



UBI  
Covilhã  
Portugal

2010



**UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR**

Faculdade de Engenharia

**Turbotec – Equipamento de Teste**

## **Turbotec – Equipamento de Teste**

**Bruno Martinho Loureiro dos Santos**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Aeronáutica**

Orientador: Prof. Doutor Francisco Brójo

Bruno Martinho  
Loureiro dos Santos

Covilhã. Outubro de 2010

## Declaration of Authorship

---

### **Declaration of Authorship**

I, Bruno Santos, declare that this thesis titled, ‘Turbotec – Equipamento de Teste’ and the work presented in it are my own. I confirm that:

- This work was done wholly or mainly while in candidature for a research degree at this University.
- Where any part of this thesis has previously been submitted for a degree or any other qualification
- at this University or any other institution, this has been clearly stated.
- Where I have consulted the published work of others, this is always clearly attributed.
- Where I have quoted from the work of others, the source is always given. With the exception of
- such quotations, this thesis is entirely my own work.
- I have acknowledged all main sources of help.
- Where the thesis is based on work done by myself jointly with others, I have made clear exactly
- what was done by others and what I have contributed myself.

Signed:

---

Date:

---

Dedicado Aos Meus Pais

### **Resumo:**

Neste trabalho é apresentada e discutida a elaboração do banco de ensaios indispensável para o “Overhaul” do sistema de sobrealimentação de um motor alternativo. Este trabalho é apoiado pela empresa Aerotécnica em parceria com a Universidade da Beira Interior.

O objectivo deste trabalho consiste em criar uma ferramenta capaz de executar parte do processo de "Overhaul" do sistema de sobrealimentação de um motor alternativo construindo um banco de ensaios que seja capaz de concretizar os testes às válvulas e controladores que fazem parte do respectivo sistema de sobrealimentação. Este Banco de testes, deverá ser o mais universal possível, sendo capaz de efectuar testes e permitir afinações precisas a determinados componentes indispensáveis ao sistema de sobrealimentação de uma aeronave de motor alternativo.

**Palavras-chave:** Turbocompressor; Válvula de escape (Wastegate); Overhaul; Controladores do Turbocompressor.

### **Abstract:**

In this work are presented and discussed the elaboration of a test bench imperative to the Overhaul of the charge system of an alternative engine. This work is sponsored by Aerotécnica in conjunction with the Universidade da Beira Interior.

In this work is aimed the execution of the Overhaul process of the components of the charge of an alternative engine system constructing a test bench capable to make the tests set of valves and controllers that are part of the charge system. This test bench needs to be the more universal as possible, being useful to do tests and allowing precise tuning of certain essential components of the charge system in the aircraft alternative engine.

Keywords: Turbocharger; Wastegate; Overhaul; Turbocharger Controller;

### **Agradecimentos:**

Este trabalho só foi possível concretizar graças à colaboração dispensada por professores, amigos e colegas, a quem quero apresentar os meus agradecimentos publicamente.

Ao Professor Doutor Francisco Brójo pela motivação, orientação e ajuda prestada ao longo deste trabalho, transmitindo-me todos os seus conhecimentos, amizade e confiança.

Ao Engenheiro André Garcia por todos conhecimentos transmitidos, bem como, pela disponibilização dos equipamentos e meios necessários para a concretização deste trabalho.

Ao departamento de Engenharia Aeroespacial da Universidade da Beira Interior bem como à empresa Aerotécnica sediada no Aeródromo Municipal de Cascais.

Aos meus pais e irmãos que sempre apoiaram durante todos os anos de estudante e trabalharam arduamente para que pudesse concretizar o mestrado.

## Índice

Declaration of Authorship.....	I
Resumo:.....	III
Abstract:.....	IV
Agradecimentos:.....	V
Índice de figuras.....	VIII
Índice de tabelas.....	IX
Lista de Acrónimos e Abreviaturas.....	IX
Unidades e Conversão.....	IX
Capítulo 1.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Motivação e Objectivos.....	1
1.2 Fundamentos Teóricos.....	2
1.2.1 Sistema de sobrealimentação.....	2
1.2.1.1 Turbocompressor.....	2
1.2.1.2 Válvulas.....	4
1.2.1.2.1 Válvula de Escape.....	4
1.2.1.2.2 Válvula de alívio.....	5
1.2.1.3 Controladores.....	6
1.2.1.3.1 Controlador de Pressão Absoluta.....	6
1.2.1.3.2 Controlador de Pressão e Densidade.....	7
1.2.1.3.3 Controlador Diferencial de Pressão.....	8
1.2.1.3.4 Controlador Variável de Pressão Absoluta.....	8
1.2.1.3.4 Controlador Inclinado.....	9
1.2.1.3.5 Controlador de Proporção.....	10
1.2.1.3.6 Controlador da Razão de Pressão.....	10
1.2.1.3.7 Controlador Duplo de Pressão e de Razão.....	11
1.2.1.3.8 Controlador Duplo de Pressão e de Proporção.....	11
1.2.2 Ambiente de trabalho.....	12
1.2.2.1 Óleo.....	12
1.2.2.2 Ar.....	13
1.2.3 Processo de “Overhaul”.....	15
Capítulo 2.....	25

## Índice

---

2 Conceção .....	25
2.1 Projecto Preliminar .....	26
2.2 Projecto conceptual .....	28
2.3 Descrição do Banco de Ensaios .....	29
2.4 Construção do banco de ensaios .....	30
Capítulo 3 .....	32
3 Método Experimental .....	32
3.1 Capacidades do Banco de ensaios: .....	32
3.2 Testes .....	32
3.2.1 Banco de Ensaios .....	32
3.2.2 Válvula de Escape .....	33
3.2.2.1 Pequena Válvula de Escape .....	34
3.2.2.2 Válvula de Escape de Passagem Dupla .....	34
3.2.2.3 Válvula de Escape de passagem única com pequeno actuador .....	34
3.2.2.4 Válvula de Escape de passagem única com grande actuador .....	35
3.2.2.5 Actuador .....	36
Para todos Actuadores/Válvulas .....	36
3.2.3 Controladores .....	37
3.2.3.1 Controlador de Pressão Absoluta .....	37
3.2.3.2 Controlador Variável de Pressão Absoluta .....	38
3.2.3.3 Controlador Diferencial de Pressão .....	38
3.2.3.4 Controlador de Pressão e Densidade .....	39
3.2.3.5 Controlador Inclinado .....	39
3.2.3.6 Controlador da Razão de Pressão .....	40
3.2.3.7 Controlador de Proporção .....	40
3.2.4 Válvula de Alívio .....	41
3.2.5 Em conjunto .....	41
3.3 Considerações básicas das regras de segurança .....	41
3.4 Incertezas e erros experimentais .....	41
Capítulo 4 .....	37
4 Testes .....	37
Capítulo 5 .....	43
5 Resultados .....	43
Capítulo 6 .....	43

## Índice

---

6 Conclusão .....	43
Referências:.....	46
Anexos.....	46

### **Índice de figuras**

Fig.1- Gráfico demonstrativo da diferença da Potência e da Pressão do motor para diferentes altitudes entre um motor sobrealimentado e um normalmente aspirado. ....	1
Fig.2- Conjunto Turbocompressor. ....	3
Fig. 3 - Processo de Funcionamento do turbocompressor. ....	3
Fig.4 - Pequena válvula de escape. ....	5
Fig.5- Válvula de Escape de Passagem Única .....	5
Fig.6- Válvula de alívio (o exterior e o interior da sua constituição).....	6
Fig.7- Controlador de pressão absoluta. ....	6
Fig.8- Controladores de pressão e densidade.....	7
Fig. 9- Controlador diferencial de pressão. ....	8
Fig.11 – Controlador Inclinado. ....	9
Fig.13- Controlador da razão de pressão. ....	10
Fig.14- Controlador Duplo de Pressão e de Razão. ....	11
Fig.15- Controlador duplo de pressão e proporção. ....	11
Fig.16- Condições de operação do óleo do Manual de Operador dos Motor TIO-540.....	12
Fig.17 - Gráfico representativo das temperaturas atingidas em função da pressão do colector de admissão (100°F = 38°C / 240°F = 116°C). ....	13
Fig.18 - Sistema de sobrealimentação. ....	14
Fig.19 - O mesmo Turbocompressor antes e depois de "Overhaul", respectivamente.....	15
Fig. 20- Turbocontrol Test Set AID P/N 481070-1.....	25
Fig.21- Esboços de uma das primeiras versões projectadas. ....	26
Fig.22- Visão de conjunto do banco de ensaios projectado. ....	27
Fig.23 - Desenhos conceptuais do banco de ensaios. ....	28
Fig.25- Fases de construção do Banco de Ensaios. ....	31
Fig. 26 Banco de ensaio já construído.....	31
Fig.27- Válvulas e controladores testados. ....	37
Fig.28- Válvula de Escape de Passagem única OEM P/N LW12778F preparada para o teste.....	38
Fig.29- Controlador de Densidade OEM P/N LW10682G preparado para o teste.....	39
Fig.30- Controlador Diferencial OEM P/N LW1009. ....	39
Fig. 31- Gráfico Espaçamento vs Pressão.....	46
Fig. 32- Momento em que a Borboleta fica na máxima posição de bloqueio. ....	47
Fig.33Teste do Controlador diferencial.....	47

## **Índice de tabelas**

Tabela 1 – Válvula de escape de passagem única com pequeno actuador, espaçamento fechado para os diferentes P/N. .... **Erro! Marcador não definido.**

Tabela 2 – Válvula de escape de passagem única com pequeno actuador, espaçamento aberto para os diferentes P/N. .... **Erro! Marcador não definido.**

Tabela 1 – Válvula de escape de passagem única com grande actuador, espaçamento fechado para os diferentes P/N. .... **Erro! Marcador não definido.**

Tabela 1 – Válvula de escape de passagem única com grande actuador, espaçamento aberto para os diferentes P/N. .... **Erro! Marcador não definido.**

## **Lista de Acrónimos e Abreviaturas**

EASA - Agência Europeia para a Segurança da Aviação  
SAIB – “Special Airworthiness Information Bulletins”  
MAP – Pressão no colector de admissão (após acelerador)  
Deck Pressure – Pressão do ar entre o compressor e o acelerador  
Crack Pressure – Pressão de estrangulamento de um sistema.  
AC – Corrente alternada  
DC – Corrente Contínua  
P/N – Número da peça (Part Number)  
OEM P/N – Airframe/Engine Manufacturer’s Part Number  
AID P/N – AiResearch Industrial Division Part Number  
EIA - Electronic Industries Alliance

## **Unidades e Conversão**

Pressão: 1 bar = 29,5 in.HG = 14.5 PSI = 0,99 atm = 1,02 Kg/cm<sup>2</sup>  
Temperatura: 1° C = 1.8° F = 1 K = 0,8° R  
Comprimento: 1 cm = 0,39 in = 0,032 feet

## Capítulo 1

### 1. INTRODUÇÃO

#### 1.1 Motivação e Objectivos

Nos nossos dias, o motor de sistema alternativo é uma ferramenta recorrente no quotidiano de grande parte da humanidade. Este motor é um sistema de propulsão também conhecido como motor de combustão interna. Embora sejam mais vulgares na indústria automóvel, são também utilizados com frequência no ramo aeronáutico. Seja qual for a concepção do motor, a dois ou a quatro tempos, existirá sempre a fase de admissão e a de escape, fundamentais para o funcionamento do sistema de sobrealimentação. Tendo como objectivo aumentar a eficiência volumétrica do motor, a sobrealimentação permite obter potências superiores tanto quanto a resistência mecânica do motor permita.

Na Fig.1 podemos ver a influência da sobrealimentação nas aeronaves de sistema alternativo. Verifique-se que é com a variação de altitude que o sistema demonstra o seu maior impacto, pois o aumento deste parâmetro provoca uma diminuição da densidade que por sua vez diminui a capacidade do motor produzir potência. Como indica o gráfico, confrontando as aeronaves com sistema de sobrealimentação e as aeronaves normalmente aspiradas, o motor sobrealimentado regista uma queda em potência inferior à do não sobrealimentado que tem um decréscimo de potência quase linear.

