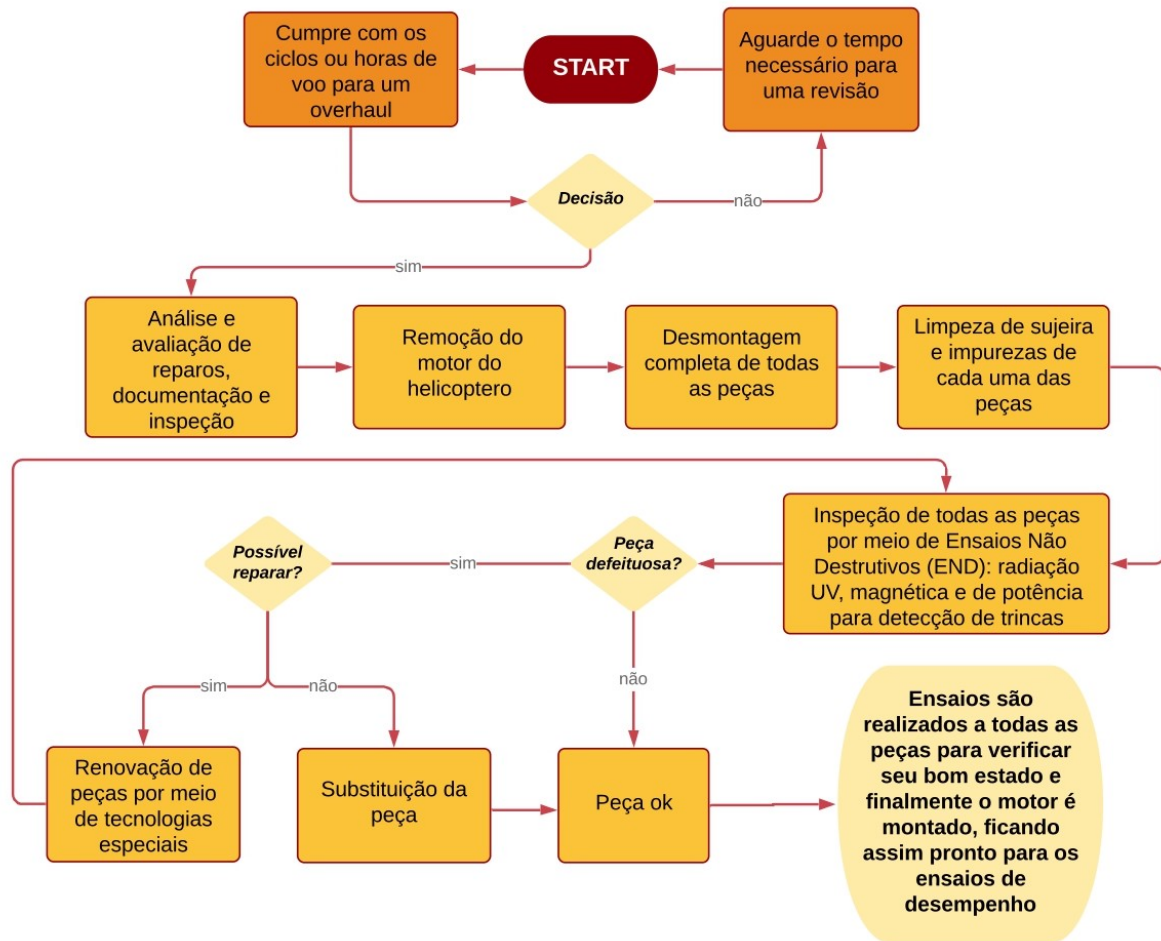


Figura 3.8 – Fluxograma do processo geral de overhaul para um motor turboshaft.

Fonte: O Autor (2019).

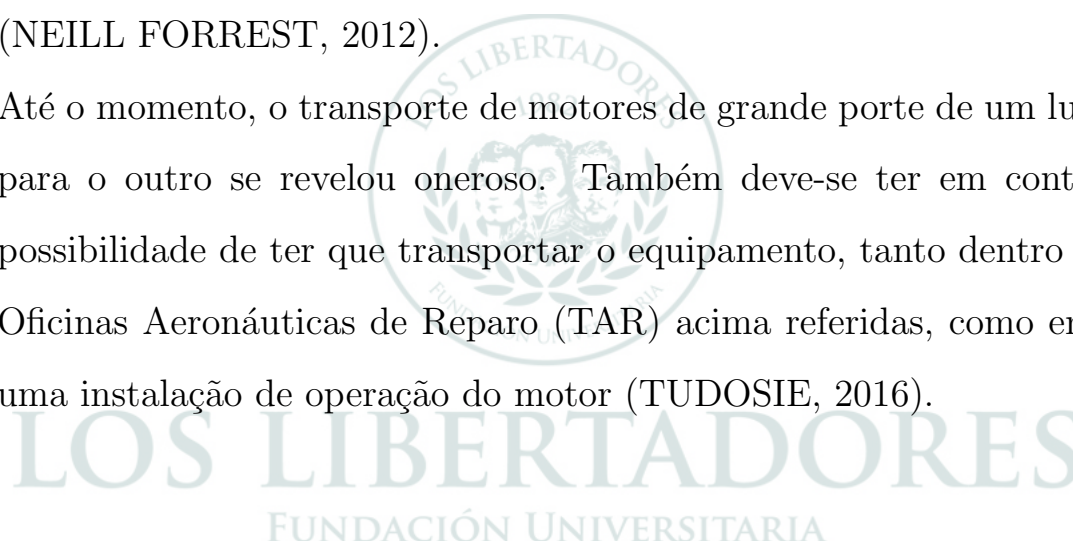
Como se tem bem entendido os motores precisam do processo de manutenção 3.8, como parte fundamental para manter seu contínuo funcionamento, e é assim como ela desempenha um papel fundamental. Neste processo o custo mensal oscila entre \$6.500.00 e \$8.400.000 e \$2.200.000 o custo a hora de vôo para helicópteros leves, e em helicópteros pesados a manutenção e de \$11.400.000 e a hora de vôo \$4.500.000 (OSCAR & OLARIAGA, 2016). Consequentemente se uma empresa como é Vertical soma as despesas pela manutenção para todas as aeronaves, o resultado vai ser uma quantia significativa, com

o que se tem em consideração realizar ações para diminuir o custo.

3.4.2 Equipes de apoio como ferramentas na manutenção

Quando se trata de descer o motor da aeronave para realizar a inspeção e manutenção deste, a montagem no piso do suporte para o mesmo é a escolha óbvia para acomodar, alinhar e equilibrar o peso do turboshaft. Este equipamento de manuseio do mecanismo deve ser o mais discreto possível a fim de não obstaculizar as operações (NEILL FORREST, 2012).

Até o momento, o transporte de motores de grande porte de um lugar para o outro se revelou oneroso. Também deve-se ter em conta a possibilidade de ter que transportar o equipamento, tanto dentro das Oficinas Aeronáuticas de Reparo (TAR) acima referidas, como entre uma instalação de operação do motor (TUDOSIE, 2016).



Capítulo 4

Metodologia

Para este projeto foi importante estabelecer desde sua origem que tratava-se de uma pesquisa aplicada e conforme dito por (Vargas, 2009), estas se fundamentam em identificar as necessidades próprias de um setor, seja social ou produtivo, que podem ser convertidas em soluções. Para o caso deste trabalho, propôs-se uma solução inovadora para uma necessidade que encontramos nos centros de MRO (Maintenance, Repair and Overhaul), como é o *Centro de Mantenimiento y Reparación de Helicópteros Rusos* (divisão integrante da empresa Vertical), do qual surgiu a ideia para este novo produto.

Nesta oficina foi percebida uma problemática com respeito á manutenção dos motores turboshaft utilizados nos seus helicópteros uma vez que com as atuais equipes de apoio, o processo de overhaul para estes motores de grande porte torna-se difícil para os técnicos, tanto como dispendioso em termos de tempo de operação. Por conseguinte, a necessidade de obter um produto capaz de melhorar esse tipo de

processos e, ao mesmo tempo, melhorar a qualidade de vida e o trabalho das pessoas envolvidas, foi evidente.