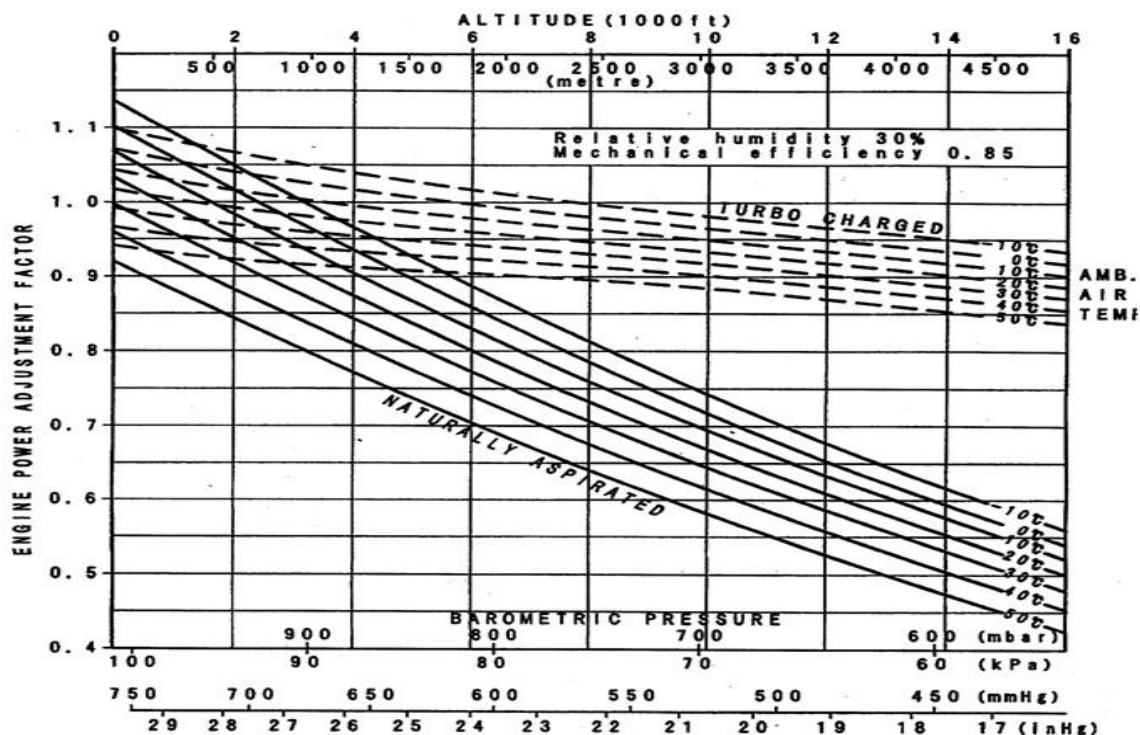


Fig.1- Gráfico demonstrativo da diferença da Potência e da Pressão do motor para diferentes altitudes entre um motor sobrealimentado e um normalmente aspirado.

Assim quando se executa a manutenção de um motor sobrealimentado, este sistema também deve ser verificado. Em inglês é utilizada a palavra “Overhaul” que pode ter diversos significados mas neste contexto iremos considerá-la como revisão, inspeção, vistoria ou exame. Desta forma, quando se fala em “Overhaul” entende-se, em todo mundo aeronáutico, como o acto de desmontar a fim de fazer reparos examinando tudo minuciosamente, substituindo as peças obsoletas e/ou danificadas e protegendo as que ainda se encontram em bom estado. Ao executar um “Overhaul”, ou mesmo uma simples limpeza deveremos fazê-lo com a maior cautela e minúcia possível. A Agência Europeia para a Segurança da Aviação (EASA) publicou um Boletim Informativo, Especial de Aeronavegabilidade (SAIB), no qual alerta os proprietários e operadores de aeronaves equipados com turbocompressores, para a necessidade deste tipo de componentes serem examinados num intervalo de 100 em 100 horas ou durante a inspeção anual. Estes cuidados pretendem salvaguardar a calibração, integridade e função dos mesmos equipamentos. Em 2007, uma vigilância de rotina levada a cabo pela “Flight Standards District” na “Statesville Aero Tech Services”, apurou que os motores com turbocompressores acoplado retornavam ao serviço com “Overhaul” incompleto ou inapropriado. Este processo deve então incluir inspeção dimensional, equilíbrio, teste/calibração e inspeção final. É necessário aprovar a funcionalidade e durabilidade dos componentes e garantir que não se verificam situações de mau funcionamento que reduzam a segurança do avião. É condição *sine qua non* que não se verifiquem as seguintes situações: incapacidade de atingir a altitude nominal crítica ou o desempenho esperado pelo motor; incapacidade de obter resultados confiáveis e repetíveis em ajustes de pressão; o lento/instável funcionamento do turbocompressor; o alto consumo de óleo ou fuga deste; e incapacidade de enfrentar a vida esperada.

Numa parceria entre a empresa Aerotécnica e a Universidade da Beira Interior, o presente trabalho tem como objectivo projectar e construir um banco de ensaios para válvulas e controladores do sistema de sobrealimentação capaz de efectuar com precisão os testes de “Overhaul” recomendados pelo fabricante. Este banco de ensaios deverá poder englobar o maior universo de controladores e válvulas possível sempre com elevados níveis de precisão e exactidão.

## **1.2 Fundamentos Teóricos**

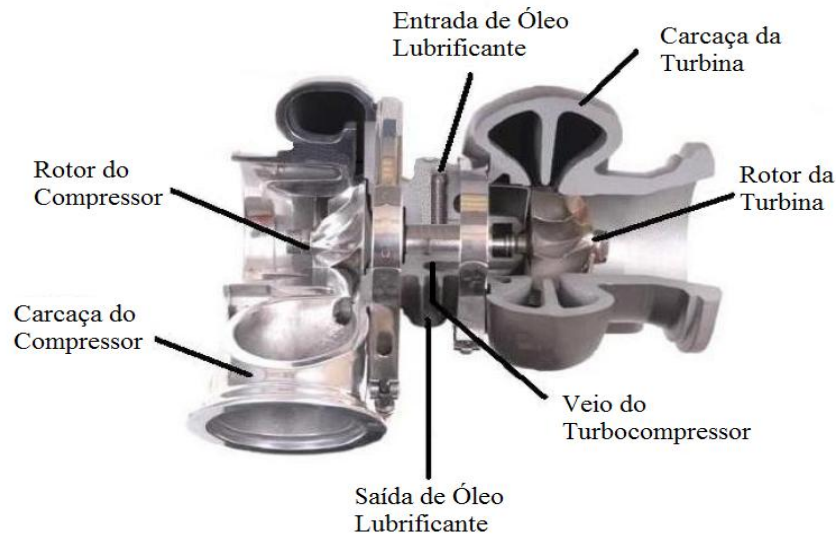
Antes da elaboração do projecto do banco de ensaios será necessário um estudo aprofundado para conhecer o funcionamento e o ambiente de trabalho dos componentes a testar. Só depois de ultrapassada esta fase, se poderá projectar um banco de ensaios que cumpra os requisitos adequados aos instrumentos a testar.

### **1.2.1 Sistema de sobrealimentação**

#### **1.2.1.1 Turbocompressor**

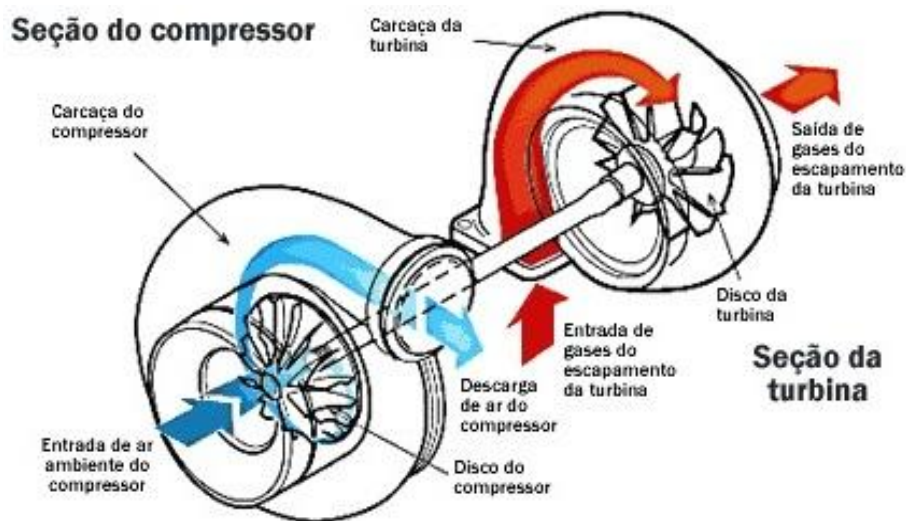
O conjunto turbocompressor é um sistema termomecânico em que o ar é comprimido por um compressor dinâmico. O turbocompressor é constituído essencialmente por uma turbina, um veio, um compressor e duas carcaças. A turbina aproveita a energia cinética dos gases de escape convertendo-a em trabalho. O veio que a liga a turbina ao compressor faz com que este ganhe o movimento rotacional e comprima o ar que irá para a câmara de combustão, elevando a eficiência volumétrica

do motor. Quanto à carcaça, a sua função é direccionar o fluxo de gases das alhetas do rotor. Na Fig. 2 e 3 podemos ver, respectivamente, a constituição e o processo de funcionamento do turbocompressor:



*Fig.2- Conjunto Turbocompressor.*

[24]



*Fig. 3 - Processo de Funcionamento do turbocompressor.*

O aumento do rendimento volumétrico é muito importante nas aeronaves. Acontece que à medida que a altitude aumenta a densidade do ar diminui, reduzindo a massa de ar admitida para o mesmo volume, o que prejudica gravemente a potência gerada, podendo até provocar a total incapacidade de aumentar a altitude de voo. A função do turbocompressor é fornecer um bombeamento suplementar de ar quer ao nível do mar quer a elevadas altitudes.

### 1.2.1.2 Válvulas

O turbocompressor é um componente que necessita de controlo frequente. As aeronaves de última linha usam um sistema de controlo hidráulico, que faz circular parte do óleo do motor por válvulas e controladores. Sistemas como o da Lycoming ou da Continental, operam sobre o mesmo princípio e usam partes similares diferenciando-se apenas na forma. No sistema de sobrealimentação, é a Válvula de Escape que assume o maior relevo sendo comumente conhecida como “Wastegate”. As restantes válvulas são instrumentos menores embutidos noutros equipamentos. A Válvula de Escape é então constituída por uma válvula (que executa a acção) e um actuador (que faz com que a válvula actue). A sua função é regular o caudal e a pressão dos gases de escape que passam pela turbina, sendo determinante para a velocidade do turbocompressor.

Assim, a sobrealimentação de um motor deve ser encarada como um sistema constituído por vários componentes interligados que aumentam e controlam a pressão de ar à entrada dos cilindros.

#### 1.2.1.2.1 Válvula de Escape

Existem vários tipos de controladores, mas quanto à Válvula de Escape, apenas o tamanho poderá ser diferente, divergindo consoante o impulso desejado. O conceito de funcionamento da Válvula de Escape é bastante simples. É composta por um actuador onde passa o óleo que por sua vez accionará uma válvula. O funcionamento do sistema é o seguinte: parte do óleo do motor é usado num circuito em que está inserido o actuador e é a pressão exercida no interior deste que acciona o mecanismo que movimenta a válvula. No circuito do óleo também temos controladores que impedem ou abrem a passagem de óleo tendo como resultado final o respectivo aumento ou diminuição de pressão no interior do actuador. Existem dois tipos de Válvula de Escape comumente usadas nas aeronaves modernas. Temos a Pequena Válvula de Escape, semelhante às válvulas de escape internas usadas em automóveis, e a Válvula de Passagem do tipo borboleta, semelhante às válvulas de escape externas que são parte integrante do sistema de escape. Neste último tipo identificam-se três variantes:

- A Válvula de Passagem Dupla, que se diferencia por ter uma saída dupla, tendo uma saída para o ambiente e outra para a turbina;
- A Válvula de Passagem Única com pequeno actuador, distingue-se por ter um actuador de pequenas dimensões;
- A Válvula de Passagem Única com grande actuador, distingue-se por ter um actuador de dimensões superiores ao normal.

Em posição de abertura, poucos gases de escape passam pela turbina o que, consequentemente, reduz a compressão. Pelo contrário, numa posição totalmente fechada ocorrerá a máxima compressão.

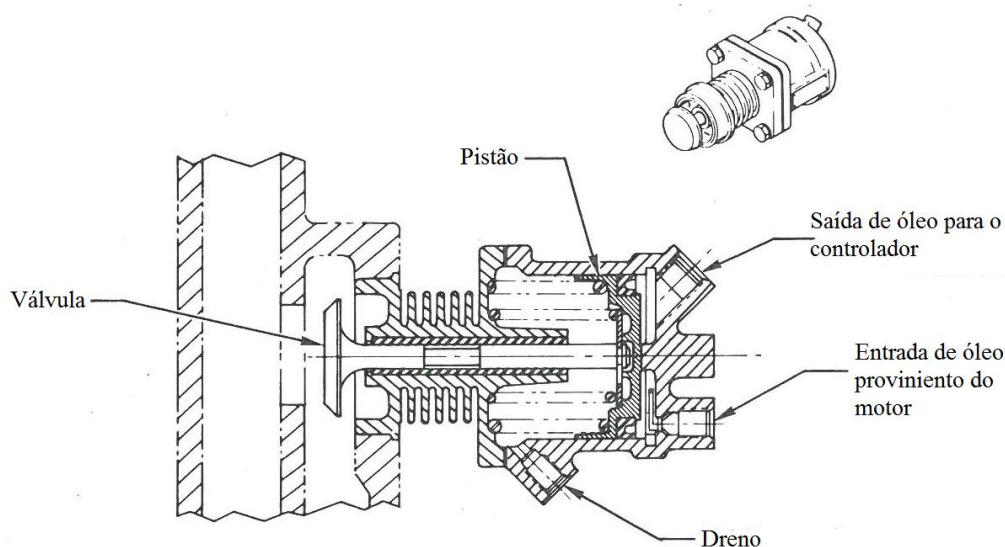


Fig.4 - Pequena válvula de escape.

[11]

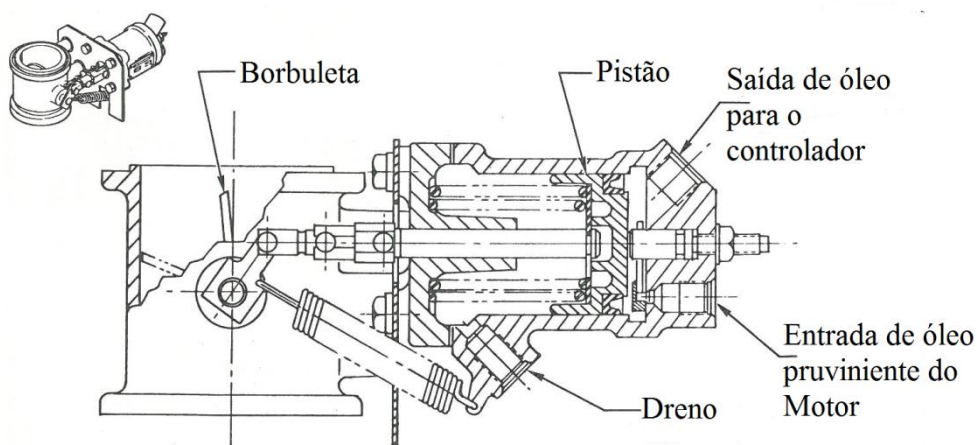


Fig.5- Válvula de Escape de Passagem Única (Pequeno Actuador).

[11]

### 1.2.1.2.2 Válvula de alívio

A Válvula de Alívio pode ser acoplada numa zona próxima do compressor ou no tubo da admissão entre o compressor e o acelerador. A cabeça da válvula, pela acção da combinação de uma mola e um aneróide\*, encontra-se normalmente na posição fechada (Fig.6). A “Deck Pressure” actua na cabeça da válvula abrindo-a a um ponto pré-determinado evitando que a MAP ultrapasse o limite para o qual o motor foi certificado, fazendo desta válvula um instrumento de emergência.

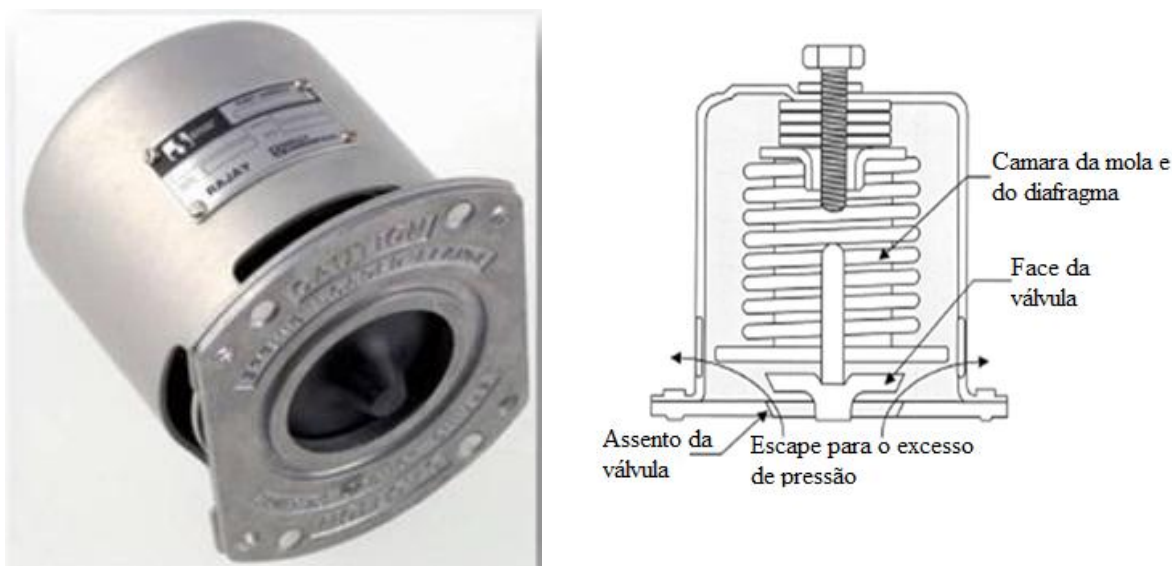


Fig.6- Válvula de alívio (o exterior e o interior da sua constituição).

[23]

\*andróide - pequena cápsula hermética com um diafragma metálico flexível o qual encerra uma pequena quantidade de ar no seu interior, com uma mola no interior para evitar o seu esmagamento.

### 1.2.1.3 Controladores

#### 1.2.1.3.1 Controlador de Pressão Absoluta

Este dispositivo sente a “Deck Pressure” numa escala absoluta e tenta mantê-la constante de modo a fornecer a mesma potência ao nível do mar ou em diferentes altitudes (Fig. 7). O aneróide está mecanicamente ligado a uma pequena válvula hidráulica. O diafragma é fechado com uma cobertura hermética com a porta de entrada ao nível da “Deck Pressure”. Esta, ao ultrapassar o nível predefinido, pressiona o diafragma o suficiente para mover a mola e a pequena válvula embutida no controlador, abrindo a saída de óleo. Consequentemente, a velocidade do compressor é reduzida e a “Deck Pressure” é diminuída para níveis aceitáveis.

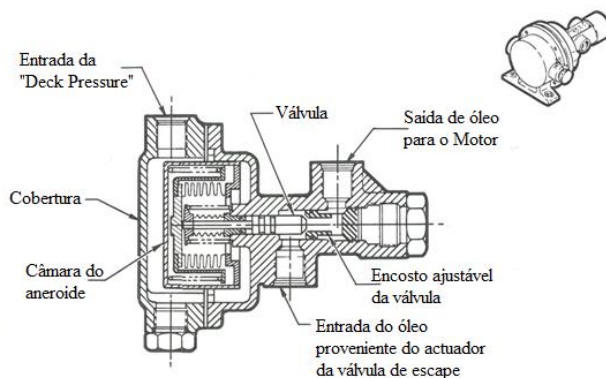


Fig.7- Controlador de pressão absoluta.

[11]

### 1.2.1.3.2 Controlador de Pressão e Densidade

Situado ao nível da “Deck Pressure”, é o Controlador de Pressão e Densidade que controla o movimento da Wastegate com o acelerador no máximo (Fig. 8). Este possui um diafragma, com azoto seco no seu interior, que expande e contrai em resposta às alterações de pressão sendo também capaz de sentir as variações de temperatura, e portanto a densidade. Quando este parâmetro atinge valores em que a tensão da mola é superada, abre-se a porta de saída de óleo para o motor. Isto fará com que a Válvula de Escape se movimente para a posição aberta, abrandando a velocidade do compressor, que por sua vez reduz a “Deck Pressure” e a densidade para os devidos valores do acelerador no máximo. (A compressão é superior em dias quentes e ar menos denso).

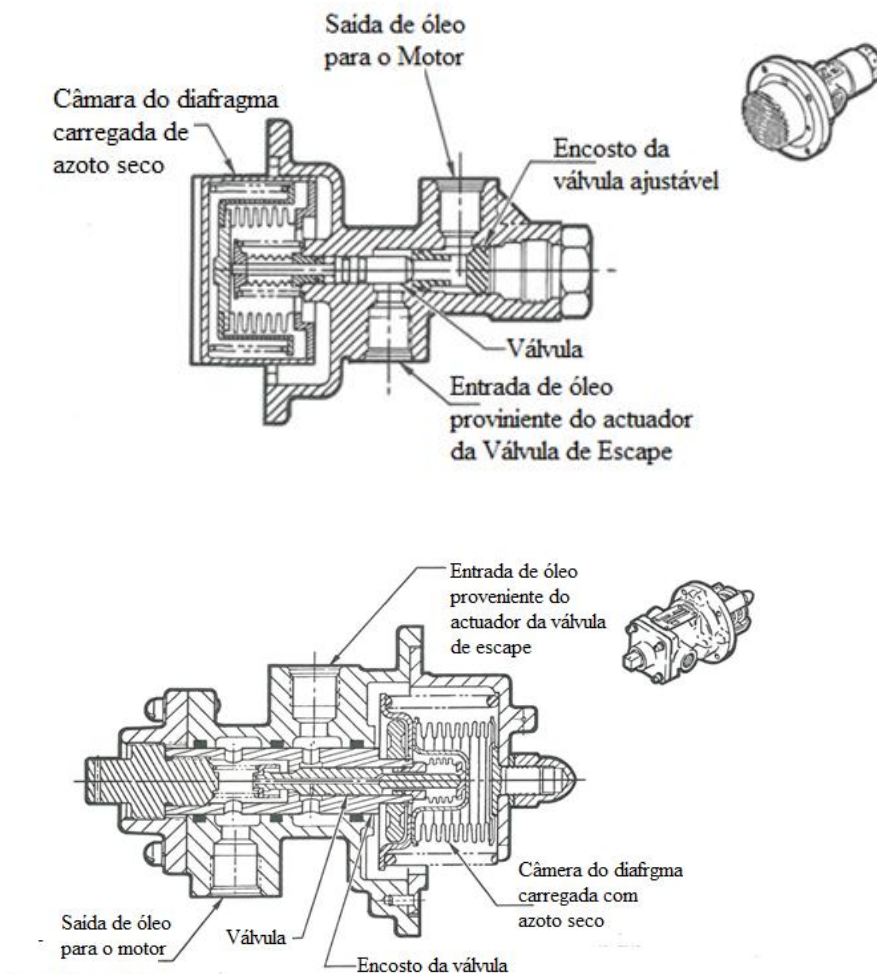


Fig.8- Controladores de pressão e densidade.

[11]

### 1.2.1.3.3 Controlador Diferencial de Pressão

Situa-se ao nível da “Deck Pressure” e é usado para reduzir a quantidade de compressão com a borboleta do acelerador parcialmente fechada (Fig. 9). Uma parte do diafragma está sujeita à “Deck Pressure”, enquanto que a outra está sujeita à pressão no colector de admissão (MAP). Este diafragma está ligado a uma pequena válvula, comprimida por uma mola normalmente fechada. Se a MAP diminui, tal como em marcha lenta, a “Deck Pressure” subirá e, se esta diferença for maior que a pré-definida, a pequena válvula embutida abre a saída do óleo do controlador fazendo com que a Válvula de Escape abra e alivie a pressão do ar. Com a borboleta do acelerador completamente aberta, este controlador permanece fechado porque a pressão diferencial é mínima.

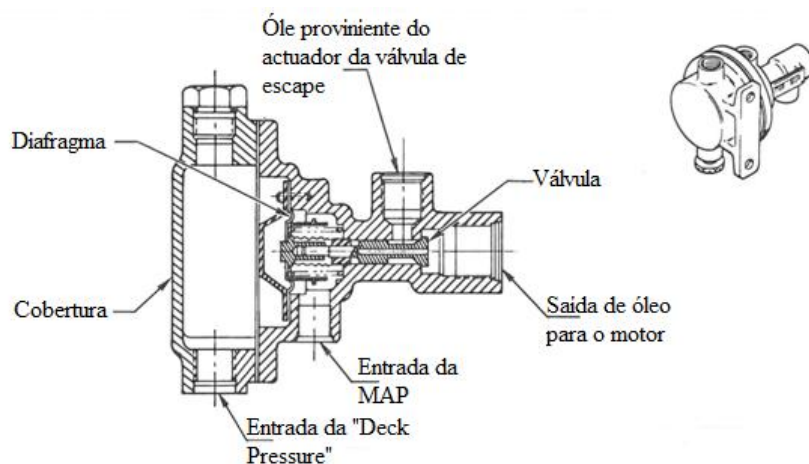


Fig. 9- Controlador diferencial de pressão.

[11]

### 1.2.1.3.4 Controlador Variável de Pressão Absoluta

Este controlador contém um diafragma que se estende até à zona da “Deck Pressure”, sentindo-a e comparando-a com a pressão absoluta referenciada (Fig. 10). Ao ser utilizado em substituição do controlador de densidade e diferencial, a diferença mais óbvia, é a conexão directa do controlador com o acelerador por uma “came”, tornando-o assim variável. O seu funcionamento está também coordenado com a variação da pressão. O acelerador roda a “came” e faz variar a tensão na mola da pequena válvula. Quanto mais aberta a borboleta do acelerador estiver, maior a pressão em torno do diafragma do controlador, para destituir a válvula e aliviar a pressão do óleo. O acelerador e o controlador, em conjunto, controlam a compressão.

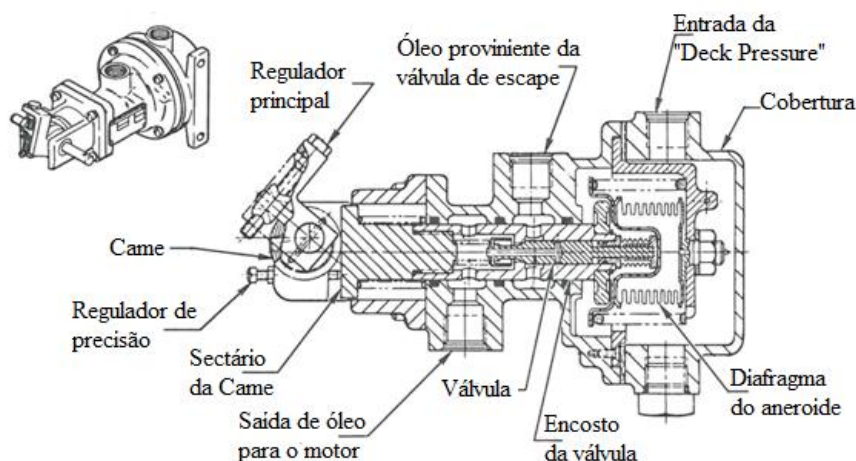


Fig.10 - Controlador variável de pressão absoluta.  
[11]

#### 1.2.1.3.4 Controlador Inclinado

Este elemento incorpora as funcionalidades do Controlador de Pressão Absoluta e do Controlador Diferencial de Pressão num dispositivo simples (Fig. 11). É projectado para manter o rácio de descarga de pressão do compressor quando a borboleta do acelerador está completamente aberta, e reduzir a “Deck Pressure” em outros momentos de aceleração. Um diafragma, com um aneróide elástico acoplado, é destinado a sentir a “Deck Pressure” e a MAP pelas portas localizadas antes e depois do acelerador. Este controlador monitoriza constantemente a “Deck Pressure” e a diferença entre o MAP e a “Deck Pressure” quando o acelerador está parcialmente fechado. Se a “Deck Pressure” ou a MAP sobem, a válvula embutida abre e diminui a “Deck Pressure”.