Em virtude disso, o grau de generalização desta pesquisa foi classificado como uma da ação, pois centra-se em fazer mudanças na realidade estudada e não em fazer uma profunda ênfase teórica. Trata-se portanto, de combinar pesquisa e prática com base em todos o conhecimentos adquiridos no curso de graduação, através do design de um novo produtos em etapa conceitual para a indústria aeronáutica.

As diferentes etapas a serem seguidas neste projeto são as seguintes: primeiramente, são definidos os requisitos a cumprir pelo design; logo a seguir, é feita uma análise dos motores aos que este produto poderia ser aplicado e a evolução dos mesmos nos últimos 50 anos, com respeito as dimensões, peso e potencia; depois, foi projetada a equipe de apoio do motor como ferramenta para a manutenção atendendo aos requisitos básicos; a partir daí, o processo consistiu em transformar as informações de condições, necessidades e requisitos detalhados em uma projeção no software de desenho assistido por computador e finalmente simular os testes de validação estrutural.

Capítulo 5

Design e Materiais

5.1 Definição das necessidades e requisitos

O primeiro passo para a realização de um suporte no solo para os motores Turboshift Klimov TV3-117, é conhecer as necessidades e os requisitos básicos do projeto, bem como suas dimensões, peso e pontos de ancoragem necessários para manter o motor segurado, assim, com isso estabelecido, a ideia foi projetada.

Necessidades

- **NE.1:** Como pode ser visto na figura 5.1 o motor Klimov TV3-117, está sujeito a um suporte fixo, que apresenta limitações em relação aos graus de liberdade ou movimento com os quais pode ter, por isso, uma parte fundamental do nosso design é aumentar seu movimento de maneira fácil e simples.

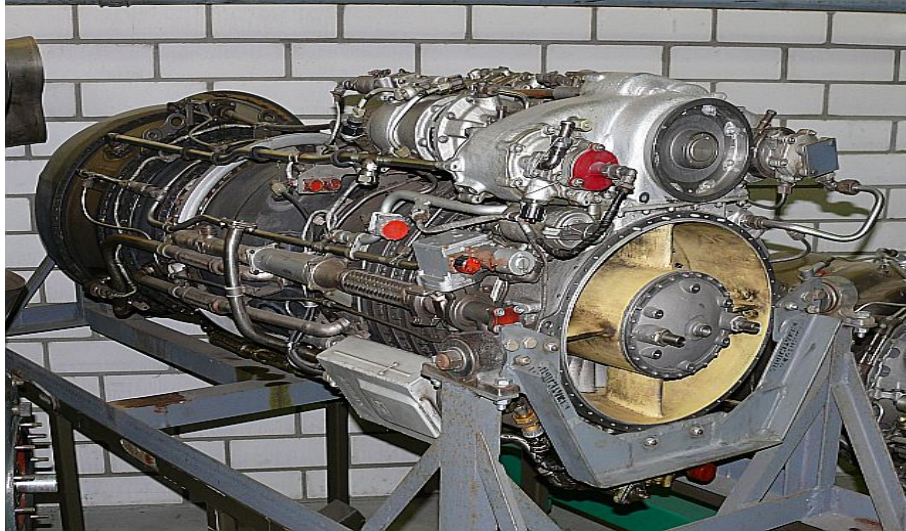


Figura 5.1 – Klimow TW-3-117, eigenes Bild.

Fonte: Taylor, Michael J. H. Brassey's World Aircraft (1999/2000).

- **NE.2:** É necessário reduzir o tempo e as despesas que isso representa, no processo de manutenção dos motores Turboshaft, com o qual é importante projetar algum produto aeronáutico que satisfaça o acima exposto.
- **NE.3:** Projetar um suporte de apoio no solo para um motor Klimov TV3-117, onde ele seja estruturalmente forte e com capacidade de suportar o peso estático de um motor, bem como os ciclos de montagem e desmontagem no mesmo.

Requisitos

- **RE.1:** O suporte deve evitar uma falha estrutural, de modo que as cargas que a estrutura deve suportar sejam maiores do que as cargas às quais será submetida quando o suporte estiver em operação; consequentemente, a resistência real de uma estrutura deve ser maior que a resistência necessária.

- **RE.2:** O suporte deve resistir um peso de pelo menos 440 (kg) para atender a um fator de segurança de 1,5, já que o motor TV3-117 VM tem um peso de 293 (kg).
- **RE.3:** O suporte deve ter capacidade para acomodar um motor com um alto mínimo de 728 (mm), um comprimento de 2055 (mm) e uma largura de 650 (mm).
- **RE.4:** O suporte deve ter pelo menos 3 guias com seus respectivos pontos de ancoragem.
- **RE.5:** Deve ser fabricado com materiais leves e resistentes a uma alta taxa de operação, assim como não apresenta desgaste por corrosão ou afeta de forma alguma qualquer componente que esteja em contato com o motor.

5.2 Materiais

Um dos fatores mais importantes para obter ótimos resultados no design, é realizar um processo adequado de seleção de materiais. Desta forma, pode-se criar um produto que seja eficiente e ao mesmo tempo, rentável para sua fabricação.

Tipos de materiais no design

O material escolhido para a fabricação das peças é o aço ASTM A36. Trata-se de um aço-carbono de baixa liga e é o aço estrutural mais utilizado, pois combina um preço baixo com valores de resistência

razoáveis para tal utilização.

Para a aplicação no projeto, o aço A36 é notavelmente a escolha certa, pelas propriedades de soldabilidade (é sua adequação para qualquer método de soldagem e as juntas formadas são de excelente qualidade) assim também a maleabilidade, o que o torna um material apelativo a fim de obter geometrias específicas como as descritas acima para as peças do nosso design.

O órgão estadunidense de normalização *ASTM International* estabelece os valores mínimos aceitáveis das propriedades para placas, barras e perfis deste material com espessura de menos de 203 mm, como recolhido na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Valores mínimos das propriedades do aço A36 estabelecidos pela norma ASTM.

Propriedades ASTM A36	
Tensão de escoamento	250 MPa
Tensão máxima de tração	400 MPa
Alongamento na rotura	20%

Fonte: MATWEB (2019)

Além disso, o aço ASTM A36 (AISC, 2017), é fornecido em uma variedade de formatos que cobrem todas as necessidades do protótipo, como são:

- Placas, Lâminas
- Perfis estruturais
- Tubos, Barras
- Platinas

5.3 Procedimento e uso de equipamentos de apoio no solo



Figura 5.2 – Projeção de suporte com o motor do turboshaft

Fonte: O autor (2019)

O suporte tem a função de apoiar o motor de maneira pindurada, por meio da fixação de suportes que estão no suporte do pivô, que por sua vez serão presos por dois cabos de aço que estão presos a ganchos que por sua vez, é fixado a um gancho de elevação; com isso, o motor está disponível para realizar qualquer operação de manutenção; por sua vez, será mobilizado através da oficina de manutenção aeronáutica, por uma polia guiada localizada no teto.

5.4 Modelagem de design do equipo de apoio para motores Klimov TV3-117 usando software assistido

A ideia principal do suporte como é mostrado na figura 5.2 é de que o motor conseguia-se suspender das fixações, e porém, a superfície dele esteja exposto para manutenção.

Por meio de modelagem computacional, e utilizando software CATIA versão V5-6R2014, foi realizada a projeção do protótipo como se mostra na figura 5.3.

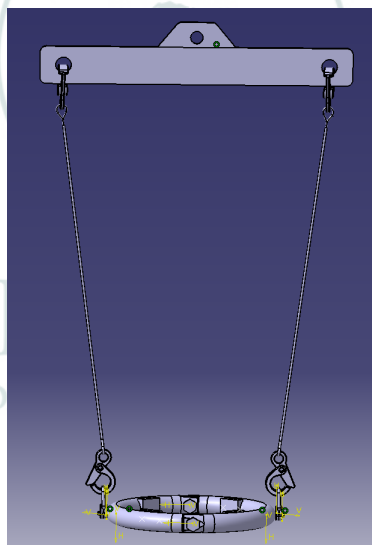


Figura 5.3 – Projeção de suporte do motor do turboshaft - vista frontal

Fonte: Ing.Sebastian Merchan (2019)

O suporte estará pendurado a um gancho de elevação por meio de dois cabos de aço que estarão sujeitas a um suporte de giro, onde existem quatro suportes de fixação que fornecerão o suporte de colagem ao motor.

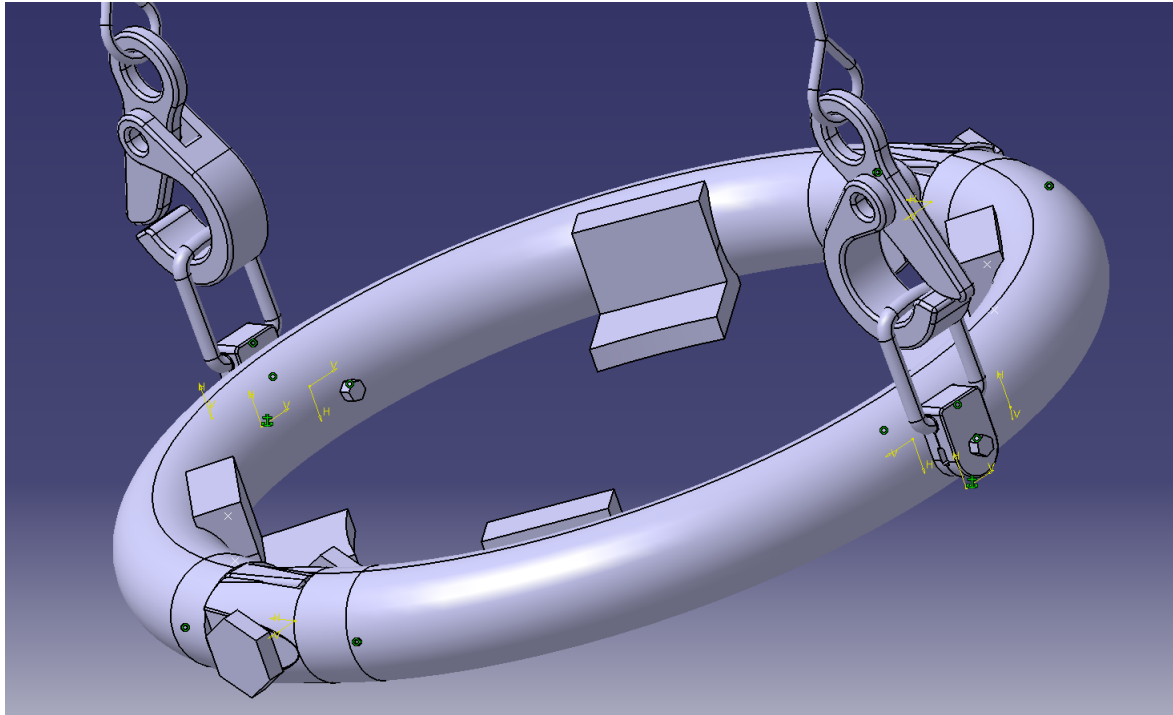


Figura 5.4 – Projeção de suporte de giro pendurado dos cabos de aço.

Fonte: Ing. Sebastian Merchan (2019)

O design tem algumas peças que foram mostradas acima, que compõem quatro partes principais como tais:

- Gancho de elevação
- 4 suportes de fixação
- Acoplamento de equipamento do apoio de terra com o Bloco de polias
- cabos de aço

Capítulo 6

Resultados e discussão

O estudo foi focado nas peças que não se tem certeza da sua segurança estrutural e portanto tem que ser feito um análise para comprovar elas, o anterior foi feito por meio de modelagem computacional, e utilizando software Solidwork versão V5-6R2014.

É importante validar o projeto desde o estágio inicial do processo. Assim, é essencial executar simulações estáticas para ter uma noção de como o design que está sendo criado se comportará, levando em conta os seguintes parâmetros para que os resultados se aproximem o máximo possível da realidade:

- Material
- Condições de contorno
- Malhagem

6.1 Simulações de testes estruturais

Após a realização da projeção do protótipo, são determinadas algumas propriedades volumétricas como é mostrados nas tabelas 6.1, 6.5 e 6.10, assim como também de carga e elementos de fixação 6.2, ?? e 6.11 e o malhado das peças 6.3, 6.7 6.12, que foram de grande importância para o análises estrutural do projeto, estos dados foram extraídos através do análise realizada no solidworks.

6.1.1 Simulação de suporte de rotação

Tabela 6.1 – Propriedades volumétricas.

Propriedades volumétricas	
Massa	5,64708 kg
Volume	0,000773573 m ³
Densidade	7300 kg/m ³
Peso	55,3414 N
Propriedades do material	
Nome	Liga de aço fundido
Tipo de modelo	Isotrópico elástico lineal
Limite elástico	2,41275 e+8 N/m ²
Limite de tração	4,48083 e+8 N/m ²
Módulo elástico	1,9 e+11 N/m ²
Coefficiente de Poisson	0,26
Densidade	7300 kg/m ³
Módulo de cisalhamento	7,8 e+10 N/m ²
Coef. de expansão térmica	1,5 e-5 K ⁻¹

Fonte: O Autor (2019)

Propriedades do estudo

- Tipo de análise: Análise estática
- Tipo de malha: Malha sólida
- Efeito térmico: Ativar
- Opção térmica: Inclui cargas térmicas
- Temperatura de tensão zero: 298 K
- Inclua os efeitos da pressão do fluido no SOLIDWORKS Flow

Cargas e elementos de fixação



Figura 6.1 – Cargas e elementos de fixação do suporte de rotação.

Fonte: Ing. Sebastian Merchan (2019)

Os elementos de fixação no caso do suporte do giro, são determinados como dois, os quais tem como funcionamento proporcionar o espaço necessário como se mostra na figura 6.1 para a ancora e posicionamento do parafuso.

Tabela 6.2 – Propriedades das cargas e elementos de fixação.

Forças resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Módulo
Força de reação (N)	1500,04	3,85303	-0,0731659	1500,05
Momento da reação (N x m)	0	0	0	0
Detalhes de fixação				
Entidades	Tipo			
2 arestas	Geometria fixa			

Fonte: O Autor (2019)

Malha



Figura 6.2 – Malha tipo triangular do suporte de rotação.

Fonte: Ing. Sebastian Merchan (2019)

Nesta peça foi implementado uma malha de tipo Triangulação, assim como mostra na figura 6.2, com o qual a suavização de serrilhado de malha fornece recursos aprimorados para modelar formas de objetos em uma forma mais detalhada, e, como se apresenta na seguinte tabela 6.3, foram algumas das propriedades levadas em consideração do protótipo.

Tabela 6.3 – Propriedades da Malha.