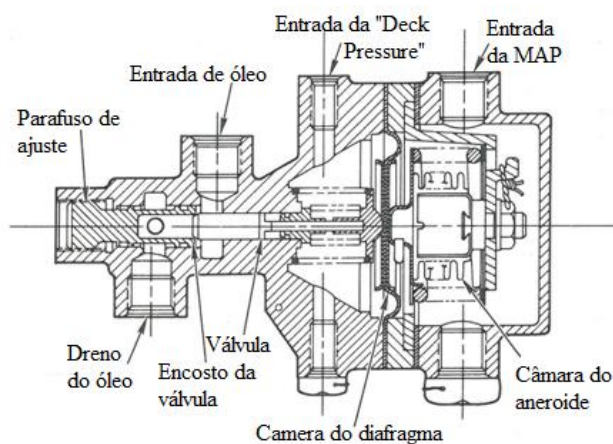


Fig.11 – Controlador Inclinado.

[11]

### 1.2.1.3.5 Controlador de Proporção

Este elemento é utilizado com um Controlador de Pressão Absoluta, substituindo-o posteriormente, durante a velocidade de cruzeiro em altitudes elevadas para prever o excesso de velocidade do turbocompressor e os pontos de potência críticos do motor a aberturas parciais da borboleta do acelerador (Fig. 12). O diafragma é sujeito à “Deck Pressure” através da porta na cobertura. Quando a pressão pré-definida é excedida, o diafragma move a pequena válvula embutida, abrindo a passagem do óleo.

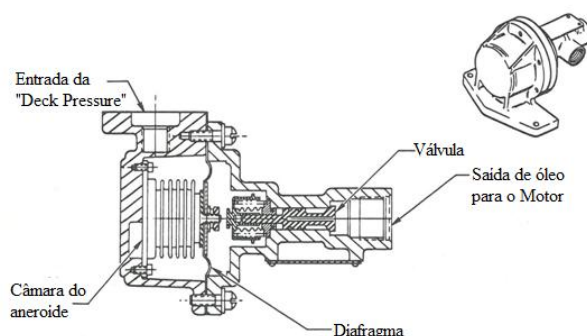


Fig.12 - Controlador de proporção.  
[11]

### 1.2.1.3.6 Controlador da Razão de Pressão

É usado em paralelo com o Controlador de Pressão Absoluta sentindo qualquer aumento excessivo de descarga da pressão de ar do compressor, impedindo que o motor entre em sobrecarga (Fig. 13). Ambos os lados do controlador têm um diafragma que sente a “Deck Pressure”, mas a passagem responsável pelo sensor é restringida por um tubo capilar. Assim, quando há mudanças rápidas na posição do acelerador, e é provocada uma mudança excessiva na “Deck Pressure”, o lado do diafragma na direcção da restrição do orifício sente-a mais lentamente. O desequilíbrio provoca um movimento no diafragma que está ligado mecanicamente a uma válvula embutida, abrindo a porta de saída de óleo do controlador. A velocidade do compressor reduz-se imediatamente para impedir um possível dano por "overboost"\*.

\*overboost” – Ocorre quando a MAP excede o limite para qual o motor foi testado e certificado.

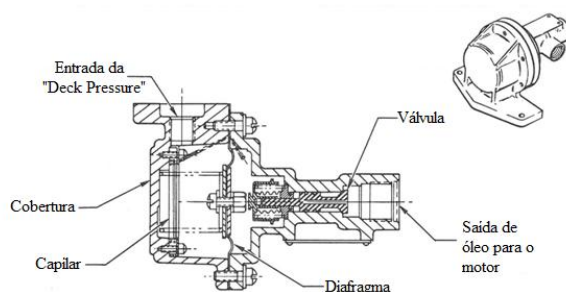


Fig.13- Controlador da razão de pressão.

[11]

### 1.2.1.3.7 Controlador Duplo de Pressão e de Razão

Esta combinação executa as funções de Controlador de Razão de Pressão e Controlador de Pressão Absoluta (Fig. 14). Estes componentes, que cumprem diferentes funções, são combinados num único corpo que partilha as pressões sentidas e as portas de óleo.

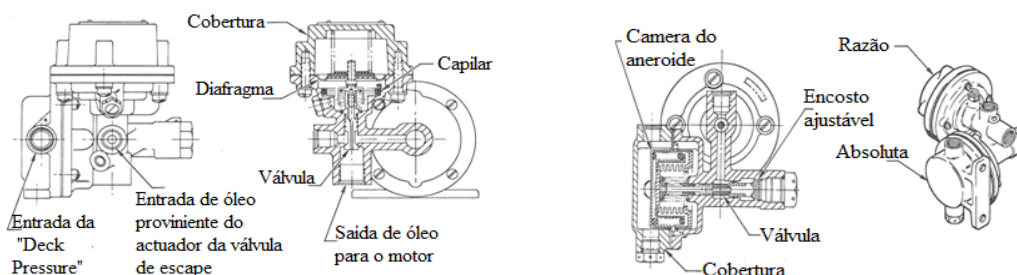


Fig.14- Controlador Duplo de Pressão e de Razão.

[11]

### 1.2.1.3.8 Controlador Duplo de Pressão e de Proporção

Executa as funções de ambos os controladores, Controlador de Proporção e Controlador de Pressão Absoluta (Fig. 15). Estes componentes executam funções diferentes e são combinados num único corpo, que partilha as pressões sentidas e as portas de óleo.

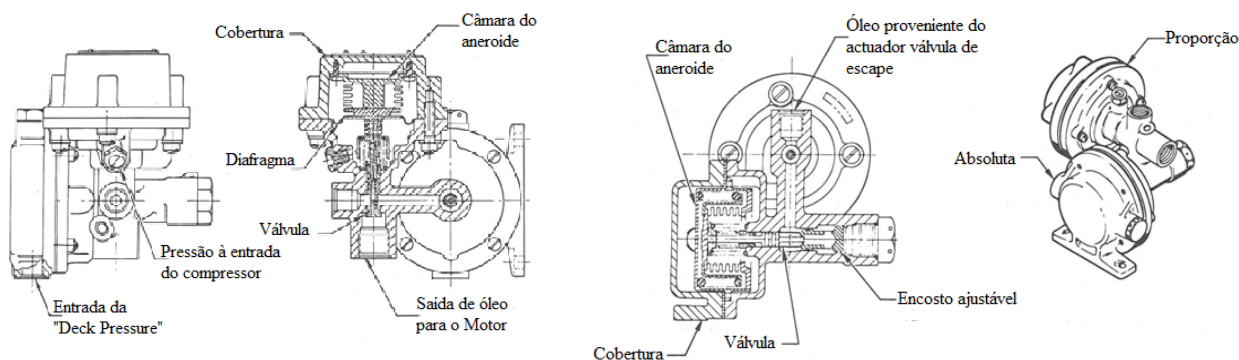


Fig.15- Controlador duplo de pressão e proporção.

[11]

### 1.2.2 Ambiente de trabalho

O ambiente de trabalho das válvulas e dos controladores é bastante exigente, pois as temperaturas do fluido de trabalho destes componentes são elevadas, exigindo uma resistência superior do material.

#### 1.2.2.1 Óleo

Como referido anteriormente, o óleo usado no sistema de sobrealimentação é o mesmo usado no motor, encontrando-se a temperatura e pressões consideráveis. Segundo as instruções de funcionamento da Lycoming (Fig. 16), a temperatura de trabalho está habitualmente nos 70°C podendo atingir um máximo de 130°C. Quanto à pressão, o óleo também assume valores elevados, podendo chegar aos 120 psi mas, em situação normal deverá estar entre os 50 psi a 100 psi. Estes valores variam de motor para motor, sendo sempre conveniente verificar qual a temperatura e a pressão de trabalho do motor a que pertence o sistema de sobrealimentação.

LYCOMING OPERATOR'S MANUAL TIO-540 SERIES – ANGLE VALVE CYLINDER HEADS		SECTION 3 OPERATING INSTRUCTIONS		
OIL – (All Models) (Cont.) –				
Oil Sump Capacity	Maximum	Minimum Safe Quantity		
TIO-540 series except below	12 U.S. Quarts	2-3/4 U.S. Quarts		
-V2AD	13 U.S. Quarts	4 U.S. Quarts		
-W2A, -AJ1A	11 U.S. Quarts	4 U.S. Quarts		
<b>OPERATING CONDITIONS</b>				
Average Ambient Air	Desired	*Oil Inlet Temperature		Maximum
Above 60°F	180°F (82°C)			245°F (118°C)
30°F to 90°F	180°F (82°C)			245°F (118°C)
0°F to 70°F	170°F (77°C)			245°F (118°C)
Below 10°F	160°F (71°C)			245°F (118°C)
* - Engine oil temperature should not be below 140°F (60°C) during continuous operation.				
OIL PRESSURE – PSI –				
Normal Operation	Maximum	Minimum	Idling	Start and Warm-Up
All Models	95	55	25	115

Fig.16- Condições de operação do óleo do Manual de Operador dos Motor TIO-540.

### 1.2.2.2 Ar

De forma análoga ao óleo, o ar também atinge valores de temperatura e pressão elevados à passagem pelo compressor, pois quando o sistema é activado, o ar é comprimido e portanto aquece (Fig. 17). Desta forma, recorrendo às instruções de serviço da Lycoming, considera-se que a temperatura do ar varia entre os 30°celsius e os 150°celsius, podendo chegar ao máximo de 210°celsius. Relativamente à pressão, sabe-se que pode assumir sérias variações, sendo o seu intervalo de trabalho entre os 12 e os 22 psi, e atingindo um máximo de 42 psi. Mais uma vez, é chamada a atenção para o facto de que estes valores variam consoante o motor, sendo sempre necessária a confirmação do valor a utilizar nos testes. É ainda de salientar, que estas não são as temperaturas a que o ar entrará no motor. Este será posteriormente arrefecido com recurso a radiadores internos (intercooler) ou simplesmente pela passagem nos restantes tubos frios da admissão.

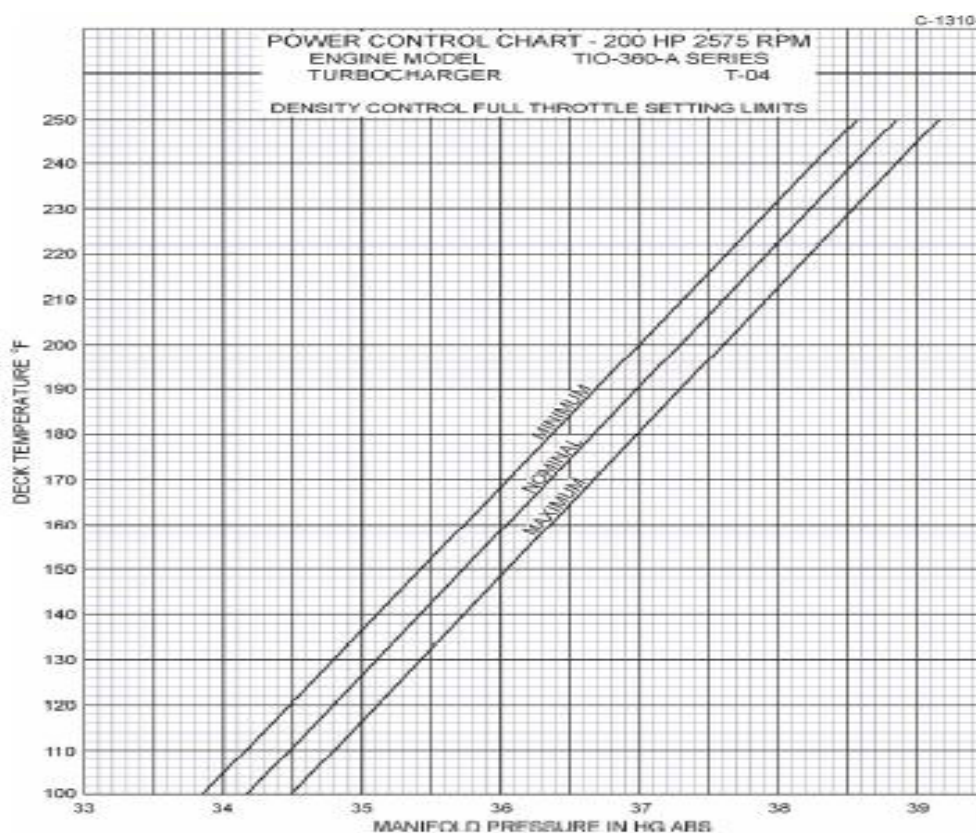
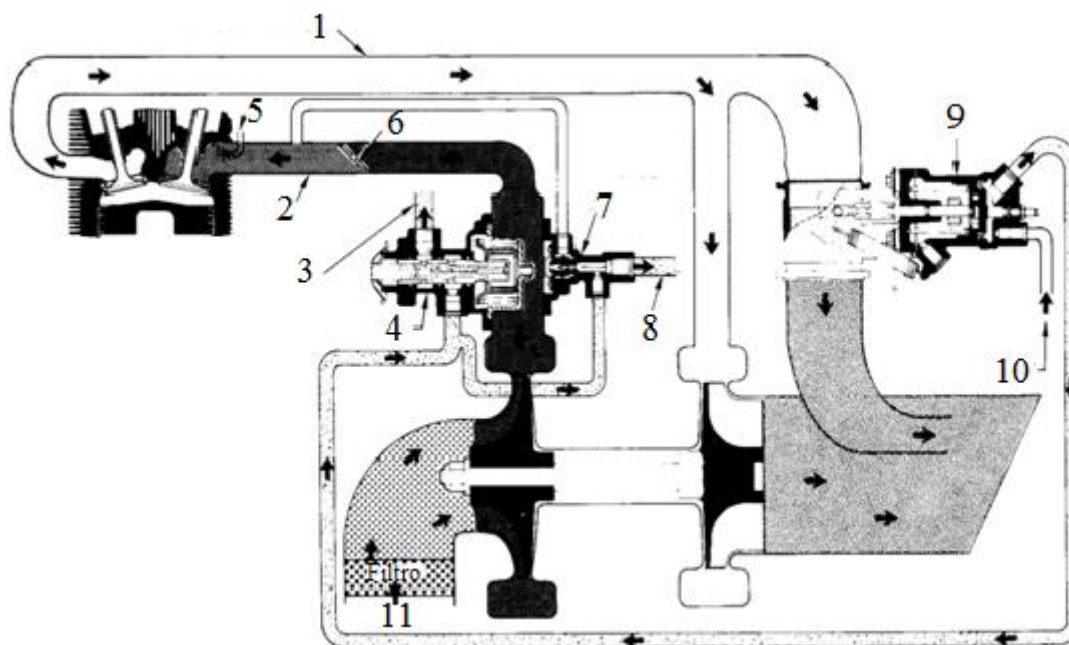


Fig.17 - Gráfico representativo das temperaturas atingidas em função da pressão do colector de admissão ( $100^{\circ}\text{F} = 38^{\circ}\text{C}$  /  $240^{\circ}\text{F} = 116^{\circ}\text{C}$ ).

Na Fig. 18 está representado um sistema de sobrealimentação. Na parte central temos o turbocompressor, onde o compressor recebe o ar proveniente do exterior, e a turbina deixa passar os gases queimados do motor. Neste caso, os controladores empregues são o Controlador Diferencial e o Controlador Densidade que, sentindo o MAP e a “Deck Pressure”, controlam o regresso de óleo do actuador da Válvula de Escape para o motor. Para pressões entre o compressor e a entrada do cilindro elevadas, pouco ou nenhum óleo passará, enquanto que, para pressões reduzidas passará maior caudal. Quanto menor for a quantidade de óleo que passa, maior será a abertura da Válvula de Escape onde passarão os gases provenientes do motor para diminuir a velocidade da turbina. Caso contrário, se os controladores permitirem a passagem de maiores quantidades de óleo, teremos uma menor abertura da Válvula de Escape, bloqueando assim a passagem dos gases de escape e obrigando-os a passar pela turbina, o que aumentará a sua velocidade. Qualquer alteração da velocidade da turbina provoca uma alteração proporcional no compressor dado que estes estão ligados por um veio.



Legenda:

- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| 1. Pressão de Escape;                      | 2. MAP;                              |
| 3. Retorno do óleo para o Motor;           | 4. Controlador Densidade de Pressão; |
| 5. Combustível;                            | 6. Acelerador;                       |
| 7. Controlador Diferencial de Pressão;     | 8. Retorno do óleo para o Motor;     |
| 9. Válvula de Escape de Passagem Única;    | 10. Óleo proveniente do Motor;       |
| 11. Entrada de ar Ambiente;                | ➔ Sentido de deslocação do Fluido;   |
| Óleo do Motor;                             | Ar de entrada no compressor;         |
| Pressão de descarga do Turbocompressor;    | Gases de escape;                     |
| Gases de escape após da Válvula de escape; | MAP induzida.                        |

*Fig.18 - Sistema de sobrealimentação.*

### 1.2.3 Processo de “Overhaul”

Ao executar o “Overhaul” ao motor, o sistema de sobrealimentação não pode ser deixado à margem, e os seus componentes necessitam igualmente de ser limpos, examinados e testados antes de serem instalados novamente no sistema.

Podem ser invocadas muitas razões para a realização de um ”Overhaul” para além do desgaste óbvio das peças devido aos altos regimes de rotação atingidos. Um dos motivos pode ser a sujidade acumulada pelos resíduos de carvão mineral procedente dos gases queimados. Estes resíduos aderem às alhetas dos roletes e desequilibram o eixo de rotação, o que prejudica o desempenho do aparelho. Contudo, este facto pode ser evitado se o turbocompressor, bem como o restante sistema, forem periodicamente submetidos a um trabalho de desmontagem e de limpeza completos ( Fig.19).

Deve-se portanto, seguir o manual de “Overhaul” do fabricante desde que se retira o componente até que este seja recolocado no sistema, executando todos os procedimentos recomendados pelo fabricante.

Este procedimento de “Overhaul” é então constituído por desmontagem, limpeza inspecção, reparação ou substituição, montagem e teste. É nesta última fase que se insere o banco de ensaios que se propõe construir. A sua função será testar as válvulas e controladores do sistema de sobrealimentação, permitindo saber se o equipamento se encontra efectivamente nas condições adequadas ao funcionamento.



*Fig.19 - O mesmo Turbocompressor antes e depois de "Overhaul", respectivamente.*

[25]

## **Capítulo 2**

### **2 Conceção**

Antes de qualquer concepção é importante analisar o banco de ensaios disponível no mercado para o teste às válvulas e controladores do sistema de sobrealimentação. O instrumento em causa denomina-se “Turbocontrol Test Set” (AID P/N 481070), e é produzido exclusivamente pela empresa que produz os controladores, a Garrett (Fig. 20). Talvez por isso, a informação sobre o seu funcionamento seja bastante escassa e o quer que se diga neste trabalho sobre as funcionalidades do Turbocontrol, é pura especulação baseada em imagens do respectivo banco de ensaios.

Portanto, instrumento testa os componentes apenas com pressão de ar. Possui um aperto universal que segurará os componentes através de grampos, podendo-se testar as mais variadas válvulas e controladores através de leituras registadas em manómetros. Será, possível regular as pressões nos manómetros através válvulas, para que possamos testar toda a família de componentes fabricados por essa mesma empresa.



*Fig. 20- Turbocontrol Test Set AID P/N 481070-1.*

## 2.1 Projecto Preliminar

Chegados a este ponto, interessa saber em concreto quais os testes a efectuar após o "Overhaul" de válvulas e controladores. Uma vez que já existem bancos de ensaios similares, poder-se-ia utilizar a ideia base e realizar um projecto num modelo existente. Contudo, devido à escassez de informação, a solução passa por recriar o ambiente em que válvulas e controladores operam. Dado que estes componentes interagem apenas com ar e óleo às pressões atingidas no interior do motor, iremos utilizar estes mesmos fluidos para verificar se o comportamento dos componentes corresponde aos valores de pressão para funcionamento do motor.

Sabendo os objectivos para efectuar o teste, projectou-se um instrumento para conjugar diversos aparelhos, de modo a conseguir recriar o ambiente referido. Surgiram várias ideias e foram efectuados alguns esboços preliminares (Fig.21):

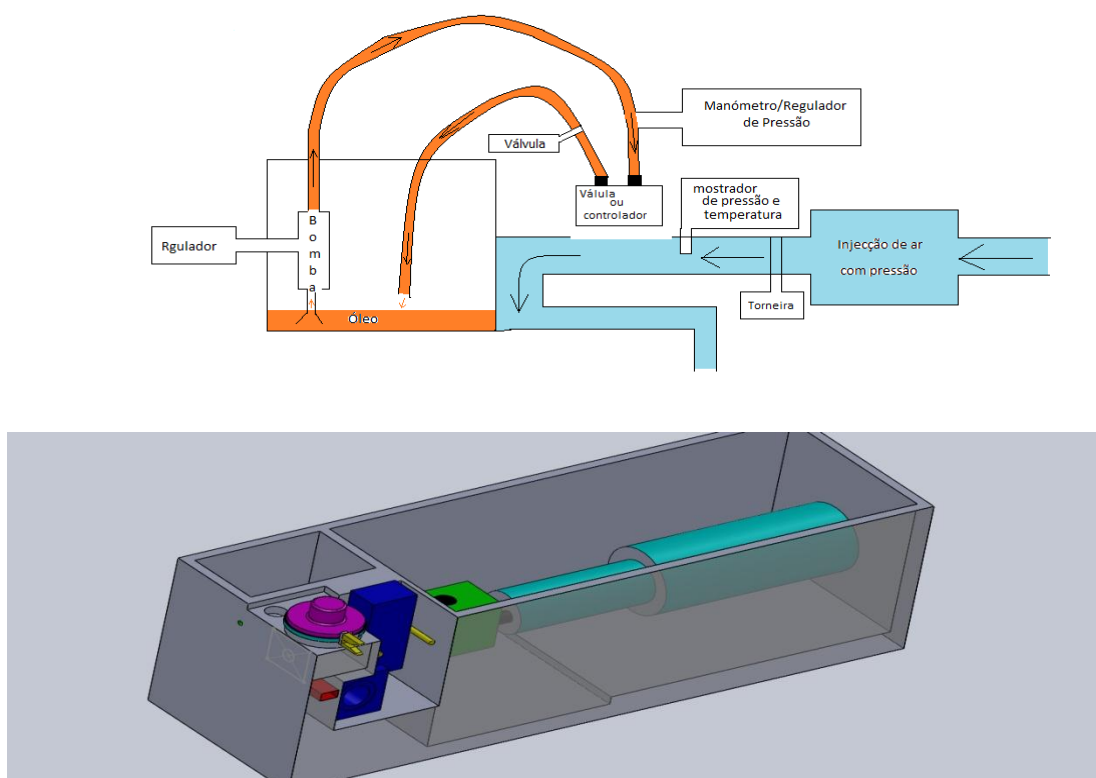


Fig.21- Esboços de uma das primeiras versões projectadas.

A lógica do trabalho é um aspecto fundamental que não deve ser descuidado. O banco de ensaios deve ter um funcionamento intuitivo, que permita que o técnico ao deparar-se com o instrumento, tenha *a priori* uma noção, a mais correcta possível, do seu funcionamento. Assim, o manuseamento do banco de ensaios será facilitado e o técnico poderá canalizar a sua concentração no que é essencial, a relação entre os valores de pressão e a acção dos componentes. Apresenta-se seguidamente na Fig. 22 a versão final do projecto preliminar:

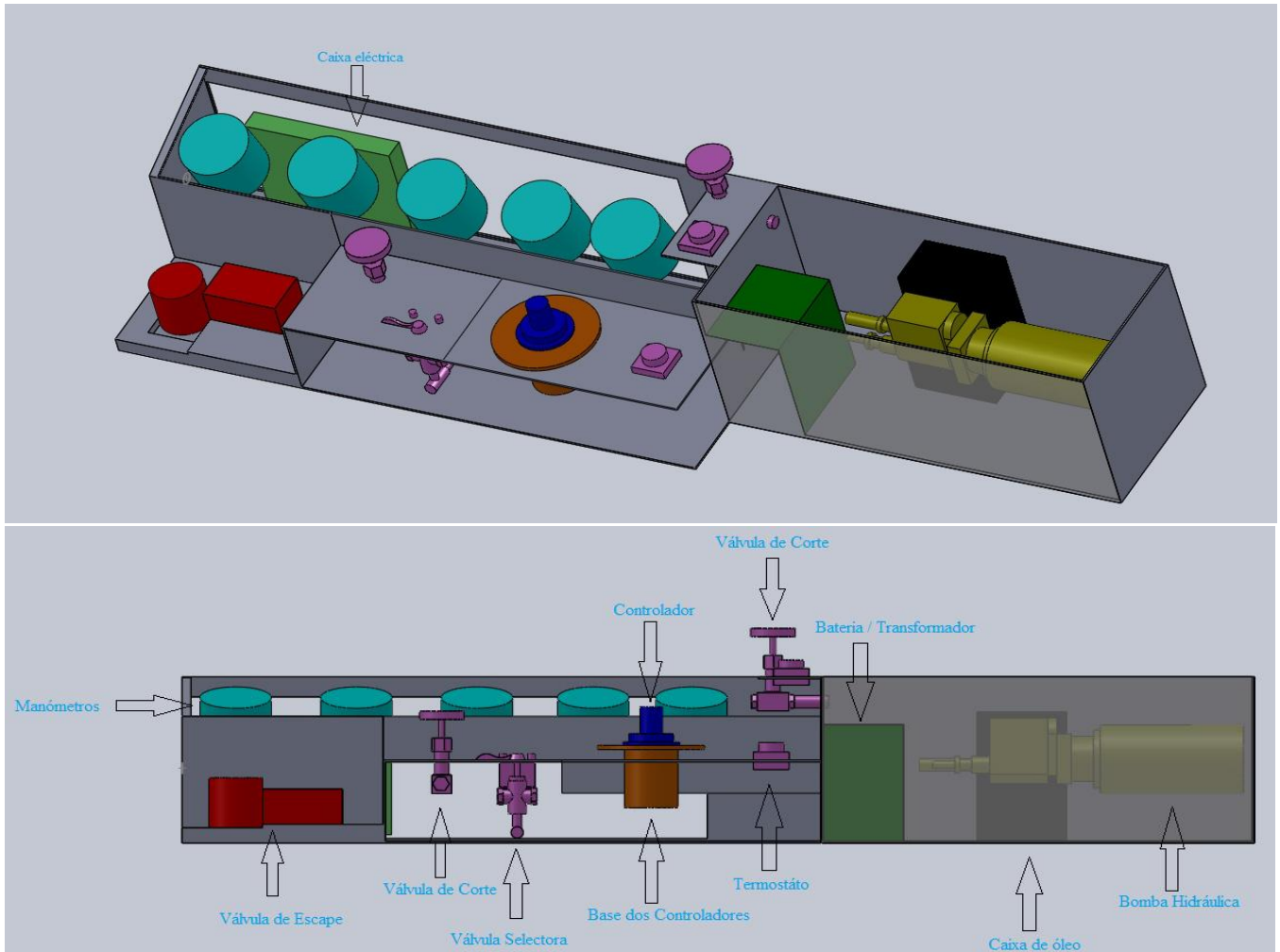


Fig.22- Visão de conjunto do banco de ensaios projectado.