Propriedades da Malha.	
Tipo de malha	Malha sólida
Malha usada	Malha padrão
Pontos Jacobianos	4 Pontos
Tamanho do item	5,88017 mm
Tolerância	0,294008 mm
Número total de nós	55 853
Número total de itens	30 514
% de elementos cuja proporção é menor a 3	97,1
% de elementos cuja razão de aspecto é maior a 10	0,0197

Fonte: O Autor (2019)

Análises estático de tensões e deslocamentos

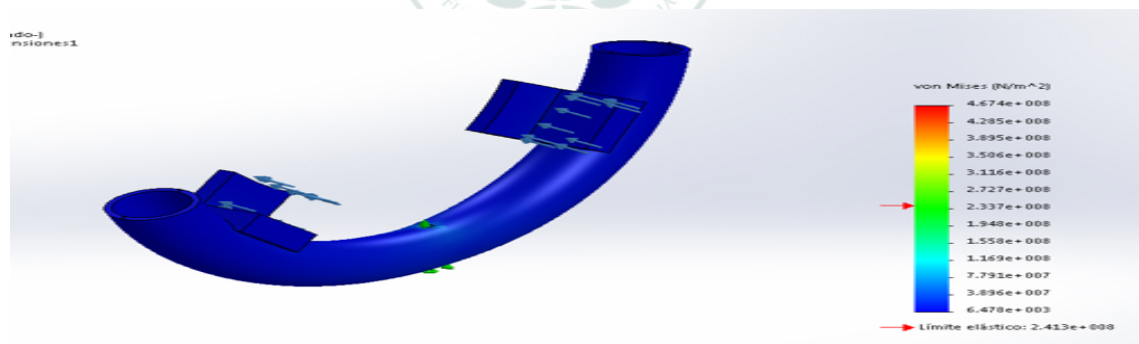


Figura 6.3 – Análise estática do suporte de rotação-tensões.

Fonte: Ing. Sebastian Merchan (2019)

Para o estudo do fator de segurança como se mostra nas figuras 6.3 e 6.4 , será indicado que o modelo é seguro somente se o modelo estiver todo em azul, levando em consideração que essa cor é interpretada como a deformação mínima ocorrida, estando dentro das faixas de deformação e em A outra extremidade é a faixa vermelha que indica uma alta deformação que tende a quebrar o material.

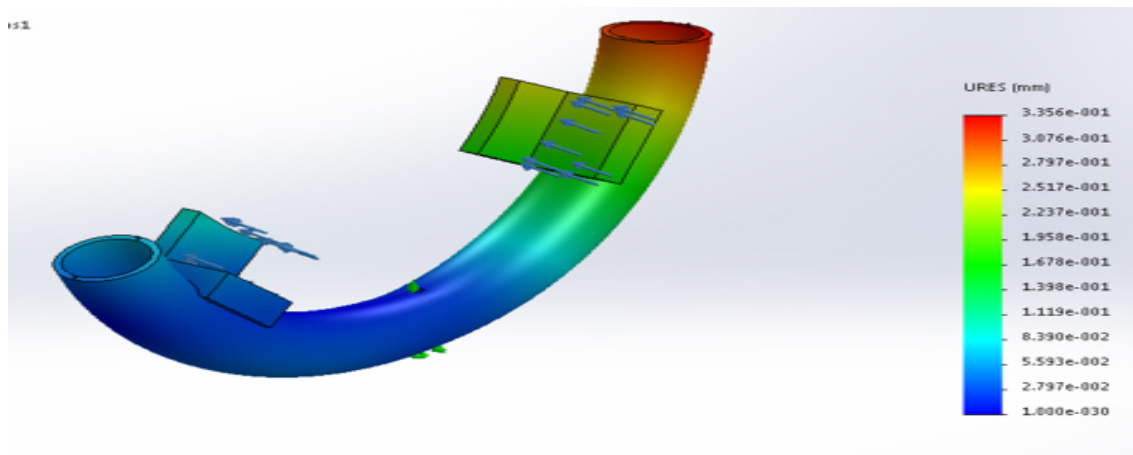


Figura 6.4 – Análise estática do suporte de rotação-deslocamentos.

Fonte: Ing. Sebastian Merchan (2019)

Na tabela 6.4, temos os resultados obtidos no solidwork para os análises de tensões e deslocamentos, os quais mostram uma ótima dispersão de forças, tornando a peça eficiente no aspecto estrutural.

Tabela 6.4 – Análises estático de tensões e deslocamentos.

Forças resultantes				
Forças de reação				
Conjunto de seleções	X	Y	Z	Módulo
Modelo inteiro (N)	1500.04	3.85303	-0.0731659	1500.05
Momentos de reação				
Conjunto de seleções	X	Y	Z	Módulo
Modelo inteiro (N)	0	0	0	0
Tensões				
Mínima		Máxima		
6,478e+3 N/m ² (<i>nó</i> : 28611)		4,674e+8 N/m ² (<i>nó</i> : 51062)		
Deslocamentos				
Mínimo		Máximo		
0,0 mm (<i>nó</i> : 613)		3,356e-1 mm (<i>nó</i> : 28366)		

Fonte: O Autor (2019)

6.1.2 Simulação do suporte de fixação

Tabela 6.5 – Propriedades volumétricas.

Propriedades volumétricas	
Massa	0,689823 kg
Volume	9,44963 e-5 m ³
Densidade	7300 kg/m ³
Peso	6,76027 N
Propriedades do material	
Nome	Liga de aço fundido
Tipo de modelo	Isotrópico elástico lineal
Limite elástico	2,41275 e+8 N/m ²
Limite de tração	4,48083 e+8 N/m ²
Módulo elástico	1,9 e+11 N/m ²
Coefficiente de Poisson	0,26
Densidade	7300 kg/m ³
Módulo de cisalhamento	7,8 e+10 N/m ²
Coef. de expansão térmica	1,5 e-5 K ⁻¹

Fonte: O Autor (2019)

Como se mostra na figura 6.5 o suporte de fixação e uma das peças com maior criticidade, isso devido a que é o intermediário no contato entre a fixação do motor e também o suporte de giro, além disso absorve os movimentos estruturais do suporte com as propriedades de fixação mostradas na tabela 6.6, provenientes da manobra ou peso do motor suspenso, e para que esta peça esteja em posição de resistir ao mencionado e obter resultados ótimos em termos estruturais como se mostra na tabela 6.5 foi aplicado liga de aço fundido.

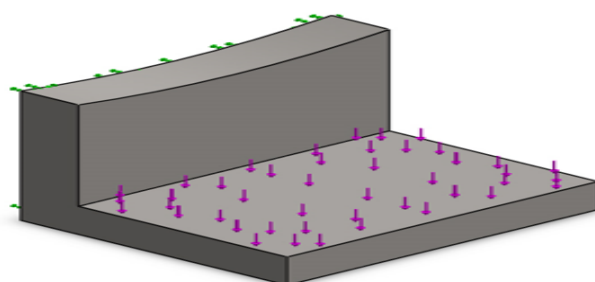


Figura 6.5 – suporte de fixação.

Fonte: Ing. Sebastian Merchan (2019)

Propriedades do estudo

- Tipo de análises: Análises estático
- Tipo de malha: Malha sólida
- Efeito térmico: Ativado
- Opção térmica: Incluiu cargas térmicas
- Temperatura de tensão zero: 298 K
- Inclua os efeitos da pressão do fluido no SOLIDWORKS Flow
- Tipo de solucionador FFEPlus

Cargas e elementos de fixação

Tabela 6.6 – Propriedades das cargas e elementos de fixação.

Forças resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Módulo
Força de reação (N)	0,0351877	750,005	0,00419164	750,005
Momento da reação (N x m)	0	0	0	0
Detalhes de fixação				
Entidades	Tipo		Valor	
Uma cara	Aplicação da força normal		750 N	

Fonte: O Autor (2019)

Malha

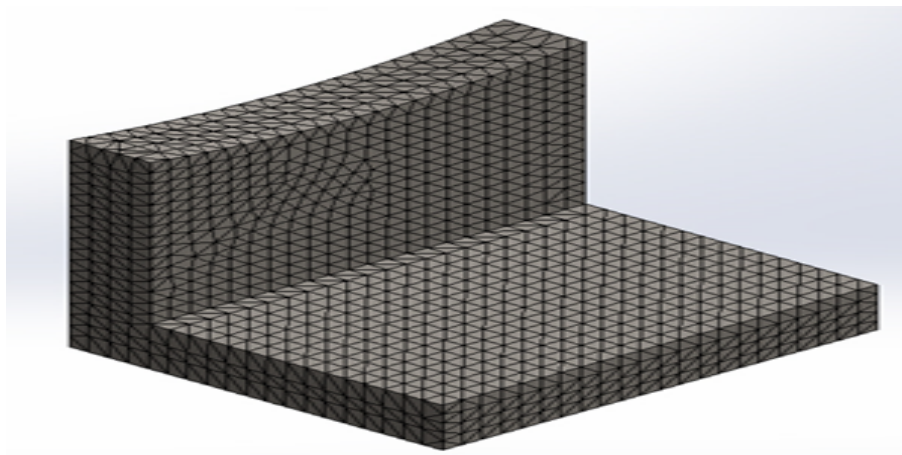


Figura 6.6 – Malha tipo triangular do suporte de fixação.