Na Fig. 22 temos uma bomba hidráulica (amarelo torrado) que bombeará óleo aquecido para o controlador (azul). A cor-de-rosa representam-se as superfícies de controlo. O caudal de óleo e ar serão controlados individualmente por válvulas de corte, e as temperaturas por termostátos. Temos também uma válvula selectora que nos permitirá direccionar o caudal do ar. O controlador estará encaixado no respectivo suporte de controladores (verde) enquanto a Válvula de Escape (vermelho) terá um local de testes apropriado para esse fim. Temos ainda o recipiente do óleo (preto), os manómetros (azul marinho) que efectuarão as leituras, e o transformador/bateria da bomba hidráulica (verde escuro) que alimenta a bomba. A verde claro temos a caixa eléctrica onde todo o sistema eléctrico se conecta.

### 2.2 Projecto conceptual

Nesta fase do projecto é indispensável elaborar um novo desenho pormenorizado do conjunto (Fig. 23). O desenho de todos os componentes do banco de ensaios é feito à escala, verificando o espaço disponível e a interferência entre componentes. Aqui já são conhecidos os materiais a usar na construção do banco de ensaios, bem como o respectivo orçamento.

Elaborou-se o seguinte projecto conceptual (Fig. 23):

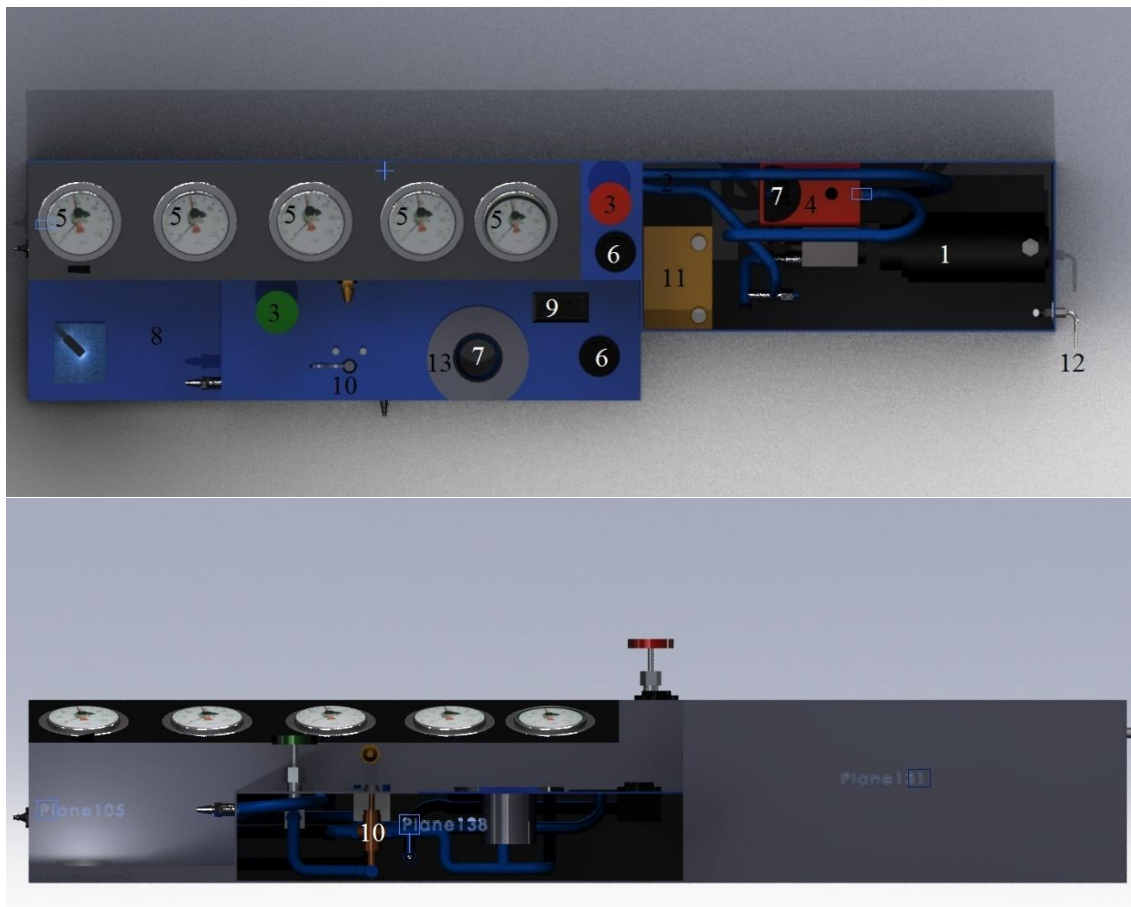


Fig.23 - Desenhos conceptuais do banco de ensaios.

Posto isto, o banco de ensaios terá os seguintes constituintes:

1. Bomba centrífuga: Bomba de de combustível; Pressão máxima 360 psi; Tensão 24v; Amperagem 60A/h, DC.
2. Tubos;
3. Válvulas de corte (2);
4. Recipiente para o óleo;
5. Manómetros de pressão (5):
  - Para ar (3): Leitura horizontal; Classe de precisão 1.6; 0-6 bar; Ponteiro de

- arrasto 232.63; DN63. (Dois terão os ponteiros de arrasto enquanto um não)
  - Para óleo (2): Leitura horizontal; Classe de precisão 1.6; 0-16 bar; Ponteiro de arrasto 232.63, Para óleo aquecido a 120°C; DN63.
6. Termóstato: Cotherm 4209GTLH0221; Amperagem 20A; Voltagem 250V; AC.
  7. Resistências (2):
    - Ar: Philips – Tubular.
    - Óleo: Philips – Tubular.
  8. Lâmpada 40W
  9. Termómetro digital;
  10. Válvula Selectora;
  11. Alimentação da Bomba (Transformador/Bateria);
  12. Corta circuito de bateria
  13. Suporte para os controladores;
    - Parafusos 5.8mm com a respectiva porca e anilha;
    - Fios de ligação;
    - Placas metálicas: Aço Inox e Aço de construção mecânica.
    -

### 2.3 Descrição do Banco de Ensaio

O banco de testes foi projectado e construído numa parceria entre a UBI (Universidade da Beira Interior) e a Aerotécnica (empresa sediada em Tires, especializada em “Overhaul”). A Fig. 24 apresenta o Hangar da empresa e o Pólo das Engenharias da UBI, respectivamente.

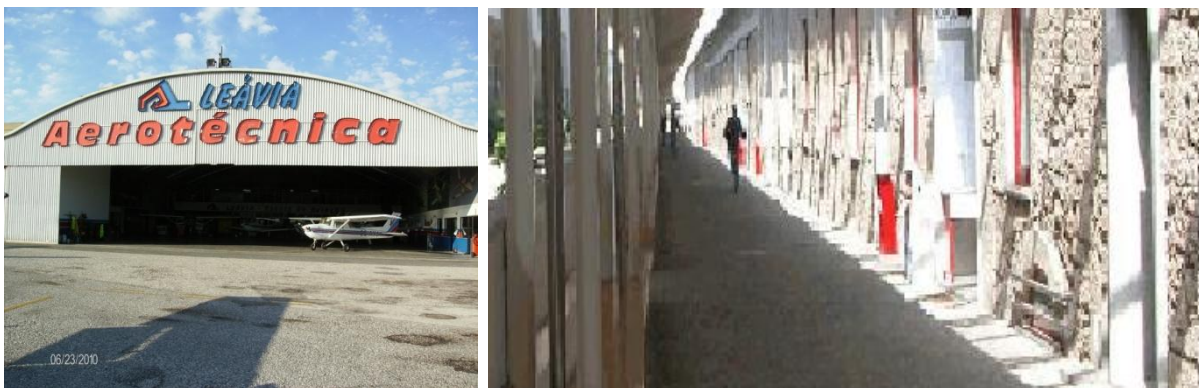


Fig. 24- Hangar da Empresa Aerotécnica e o Pólo das Engenharias da UBI.

O Banco de Ensaio pode ser dividido em cinco partes. A primeira parte é constituída pela bomba hidráulica, um reservatório de óleo, com a resistência correspondente, e um suporte de alimentação da bomba. É aqui que o óleo do reservatório é aquecido pela resistência no interior do recipiente e bombeado para o circuito pela bomba hidráulica, que por sua vez é alimentada por uma bateria ou transformador colocado junto dela. A segunda parte do Banco de Ensaio é constituída por uma base para os controladores, um termostato e um termómetro digital. No suporte, os diferentes tipos de controladores podem ser encaixados, apertados e testados. Nesta base será injectado ar nas pressões que seriam as usuais de

funcionamento do motor, após terem passado pelo turbocompressor. Já o termóstato e o termómetro servirão para controlar a temperatura no interior da base.

Os constituintes da terceira parte são a válvula de corte e a válvula selectora do ar, onde podemos controlar o caudal do ar e direccioná-lo para o componente a ser testado.

A quarta parte destina-se à Válvula de Escape sendo aqui devidamente posicionada e testada.

Na última parte temos a válvula de corte do óleo, os manómetros e o termóstato de óleo. Aqui é controlada a pressão do óleo, são registados os valores de pressão, é controlada a temperatura do óleo e confirmada a correspondência dos parâmetros obtidos com os indicados pelo fabricante.

Posteriormente, usar-se-ão tubagens flexíveis para efectuar as ligações entre os componentes, elemento fundamental em todo o processo.

Teremos então o banco de ensaios final, uma máquina complexa, que é um instrumento de apoio com diversos componentes reunidos num aparelho construído ou adaptado para a sua finalidade. Para uma instalação deste tipo funcionar correctamente e de forma rentável, as partes devem ser combinadas de modo a cumprir os requisitos operacionais do utilizador e a serem compatíveis com os regulamentos de funcionamento.

Podem surgir alguns problemas na análise dos componentes e na integração entre si. O mais comum será a perda de pressão entre a tomada de medição e o aparelho de medida. Contudo, como não existe movimento em qualquer parte do sistema de medição, e ao trabalhar apenas com pressões estáticas, as perdas serão nulas. Portanto, não é necessário elaborar qualquer estudo às possíveis perdas, quer na parte do óleo ou do ar.

### **2.4 Construção do banco de ensaios**

A construção do banco de ensaios foi a tarefa mais complexa e demorada de todo o projecto. Inicialmente não foi possível ter a real percepção das dificuldades inerentes à sua construção e a inviabilidade de conjunção de alguns componentes, obrigaram à alteração do projecto inicial. Ao longo do processo de construção, foram utilizadas várias técnicas e ferramentas, tais como a quinadeira, engenho de furar, berbequim, tesoura de chapas, rebarbadora, lixa e torno, entre outros. Paciência, astúcia e técnica no manuseamento das ferramentas, foram essenciais para levar a bom porto este projecto. As fotografias da Fig. 25 mostram alguns momentos da fase de construção do banco de ensaios:



*Fig.25- Fases de construção do Banco de Ensaios.*



*Fig. 26 Banco de ensaio já construído*

## **Capítulo 3**

### **3 Método Experimental**

#### **3.1 Capacidades do Banco de ensaios:**

O Banco de ensaios terá capacidade para testar controladores e válvulas permitindo ainda que estes componentes sejam afinados durante o próprio teste. Contudo, a qualidade mais notável em relação ao outro banco de ensaio em venda comercial, é a capacidade de testar o conjunto válvula + controlador em simultâneo. O banco permite também a possibilidade de trocar apenas um actuador, ou mesmo um controlador de qualquer sistema turbo, verificar se é compatível com o restante sistema e proceder à afinação de modo a otimizar o seu funcionamento.

Para além dessa capacidade, é importante ter em conta que estamos a trabalhar com os verdadeiros fluidos de trabalho das válvulas e dos controladores, em que as temperaturas e as pressões são próximas das que temos no interior do motor em funcionamento. Assim, somente o aspecto vibratório do motor não é simulado, pois a sua relevância no processo de sobrealimentação é reduzida.

#### **3.2 Testes**

##### **3.2.1 Banco de Ensaios**

Dado que os aparelhos utilizados são essencialmente analógicos, será necessário uma calibração periódica. É então realizado um teste com o intuito de confirmar o efectivo funcionamento dos instrumentos, evitando assim erros que poderiam ser desastrosos. Utilizando apenas dois instrumentos para este processo, o manómetro padrão e o termómetro, realiza-se o pré-teste. É preciso ter em atenção que qualquer teste deve ser iniciado com a bomba e as válvulas de corte na posição desligadas.

Com o manómetro padrão é possível certificar os registos dos manómetros do banco de ensaios. Para tal, consoante o manómetro utilizado, teremos ligeiras diferenças no procedimento:

- Para o manómetro de entrada de óleo no controlador conecta-se o manómetro padrão na entrada do óleo para os controladores. Depois de ligada a bomba hidráulica vai-se abrindo a válvula de corte do óleo, e verificando se existe alguma diferença entre os valores dos 2 manómetros. Caso haja, teremos de calibrar o manómetro de entrada do óleo até a igualdade de valores se atingir.
- Para o manómetro de saída do óleo do controlador, conecta-se o manómetro padrão ao tubo de retorno de óleo à caixa deste fluido, recorrendo-se a um T, encaixado previamente. Faz-se então a ligação entre a saída e a entrada do óleo para o controlador conectando as duas. Desta forma, depois de ligada a bomba hidráulica vai-se abrindo a válvula de corte do óleo, e tomando atenção aos valores dos 2 manómetros vendo se existe alguma diferença. Caso haja, teremos de calibrar o manómetro de entrada do óleo até atingir valores idênticos.
- Para o manómetro de entrada de ar do controlador, com a instalação de um T, conecta-se o manómetro padrão na saída do tubo que liga a selectora ao suporte dos controladores. Em seguida, liga-se o banco de ensaios á pressão da rede, e com a

selectora direccionada para controladores, vai-se abrindo a válvula de corte do ar analisando a diferença de valores entre os dois manómetros. Caso haja alguma desigualdade, teremos de calibrar o manómetro de entrada do ar do controlador até atingir a igualdade dos valores.

- Para o manómetro de entrada de ar da Válvula de Escape, conecta-se o manómetro padrão na entrada que seria para o actuador, liga-se o banco de ensaios à pressão da rede e, com a selectora direccionada para Válvula de Escape vai-se abrindo a válvula de corte do ar. À medida que se abre a válvula analisa-se a diferença entre os dois manómetros na procura por desigualdades. Caso ocorram diferenças teremos de calibrar o manómetro de entrada de ar da Válvula de Escape até a igualdade de valores se atingir.
- Para o manómetro da rede, conecta-se o manómetro padrão na 3ª entrada da válvula selectora que está obstruída por um tampão. Liga-se então o banco de ensaios à pressão de ar da rede, com a selectora direccionada para “Calibração” e vai-se abrindo a válvula de corte do ar. À medida que se abre a válvula verifica-se a diferença entre os dois manómetros. Caso haja diferenças, teremos de calibrar o manómetro de entrada do óleo até a igualdade de valores se atingir.

Todos os manómetros utilizados no banco de ensaios serão devidamente certificados pela EIA comprovando que estão devidamente calibrados contendo uma garantia temporária de bom funcionamento.

Relativamente ao termóstato, foram realizados dois testes, um para o ar e outro para o óleo. Para o teste do termóstato de ar introduzimos o termómetro no interior do suporte para os controladores e variámos a temperatura no termóstato. O termómetro deverá acompanhar estas variações de temperatura. Caso isto não se verifique, teremos de calibrar o termóstato do ar. Para o caso do óleo, temos o orifício por onde o óleo é introduzido na caixa de óleo para introduzir o termómetro. No entanto, o primeiro procedimento a efectuar é ligar a bomba, com a válvula de corte do óleo aberta e o circuito de passagem do óleo fechado, certificando-nos que a temperatura do óleo seja ligeiramente inferior à imposta pelo manómetro. Com a bomba em funcionamento, deveremos aguardar alguns momentos para ter a confirmação de que a diferença de temperaturas é reduzida, e caso isso não se verifique teremos de calibrar o termóstato do óleo. Tendo em atenção que a temperatura na parte superior da caixa é bem maior do que na parte inferior, a leitura de temperatura com o manómetro deverá ser efectuada na parte superior junto à zona onde o óleo é sugado pela bomba.

### 3.2.2 Válvula de Escape

No que diz respeito à Válvula de Escape, apenas o elemento ar será usado para a sua calibração. Contudo, se quisermos ver o seu desempenho ao trabalhar com óleo, também o poderemos fazer desde que respeitemos os limites de funcionamento do motor. Assim, a válvula e o respectivo actuador montado, deverão primeiramente ser colocados no devido local de teste (13) do banco de ensaios, e uma extremidade do orifício da válvula deverá ser encostada à lâmpada. Em seguida, certificamo-nos de que a selectora se encontra posicionada no sentido Cable e, ao rodar a válvula de corte do ar vamos tendo em atenção o manómetro da medição do ar da Válvula de Escape (5). Para cada tipo de Válvula de Escape são necessários procedimentos específicos indicados nas secções seguintes.

### 3.2.2.1 Pequena Válvula de Escape

Introduzir ar pressurizado à pressão de 122 in.Hg (60 psi) na entrada de óleo do actuador, enquanto a saída deverá estar fechada/obstruída por um tampão.

Deveremos verificar que à medida que se aumenta a pressão, o movimento da válvula é suave no sentido de obstruir o orifício, e que não há escape do ar pelo dreno. Se houver, o problema deverá estar na vedação que terá de ser rectificada ou substituída. Então, deverá verificar-se que o movimento total é de pelo menos 5/8”.

Para o caso da Válvula de Escape de Passagem existem as três variedades, pelo que deveremos ter diferentes condições de teste.

### 3.2.2.2 Válvula de Escape de Passagem Dupla

Com a porta de saída do óleo fechada, aplica-se 122 in.Hg de pressão de ar à porta de entrada do actuador. Ajusta-se o tensor até a extremidade da borboleta que deve estar a uma distância de 0.005 in a 0.025 in da carcaça. Colocam-se os parafusos de bloqueio do tensor enquanto a porca de bloqueio deverá ser apertada entre 80 a 100 libras por polegada. Instala-se a mola com os respectivos apertos e retira-se a pressão sobre a entrada do actuador. O ajuste deverá ser tal, que a válvula na posição de totalmente aberta deverá ter um espaçamento de 0.7 a 0.8 in para válvulas com o P/N 470830-10 a -20, ou 0.8 a 0.9 para os P/N 470864-1 ou 470872-1. Por fim, aperta-se a porca no cimo do actuador (se existir) com um binário de 60 a 80 libras por polegada. Deve-se ainda verificar, aumentando e reduzindo a pressão do ar até 122 in.Hg, se o movimento da válvula é suave e se não existe fuga no dreno. Caso exista, o problema será do vedante que deve ser substituído.

### 3.2.2.3 Válvula de Escape de passagem única com pequeno actuador

Com a porta de saída do óleo fechada, introduzir-se 122 in.Hg na porta de entrada do actuador. Para as Válvula de Escape com o P/N 470780,470842,470954,481064,470908-6,-12,-13,15,17 ou -19, ajusta-se o tensor até que a borboleta esteja em contacto com a carcaça. Entre a borboleta e a carcaça, nunca haverá um bloqueamento total. Assim, tal como indicado na Tabela 2 teremos espaçamentos máximos que se poderão verificar aos 122 in.Hg (60 Psi).

**Tabela 2 – Válvula de Escape de passagem única com pequeno actuador, espaçamento fechado para os diferentes P/N.**

AiResearch P/N	Espaçamento (in)
470818-1	0.065 a 0.08
470818-2	0.000 a 0.012
470818-3	0.023 a 0.037
470818-5	0.000 a 0.012
470818-6	0.095 a 0.110
470818-10	0.000 a 0.012

Seguidamente instalam-se os parafusos de bloqueamento do tensor. Fecha-se a válvula de corte do ar, devendo-se mesmo desapertar a ligação de entrada. A borboleta deverá então ir para a posição de abertura máxima, que terá um espaçamento entre 0.975” a 1.100” para a generalidade das Válvula de Escape. Na Tabela 3 apresentam-se os espaçamentos para determinadas válvulas.

**Tabela 3 – Válvula de Escape de passagem única com pequeno actuador, espaçamento aberto para os diferentes P/N.**

AiResearch P/N	Espaçamento (in)
470818-1	0.500 a 0.540
470818-2	0.880 a 1.010
470818-3	0.800 a 0.750
470818-5	0.800 a 0.750
470818-6	0.510 a 0.500
470818-10	0.800 a 0.750
470842-3	0.700 a 0.800
470842-4	0.700 a 0.800
470954- todas	0.800 a 0.750

Aperta-se agora a porca que se encontra na parte de cima do actuador (se presente), dando-lhe um binário de 60 a 80 in.HG. Por fim, ainda com a porta de saída fechada, deveremos apertar a entrada ao cabo de pressão novamente, e aumentando e diminuindo a pressão do ar até aos 122 in.Hg, verificar se o movimento da borboleta é suave. Se não for, o problema deverá estar na vedação que terá de ser rectificadada ou substituída.

### ***3.2.2.4 Válvula de Escape de passagem única com grande actuador***

Com a porta de saída do óleo fechada, aplica-se 122 in.Hg de pressão de ar à porta de entrada do actuador. Ajusta-se o tensor até as extremidades da borboleta estarem em contacto com a carcaça. Mas, haverá sempre um intervalo para este tipo de Válvula de Escape. Este espaçamento, identificado na Tabela 4 varia conforme o P/N.

**Tabela 4 – Válvula de escape de passagem única com grande actuador, espaçamento fechado para os diferentes P/N.**

AiResearch P/N	Espaçamento (in)
470622	0.005 a 0.015
470622-1	0.065 a 0.075
470656	0.200 a 0.210
470656-1	0.005 a 0.020

Apertam-se os parafusos de bloqueio e no final fecha-se a válvula de corte, devendo-se mesmo desapertar a ligação de entrada do actuador. A válvula irá para a posição máxima de abertura que no entanto deverá ter o espaçamento consoante o P/N representado na Tabela 5.

**Tabela 5 – Válvula de escape de passagem única com grande actuador, espaçamento aberto para os diferentes P/N.**

AiResearch P/N	Espaçamento (in)
470622	0.417 a 0.427
470622-1	0.500 a 0.510
470656	0.650 a 0.750
470656-1	0.880 a 1.010

Agora, com a porta de entrada novamente conectada, dever-se aumentar e diminuir a pressão do ar até 122 in.Hg, verificando se o movimento da válvula é suave e que não existe fuga no dreno. Caso exista, o problema será do vedante que deve ser rectificadado ou substituído. Por fim aperta-se a porca no cimo do actuador (se existir) com um binário de 60 a 80 libras por polegadas.

### **3.2.2.5 Actuador**

Também poderemos ter casos, em que se executa apenas o “overhaul” do actuador sem a respectiva válvula. Em primeiro lugar, deveremos fornecer ar pressurizado à pressão de 122in.Hg na entrada de óleo do actuador, e a saída deverá estar fechada/obstruída por um tampão.

Assim, deverá verificar-se que à medida que se aumenta a pressão, o movimento da válvula é suave no sentido de obstruir o orifício, não havendo escape do ar pelo dreno. Se houver, o problema deverá estar na vedação que terá de ser rectificadada ou substituída.

Verificar que o curso total é de pelo menos 3/4”.

### **Para todos Actuadores/Válvulas**

Em todos os Actuadores/Válvulas deve-se testar a montagem capilar que consiste em efectuar o mesmo teste mas com a porta de saída aberta, ou seja, introduzimos igualmente os 122 in.Hg de pressão de ar no orifício de entrada, enquanto a saída não terá qualquer obstrução. A válvula portanto, não se deverá mexer, e o ar deverá sair pela porta de saída livremente. Neste teste não se tem necessário registar nenhum espaçamento.

### 3.2.3 Controladores

Para o teste dos controladores a lógica será muito semelhante, apesar de variar ligeiramente consoante o tipo de controlador a testar. Contudo, independentemente do controlador, este deverá ser colocado no suporte dos controladores (13) do banco de ensaios, verificando-se que estão todas as válvulas fechadas e a bomba desligada. Em seguida devemos encaixar uma junta no suporte dos controladores (13) do banco de ensaios. Quanto ao controlador, a parte do sensor do ar na admissão deverá estar voltada para baixo de modo a que as abas do controlador estejam colocadas por cima da junta previamente instalada no suporte (13). Posto isto, procede-se ao aperto do controlador na aba (13) através dos parafusos de suporte, próprios para este fim. Em seguida, roda-se a selectora (10) para a posição controlador e liga-se o termóstato do óleo regulando-o para a temperatura do óleo do motor em questão. Para finalizar a preparação do teste, liga-se o banco de ensaios à pressão de ar da rede. No entanto, como temos diversos tipos de controladores e assim o teste a efectuar em cada um deverá ser ligeiramente diferente, essencialmente no que diz respeito aos valores de pressão administrados.