Fonte: Ing.Sebastian Merchan (2019)

Como se consegue observar na figura 6.6 O malhado do suporte de fixação é triangular, e como apresenta a tabela 6.7 o porcentagem de elementos cuja proporção é menor a 3 e o 100%, o que significa um ótimo tipo de malhado, isso graças pela geometria da peça.

Tabela 6.7 – Propriedades da Malha.

Propriedades da Malha.	
Tipo de malha	Malha sólida
Malha usada	Malha padrão
Pontos Jacobianos	4 Pontos
Tamanho do item	3,18936 mm
Tolerância	0,159468 mm
Número total de nós	29 753
Número total de itens	19 365
% de elementos cuja proporção é menor a 3	100
% de elementos cuja razão de aspecto é maior a 10	0

Fonte: O Autor (2019)

Análises estático de tensões, deslocamentos e deformações.

Tabela 6.8 – Análises estático de tensões.

Forças de reação				
Conjunto de seleções	X	Y	Z	Módulo
Modelo inteiro (N)	0,0351877	750,005	0,00419164	750,005
Momentos de reação				
Conjunto de seleções	X	Y	Z	Módulo
Modelo inteiro (N)	0	0	0	0
Tensões				
Mínima		Máxima		
1,006e+3 N/m ² (nó: 91)		1,460e+7 N/m ² (nó: 29656)		

Fonte: O Autor (2019)

Como e apresentado na tabela 6.8 o resultado do analises de tensão realizado para o suporte de fixação amostra que a força máxima capaz de aceitar antes que sua ruptura é de 1,460e+7 N/m², mas, como pode-se observar na figura 6.7 o suporte demonstra uma ótima dispersão de cargas de tensão através do resto da peça.

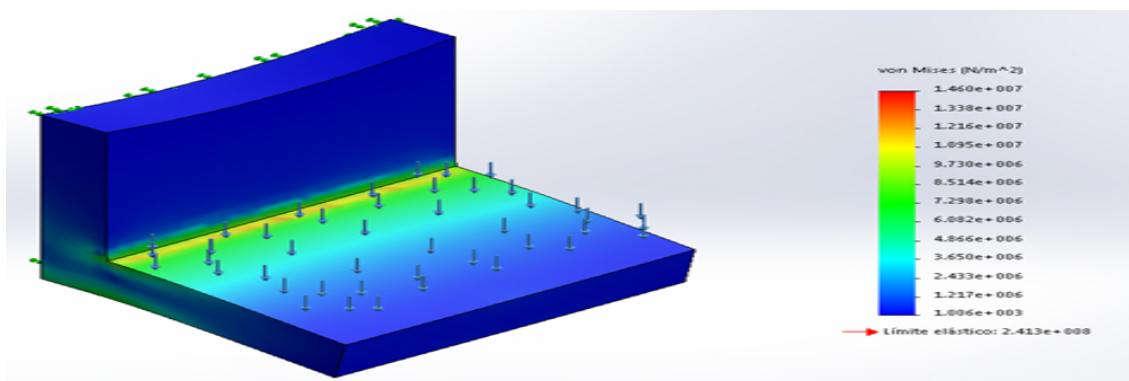


Figura 6.7 – Análise estático do suporte de fixação-tensões.

Fonte: Ing. Sebastian Merchan (2019)

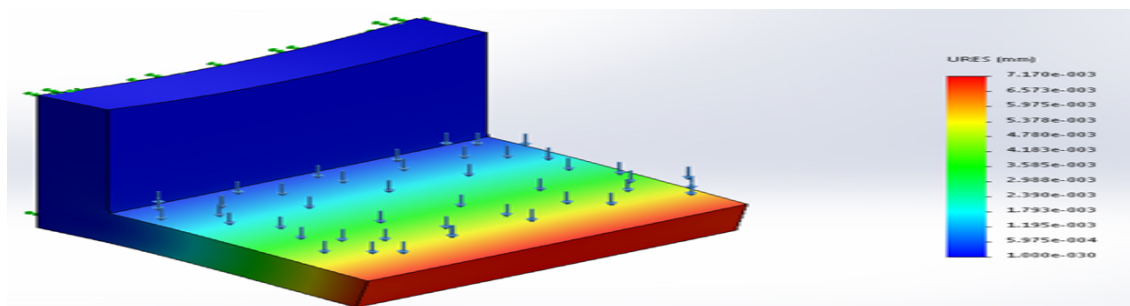


Figura 6.8 – Análise estático do suporte de fixação-deslocamentos.

Fonte: Ing. Sebastian Merchan (2019)

Como amostra a informação da tabela 6.9 e as figuras dos resultados do análises de deslocamentos 6.8 e deformações 6.9, pode-se observar que não representa um esforço significativo para o suporte de fixação, com o qual se estabelece a viabilidade estrutural da peça.

Tabela 6.9 – Análises estático de deslocamentos e deformações.

Deslocamentos	
Mínimo	Máximo
0,0 mm (nó: 844)	7,170e-3 mm (nó: 448)
Deformações	
Mínimo	Máximo
2,696e-9 (nó: 6096)	5,277e-5 (nó: 13527)

Fonte: O Autor (2019)

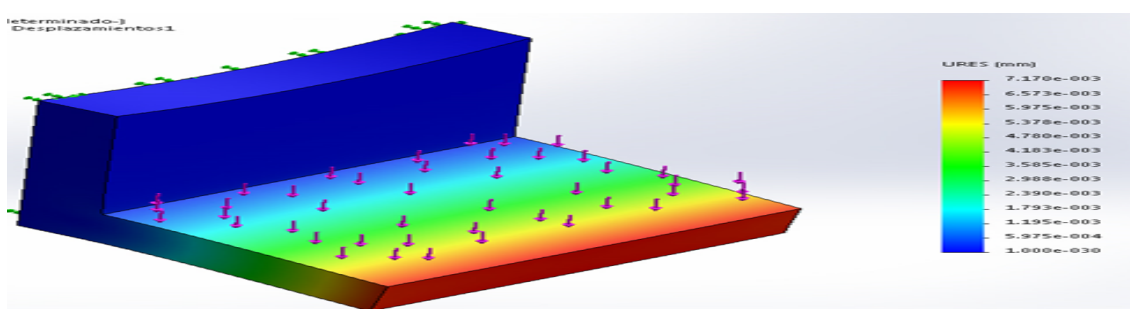


Figura 6.9 – Análise estático do suporte de fixação-deformações.

Fonte: Ing. Sebastian Merchan (2019)

6.1.3 Simulação do parafuso de carregamento

O parafuso de carregamento como e visto na figura 6.10 é uma peça de ancoragem crucial para estruturar o suporte de giro, este foi projetado com aço fundido como se mostra na tabela 6.10.

Tabela 6.10 – Propriedades volumétricas.

Propriedades volumétricas	
Massa	0,0318876 kg
Volume	4,36817e-6 m ³
Densidade	7300 kg/m ³
Peso	0,312499 N
Propriedades do material	
Nome	Liga de aço fundido
Limite elástico	2,41275e+8 N/m ²
Limite de tração	4,48083e+8 N/m ²
Módulo elástico	1,9e+11 N/m ²
Coefficiente de Poisson	0,26
Densidade	7300 kg/m ³
Módulo de cisalhamento	7,8e+010 N/m ²
Coef. de expansão térmica	1,5e-5 K ⁻¹

Fonte: O Autor (2019)

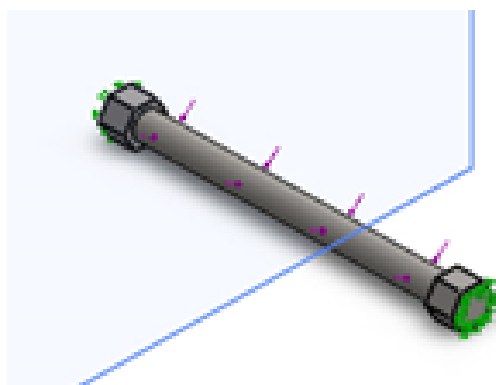


Figura 6.10 – Parafuso de carregamento.