Atendendo aos valores de pressão (ar e óleo) do motor a que pertence o controlador teremos:

#### 3.2.3.1 Controlador de Pressão Absoluta

Efectuada a preparação do teste, começamos a abrir a válvula de corte do ar, até que a pressão lida no manómetro do ar atinja o valor máximo do MAP do motor de destino. Quando esta for atingida, ligamos a bomba hidráulica e vamos abrindo a válvula de corte do óleo até a pressão do manómetro do óleo de entrada ser igual à máxima do motor a que se destina. Quando os valores máximos de entrada da pressão forem atingidos, pode-se confirmar através do manómetro de saída do óleo se a pressão da saída deste é igual ou semelhante à de entrada. Se a diferença for superior a 1in.Hg deve-se ajustar o controlador, até que a diferença esteja dentro deste intervalo. Quando a diferença mínima for atingida, deve-se abrir ainda mais a válvula de corte do ar de forma a aumentar a pressão no manómetro do ar de entrada até mais 10 in.Hg. À medida que se aumenta a pressão do ar, deve-se verificar se o manómetro de saída do óleo sofre alguma alteração. Perante a variação da pressão do ar, o valor de pressão da saída do óleo deverá manter-se constante, confirmando-se assim que a válvula está bem calibrada. Caso contrário, se o valor de pressão do óleo de saída aumentar, então teremos de calibrar o controlador e repetir todo o processo até que se verifique estabilidade perante o aumento da pressão do ar.

No final, também deveremos fazer o inverso, ou seja, diminuir a pressão do ar e verificar que a pressão do óleo também diminui proporcionalmente e não de uma maneira muito lenta.

### **3.2.3.2 Controlador Variável de Pressão Absoluta**

Após encaixar o controlador e a respectiva junta no suporte, iniciamos a abertura da válvula do ar, até que a pressão lida no manómetro de entrada de ar atinja a máxima MAP do motor de destino. Posto isto, bloqueia-se a posição da “came” para a máxima posição do acelerador. Quando esta for atingida, ligamos a bomba hidráulica e abrimos a válvula do óleo até que a pressão do manómetro do óleo de entrada seja igual à máxima do motor a que se destina. Quando os valores máximos de entrada da pressão forem atingidos, pode-se confirmar se a pressão da saída do óleo é igual ou semelhante à da entrada. Se a diferença for superior a 1in.Hg deve-se ajustar o controlador, até que a diferença esteja dentro deste intervalo. Quando a diferença mínima for atingida, deve-se abrir a válvula do ar de forma a aumentar a pressão no manómetro do ar de entrada até mais 10 in.Hg. À medida que se aumenta a pressão do ar, deve-se verificar se o manómetro de saída do óleo sofre alguma alteração. Caso o valor de pressão da saída do óleo se mantiver constante perante a variação da pressão do ar, teremos a confirmação de que a válvula está bem calibrada. Caso contrário, se o valor de pressão do óleo de saída aumentar, então teremos de calibrar o controlador e repetir todo o processo até que se verifique estabilidade perante o aumento da pressão do ar.

No final, também deveremos fazer o inverso, ou seja, diminuir a pressão do ar e verificar que a pressão do óleo diminui proporcionalmente e não de uma maneira muito lenta.

### **3.2.3.3 Controlador Diferencial de Pressão**

Ao apertar o controlador e a junta no suporte, confirmamos o bloqueamento da válvula do ar, confirmando que temos 0 in.Hg no manómetro da base. Ligamos a bomba hidráulica e vamos abrindo a válvula do óleo até a pressão do manómetro do óleo de entrada ser igual à do motor a que se destina o controlador. Quando os valores de entrada da pressão forem atingidos, pode-se confirmar se a pressão da saída do óleo é igual a 0 in.Hg. Caso contrário deve-se ajustar o controlador, até que o valor seja atingido, tendo-se a tolerância de 1 in.Hg. Quando atingido, deve-se abrir a válvula do ar de forma a aumentar a pressão no manómetro do ar de entrada até mais 32 in.Hg. À medida que se aumenta a pressão do ar, deve-se verificar se o manómetro de saída do óleo vai estabelecer um equilíbrio com o da entrada de óleo. Caso o valor de pressão da saída do óleo se equilibre com a de entrada perante a variação da pressão do ar, teremos a confirmação que a válvula está bem calibrada. Caso contrário, se o valor de pressão do óleo de saída não se movimentar, então teremos de calibrar o controlador e repetir todo o processo, até que se verifique estabilidade perante o aumento da pressão do ar.

No final, também deveremos fazer o inverso, ou seja, diminuir a pressão do ar e verificar que a pressão do óleo de saída não se altera ficando perto da pressão de entrada.

### **3.2.3.4 Controlador de Pressão e Densidade**

Após encaixar o controlador e a junta no suporte, começamos a abrir a válvula do ar, até a pressão lida no manómetro do ar atingir a MAP máxima e, regulamos o termóstato do ar até que este se encontre na temperatura máxima do ar depois do compressor do motor de destino. Quando esta for atingida, ligamos a bomba hidráulica e vai-se abrindo a válvula de corte do óleo até a pressão do manómetro do óleo de entrada ser igual à do motor a que se destina. Quando os valores de entrada da pressão forem atingidos, pode-se confirmar se a pressão da saída do óleo é igual à pressão da entrada do mesmo. A diferença máxima admissível entre os dois valores é de 1 in.Hg. Quando atingido, deve-se fechar a válvula do ar de forma a diminuir a pressão no manómetro do ar de entrada, até menos 10 in.Hg. À medida que se diminui a pressão do ar, deve-se verificar se o manómetro de saída do óleo sofre alguma alteração. Caso o valor de pressão da saída do óleo diminua perante a diminuição da pressão do ar, teremos a confirmação que a válvula está bem calibrada. Caso contrário, se o valor de pressão do óleo de saída se mantiver, então teremos de calibrar o controlador e repetir todo o processo, até que se verifique a diminuição da pressão de saída do óleo perante a elevação da pressão do ar.

### **3.2.3.5 Controlador Inclinado**

Encaixa-se e aperta-se o respectivo controlador na junta por baixo no suporte de controladores. Em seguida, inicia-se a abertura da válvula do ar até que a pressão lida no manómetro do ar atinja 32 in.Hg. Quando atingido, ligamos a bomba hidráulica e vamos abrindo a torneira do óleo até a pressão do manómetro do óleo de entrada ser igual à máxima do motor a que se destina. Quando os valores máximos de entrada da pressão de óleo forem atingidos, pode-se confirmar se a pressão da saída do óleo é igual ou bastante próxima da de entrada. Se a diferença for superior a 1 in.Hg deve-se ajustar o controlador, até que a diferença esteja dentro deste intervalo. Quando a diferença mínima for atingida, deve-se abrir a válvula do ar, de forma a aumentar a pressão no manómetro do ar de entrada até mais 10 in.Hg. À medida que se aumenta a pressão do ar, deve-se confirmar que o manómetro de saída do óleo não sofre alteração. Posto isto, desliga-se a bomba e conecta-se o tubo flexível na entrada da “Deck Pressure” do controlador. Depois, com a selectora virada para a base, impõe-se a MAP máxima girando a válvula de corte do ar. Gira-se a selectora para o cabo flexível e impõe-se a MAP máxima da mesma maneira, olhando para o manómetro respectivo do cabo. Depois, liga-se a bomba impondo-se a máxima pressão e temperatura para o óleo tendo em conta o motor a que se destina o controlador. Deverá então confirmar-se que o manómetro de saída de óleo estará igual ao da entrada, podendo existir uma diferença máxima de 1 in.HG, caso contrário calibra-se o controlador até a diferença mínima ser atingida.

### **3.2.3.6 Controlador da Razão de Pressão**

Ao encaixar o controlador com a junta no suporte, começamos a abrir a válvula do ar, até a pressão lida no manómetro do ar atingir a MAP máxima do motor a testar. Quando atingida, ligamos a bomba hidráulica e vamos abrindo a válvula do óleo até a pressão do manómetro do óleo de entrada igualar a do motor a que se destina. Quando os valores de entrada da pressão forem atingidos, pode-se confirmar se a pressão da saída do óleo é igual ou bastante próxima da de entrada. Se a diferença for superior a 1 in.Hg deve-se ajustar o controlador, até que a diferença esteja dentro deste intervalo. Quando a diferença mínima for atingida, deve-se abrir a válvula do ar de forma a aumentar a pressão no manómetro do ar de entrada até mais 10 in.Hg. À medida que se aumenta a pressão do ar, deve-se verificar se o manómetro de saída do óleo sofre alguma alteração. Caso o valor de pressão da saída do óleo se mantiver constante perante a variação da pressão do ar, teremos a confirmação que a válvula está bem calibrada, caso contrário, se o valor de pressão do óleo de saída aumentar, então teremos de calibrar o controlador e repetir todo o processo, até que se verifique estabilidade perante o aumento da pressão do ar.

No final, também deveremos fazer o inverso, ou seja, diminuir a pressão do ar e verificar que a pressão do óleo também diminui proporcionalmente e não de uma maneira muito lenta.

### **3.2.3.7 Controlador de Proporção**

Ao encaixar o respectivo controlador com a junta por baixo no suporte, e com os tubos do óleo conectados, ligamos a bomba hidráulica e vamos abrindo a válvula do óleo até a pressão do manómetro do óleo de entrada ser igual à do motor a que se destina. Em seguida, abre-se repentinamente a válvula do ar, até a pressão lida no manómetro do ar atingir a MAP máxima do motor a testar. Quando os valores de entrada das pressões forem atingidos, pode-se confirmar se a pressão da saída do óleo é igual ou bastante próxima do da entrada. Se a diferença for superior a 1 in.Hg deve-se ajustar o controlador, até que a diferença esteja dentro deste intervalo efectuando cortes e aberturas repentinas no caudal de ar. Quando a diferença mínima for atingida, deve-se fechar a válvula do ar de forma a diminuir a pressão no manómetro do ar de entrada até menos 10 in.Hg da máxima MAP. À medida que se diminui a pressão do ar, deve-se verificar se o manómetro de saída do óleo vai aos 0 in.Hg. Caso o valor de pressão da saída do óleo descer para os 0 in.Hg perante a variação da pressão do ar, teremos a confirmação que a válvula está bem calibrada. Caso contrário, se o valor de pressão do óleo de saída se mantiver ou mesmo aumentar, então teremos de calibrar o controlador e repetir todo o processo, até que se verifique a diminuição de saída da pressão do óleo perante a diminuição da pressão do ar.

### 3.2.4 Válvula de Alívio

Este banco de ensaios, permite-nos também testar a Válvula de Alívio. Esta válvula será testada na secção de teste dos controladores. De maneira semelhante aos controladores, devemos primeiro verificar que as válvulas estão fechadas e a bomba desligada. Depois colocamos a junta no suporte dos controladores e a válvula por cima. Aperta-se a aba da válvula contra a aba do banco com os parafusos para este efeito. Em seguida, vai-se abrindo a válvula de ar de modo a aumentar a pressão na válvula verificando-se por fim se ela liberta o ar à pressão adequada, que corresponde ao valor máximo do MAP menos 2 in.Hg para o respectivo motor. Caso não se verifique, desaperta-se a válvula do suporte, e abre-se esta tirando-lhe a cobertura, roda-se o diafragma para o devido acerto e volta-se a apertar a cobertura. Posto isto, é necessário repetir o teste e a afinação até que se verifique a abertura no valor adequado do MAP.

### 3.2.5 Em conjunto

Contudo, caso haja alguma incerteza nos valores de pressão a administrar, temos a grande vantagem de poder testar o Controlador e a válvula de escape em conjunto. Para isso, colocaremos os respectivos componentes nos seus lugares e a selectora será direccionada para “Controladores”. Quanto ao circuito de óleo, este passa inicialmente pelo controlador entrando na respectiva entrada. Assim, a saída de óleo do controlador deve estar ligada à entrada do actuador da válvula de escape, enquanto a saída de óleo deste deve estar conectada com a saída de óleo do banco de ensaios. Desta forma, poderemos testar o sistema Controlador + válvula de escape em simultâneo e analisar se o comportamento é o correcto consoante o controlador que está a ser testado.

## 3.3 Considerações básicas das regras de segurança

É sempre importante salientar os riscos inerentes ao manejar fluidos a alta pressão e a alta temperatura em componentes que estão a ser testados pela primeira vez, depois de terem sido remontados. A aplicação das seguintes precauções é indispensável para que o ensaio seja efectuado com todos os cuidados de segurança. O manejo dos instrumentos deve ser efectuado com os Equipamentos de Protecção Individual (EPI) apropriados, tais como: luvas, óculos, capacete com protecção facial e avental.

Os equipamentos de segurança, tais como: extintores, chuveiro lava-olhos, mangueiras de incêndio e hidratantes, devem estar num bom estado de preservação e facilmente alcançáveis. O utilizador deve sempre estar ao corrente dos procedimentos operacionais.

## 3.4 Incertezas e erros experimentais

Quer no teste do banco de ensaios ou no teste das válvulas e controladores, estamos sempre sujeitos a determinado tipo de incertezas e erros. Contudo, se o manejo das ferramentas for o mais adequado, a margem de erro será reduzida e obteremos boas medições com o aparelho. Na concretização e no uso deste projecto recorre-se a dois tipos de aparelhos de medida, e embora as suas incertezas sejam pequenas, devemos estar cientes que