Fonte: Ing. Sebastian Merchan (2019)

Propriedades do estudo

- Tipo de análises: Análises estático
- Tipo de malha: Malha sólida
- Efeito térmico: Ativado
- Opção térmica: Incluiu cargas térmicas
- Temperatura de tensão zero: 298 K
- Inclua os efeitos da pressão do fluido no SOLIDWORKS Flow

Cargas e elementos de fixação

Tabela 6.11 – Propriedades das cargas e elementos de fixação.

Forças resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Módulo
Força de reação (N)	-1,038e-7	-2,608e-7	-6,763e-8	2,88808e-7
Momento da reação (N x m)	0	0	0	0
Detalhes de fixação				
Entidades	Tipo		Valor	
Uma cara	Aplique força normal		1 N	

Fonte: O Autor (2019)

Os elementos fixadores nesta peça tem 1N e só se apresenta numa cara como se mostra na tabela 6.11, e as propriedades da malha como estão na tabela 6.12, é esclarecido que são as mesmas das peças anteriores.

Tabela 6.12 – Propriedades da Malha.

Propriedades da Malha.	
Tipo de malha	Malha sólida
Pontos Jacobianos	4 pontos
Tamanho do item	0,919886 mm
Tolerância	0,0459943 mm
Número total de nós	52 249
Número total de itens	34 466
% de elementos cuja proporção é menor a 3	99,8

Fonte: O Autor (2019)

Análises estático de tensões, deslocamentos e deformações.

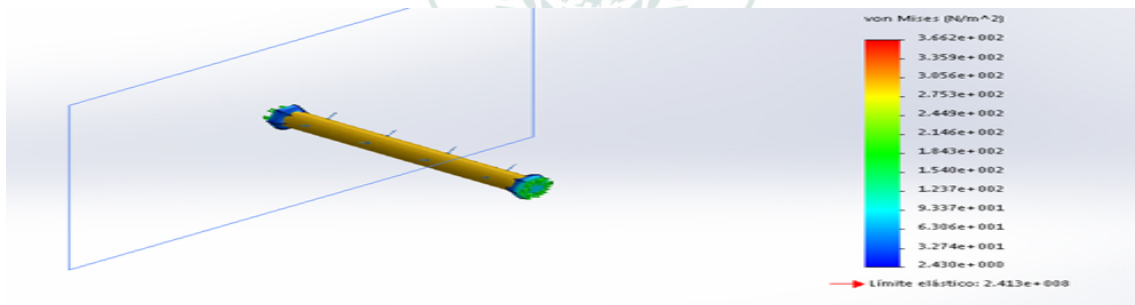


Figura 6.11 – Análise estática do parafuso de carga-tensões.

Fonte: Ing.Sebastian Merchan (2019)

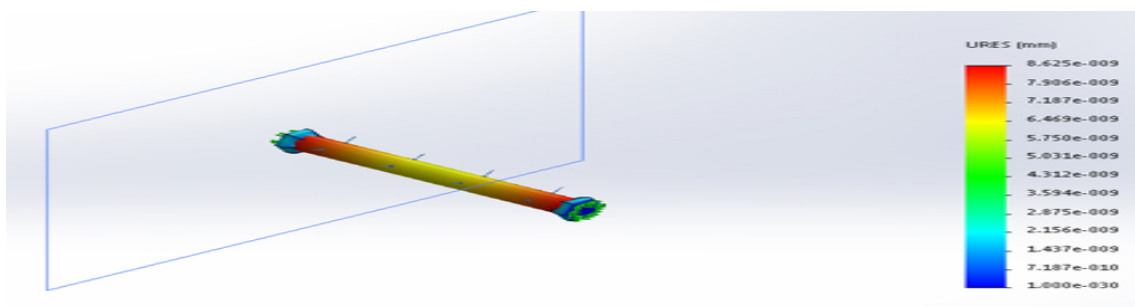


Figura 6.12 – Análise estática do parafuso de carga-deslocamentos.

Fonte: Ing.Sebastian Merchan (2019)

Nas figuras 6.11, 6.12, 6.13 e na tabela 6.12, são amostrados os análises de tensões e deslocamentos no parafuso de carregamento, e conseguisse-se observa uma concentração de forças nos extremos do parafuso, mas, a mesma projeção consegue realizar uma boa dispersão de cargas.

Tabela 6.13 – Análises estático de tensões, deslocamentos e deformações.

Forças de reação				
Conjunto de seleções	X	Y	Z	Módulo
Modelo inteiro (N)	-1,03842e-7	-2,60869e-7	-6,76341e-8	2,88808e-7
Momentos de reação				
Conjunto de seleções	X	Y	Z	Módulo
Modelo inteiro (N)	0	0	0	0
Tensões				
Mínima		Máxima		
2,430 N/m²(nó : 2710)		3,662e+2 N/m² (nó: 3935)		
Deslocamentos				
Mínimo		Máximo		
0,0 mm (nó: 844)		7,170e-3 mm (nó: 448)		
Deformações				
Mínimo		Máximo		
2,696e-9 (nó: 6096)		5,277e-5 (nó: 13527)		

Fonte: O Autor (2019)

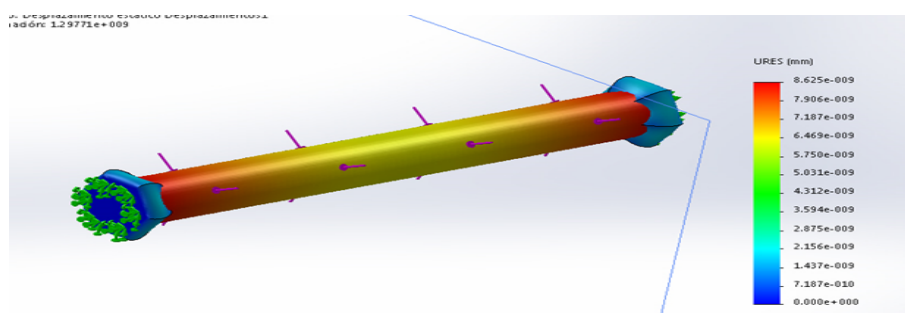


Figura 6.13 – Análise estática do parafuso de carga-deformações.

Fonte: Ing. Sebastian Merchan (2019)

6.2 Viabilidade técnica e estrutural do suporte

O estudo de viabilidade é analisar a boa factibilidade de um projeto sobre o problema detectado, com o qual é esta a parte mais importante que o planejamento, e para poder concluí-lo, é essencial realizar uma pesquisa completa do design já feita nos capítulos anteriores, com o que leva ao conhecimento deste projeto assim como suas limitações, e assim concluir se trará os benefícios esperados. Neste projeto ao fazê-lo, pretende-se reduzir o tempo de inatividade dos motores e consequentemente reduzir o custo dos processos.

Por meio de simulações em computador usando o software para projeto auxiliado por computador (CAD), é realizada a análise estrutural do equipamento de apoio no solo para manuseio e rotação de motores de eixo turbo. Cargas estruturais são simuladas no software Solid Works .

Para isso, se tem que seguir a interface, que consiste em atribuir o material correspondente, e elementos de fixação como também nas conexões relevantes que deve levar o modelo e, finalmente, a atribuição de forças externas, que seguem as línhas que são elas mesmas as que recebem diretamente o peso dos motores.

Apos, prosseguimos com a análise e obtemos os resultados que avaliam a eficiência do modelo e a conformidade com os requisitos, que são examinados por análise de deformação e deslocamentos.

Dessa maneira, o protótipo projetado é eficiente e resistente a tensões e forças das forças aplicadas (peso médio do motor), esse processo foi mostrado na subcapítulo Simulação de suporte de rotação.

6.3 Delimitar o âmbito de aplicação e limitações do suporte

Neste projeto o âmbito de aplicação vai ser para oficinas aeronáuticas que realizam processos de manutenção em motores Klimov TV3-117, onde, com a ajuda desse suporte, eles conseguem otimizar esse processo em até 35%, devido à facilidade de uso e conforto ao manusear o motor, uma das limitações apresentadas pelo projeto é que, embora sua viabilidade estrutural seja ótima para a grande maioria dos motores turboshaft, o design foi realizado com as especificações de requisitos em dimensões exclusivas para o Klimov; portanto, caso se deseje usar em geral, tem que ser feito um redimensionamento do protótipo.

Capítulo 7

Conclusões e trabalhos futuros

7.1 Conclusões



Relembrando que o objetivo principal que concebe-se como meta no capítulo 2 era reduzir o tempo de manutenção preventiva e corretiva dos motores turboshaft, por meio deste equipamento de apoio (que podemos apelidar também de bancada de elevação para motores), a complexidade nos processos de manuseio é minimizada, pois ao fornecer um engate vertical suspenso com mais graus de liberdade, os operadores e técnicos têm uma maneira mais confortável e eficiente de realizar os respectivos trabalhos, sejam inspeções, arranjos, mudanças de peças necessárias, etc. Em termos quantitativos, graças á implementação desse protótipo nas operações de manutenção nos motores Klimov, onde, de acordo com uma entrevista com o engenheiro Rosas quem labora na empresa "Vertical", afirmo com alguns documentos de cobrança das projeções de manutenção, nas quais cerca de 100 horas trabalho-homem seriam economizadas no overhaul de cada unidade, já que em vez

de precisar quatro técnicos especializados e dois inspetores, o pessoal necessário seria reduzido a um especialista e um inspetor para este mesmo processo. Desta forma, estima-se uma redução no tempo de até 33.3% em relação a uma equipe de apoio no solo convencional.

Deve-se esclarecer também que o levantamento desses motores, bem como sua suspensão e manuseio nesta posição sugerida pela bancada (vertical), além de atender todos os requisitos técnicos e de design estabelecidos na seção 5.1, não interfere de modo algum com os fluidos nos dutos e não terá efeitos negativos por essa parte.

Foi desenvolvido um protótipo conceitual do suporte no software de design atendendo aos requisitos especificados no capítulo 5.1, os quais são de suportar as cargas e oferecer um fator de segurança maior ao 1.5 para o motor TV3-117 VM o qual tem um peso de 293 kg.

Concluiu-se que a viabilidade estrutural do projeto conceitual é ótima devido a que os resultados de testes em algumas das peças foram resultados obtidos de tensões, deformações e deslocamentos de cor azul o qual representa fatores de segurança altos, e mostra uma confiabilidade alta nas peças.

7.2 Trabalhos futuros

Este trabalho é apresentado como suporte para possíveis trabalhos futuros, onde projetos de suporte detalhados podem ser desenvolvidos, bem como o design de implementação e produção de manuais. Por

sua vez, é deixado como exemplo para idéias futuras de criação e conceituação de produtos utilizados no ambiente aeronáutico.



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Capítulo 8

Anexos

Como se mostra na figura 8.1 o cabo de aço é um tipo de corda feita de vários arames de aço enrolados em forma de hélice, A flexibilidade do cabo de aço faz com que ele se torne peça essencial para a funcionalidade de guindates e elevadores, assim como seu uso em gruas, e principalmente em sistemas de elevação de cargas.

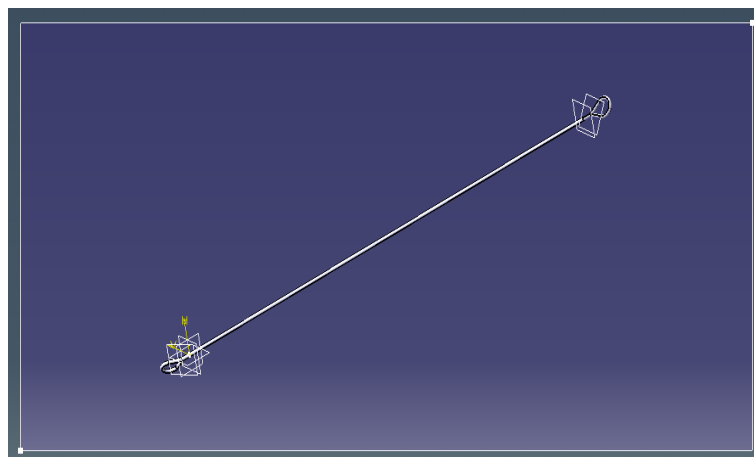


Figura 8.1 – Cabo de aço.

Fonte: Ing. Sebastian Merchan (2019)

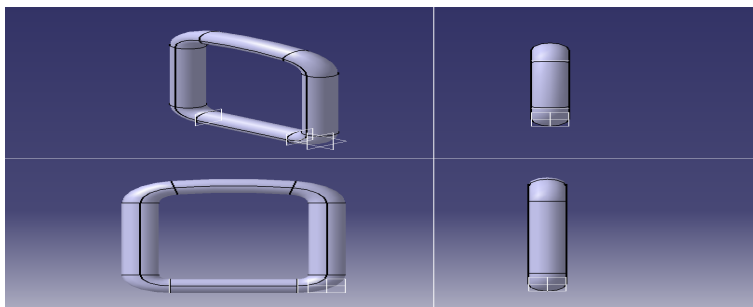


Figura 8.2 – Orelha de carga a estibordo.

Fonte: Ing. Sebastian Merchan (2019)

A orelha de carga da figura 8.2 e o estibordo de carga 8.2, vão juntos para brindar a conexão entre os cabos de aço e o suporte de giro, assim como se mostra na figura 8.4.

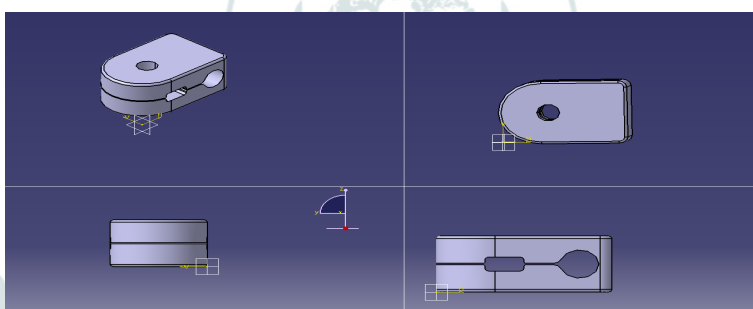


Figura 8.3 – Estibordo de carga.

Fonte: Ing. Sebastian Merchan (2019)

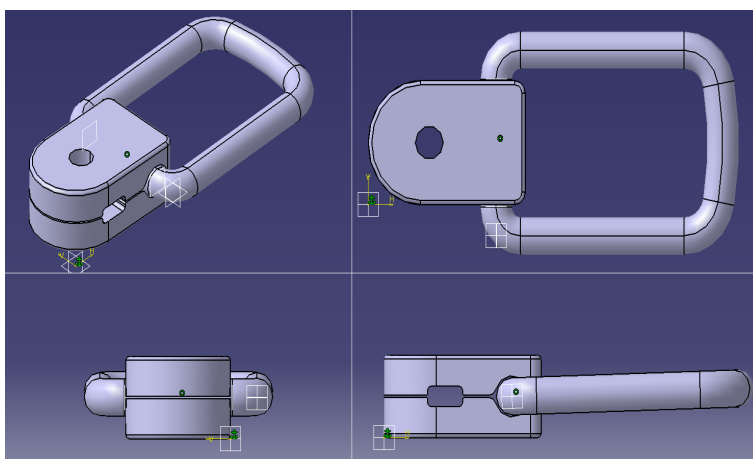


Figura 8.4 – Estibordo de carga com orelha anexada..

Fonte: Ing. Sebastian Merchan (2019)

Na figura 8.5 temos a fixação do gancho, e ele pode ser aberto ou fechado Depende do que se quer.

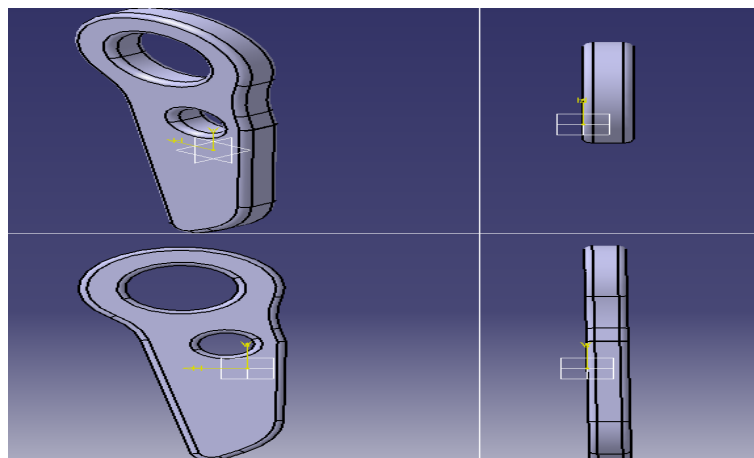


Figura 8.5 – Gancho de fixação.

Fonte: Ing. Sebastian Merchan (2019)

Como é visto na figura 8.6, foi feita uma peça que conseguiu acomodar os cabos de aço que penduram deste.

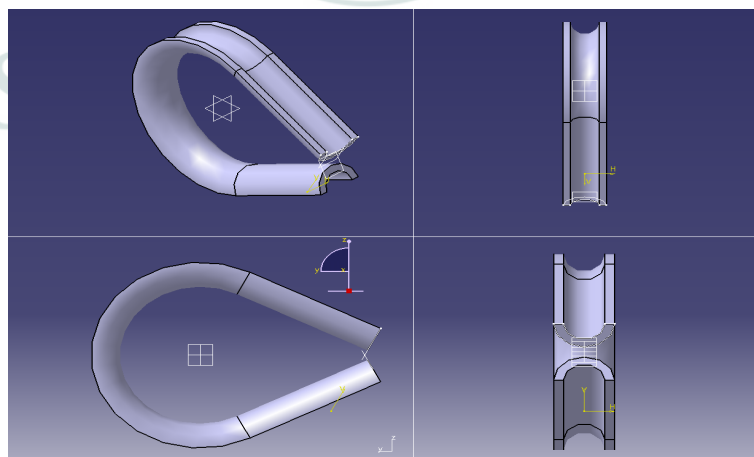


Figura 8.6 – Salva cabo.

Fonte: Ing. Sebastian Merchan (2019)

Referências bibliográficas

- ADDEPALLI, S., PAGALDAY, G., SALONITIS, K. & ROY, R. (2018). Socio-economic and demographic factors that contribute to the growth of the civil aviation industry. In: *Procedia Manufacturing*, vol. 19. Elsevier B.V. page.11
- AEROCIVIL (2013). RAC 43. Tech. rep. page.22
- AISC (2017). *Steel Construction Manual*. American Institute of Steel Construction, 8 ed. page.2424
- ARAÚJO CUNHA, A. P., RICARDO MAGALHÃES, A., SELAU DA SILVA JÚNIOR, B., MARIA DALLA-BONA, E., JOSUÉ SOUZA DOS SANTOS, F., MINORU YAMAJI, F., OBINO CORREA WERLE, F., FERREIRA MAFRA, J., LÚCIA GOMES, A., LUCAS PEDREIRA BUENO, J., ANDRADE SALES EQUIPE EDITORIAL ALICE FONTES FERREIRA DARLAINE PEREIRA BOMFIM DAS MERCÊS GILVANIA CLEMENTEVIANA, M., BITES CARVALHO REITOR, J. D., ANDRADE SALES, M., TANURE SANABIO, M., ESTADUAL DE PERNAMBUCO, U., ELIZA DALMAZO AFONSO

DE ANDRÉ, M., ALVES MOREIRA DE ASSIS, R., ALVES, S., REGINA DANTAS, T., PEREIRA DA SILVA DE ÁVILA, V., JUAN GARCIA MASIP, F., ARMAS QUINTÁ, F., AMAR RODRÍGUEZ, V. & CARLOS MACIA ARCE, X. (2017). Publicação quadrimestral dos Programas de Pós-Graduação Stricto Sensu em Educação, ofertados na modalidade Profissional Celi Corrêa Neres Universidade Federal Mato Grosso do Sul UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA-UNEB Maria de Fátima Gomes da Silva Vândiner Rbeiro Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri CONSELHO EDITORIAL-INTERNACIONAL. Tech. rep. URL www.uneb.br. page.33

CATIA (2016). *MANUAL CATIA V5*. page.22

EL-SAYED, A. F. (2016). *Fundamentals of Aircraft and Rocket Propulsion*. Springer, London, 2 ed. page.77

GENERAL ELECTRIC (2014). Turboshift-T64 . page.33

GENERAL ELECTRICS (2018). T700-701D turboshaft engines. Tech. rep. URL www.ge.com/aviation. page.33

ICAO (2015). AIRCRAFT TECHNOLOGY IMPROVEMENTS. Tech. rep. page.11

KAY ANTONY (2002). desenvolvimento alemão do motor a jato e da turbina a gás 1930-1945 . page.66

KLIMOV (2019). TV3-117 Principal specification. *Web-consulting* . page.1010

KLIMOV S.A (2015a). Manual de mantenimiento técnico del motor tv3-117 - Libro 3. Tech. rep. page.1313

KLIMOV S.A (2015b). Manual de mantenimiento técnico del motor tv3-117- LIBRO 1. Tech. rep. page.66, page.1010, page.1111, page.1212, page.1313

LOM-PRAHA (2019). TV3-117 turboshaft engines. *Web-consulting* URL <https://www.lompraha.cz/en/tv3-117-turboshaft-engines>. page.1010, page.1616

MATWEB (2019). ASTM A36 Steel, bar Data sheet. Tech. rep. page.2424

MIL MOSCOW HELICOPTER PLANT WEBSITE (2013). Concerning the number of machines built, the Mi-8 has been surpassed only by the Bell 204/205/212 family of light utility helicopters. Tech. rep. page.1414

NEILL FORREST, N. P. (2012). Gas Turbine Aero Engine Ground Testing. *Encyclopedia of Aerospace Engineering* . page.1818

OSCAR, . & OLARIAGA, D. (2016). Análisis del desarrollo reciente del transporte aéreo en Colombia. *Revista Transporte y Territorio* **14**. page.1717

PLANT, M. M. H. (2019). Most Worldwide. *Web-consulting* . page.1010

RUSSIAN HELICOPTERS (2017). Manual de mantenimiento Mil Mi-8. Tech. rep. page.1515

TUDOSIE, A.-N. (2016). GROUND TEST FACILITY FOR A TURBOSHAFT-TYPE APU TG-16M FOR PASSENGER AIRCRAFT. *SCIENTIFIC RESEARCH AND EDUCATION IN THE AIR FORCE* **18**(1), 85–92. URL <http://www.afahc.ro/ro/afases/2016/AIRFORCE/TUDOSIE.pdf>.
page.1818

VARGAS, Z. R. (2009). LA INVESTIGACIÓN APLICADA: UNA FORMA DE CONOCER LAS REALIDADES CON EVIDENCIA CIENTÍFICA. *Universidad de Costa Rica* **33**,(0379-7082, 2009), 155–165. URL <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44015082010>.
page.1919



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA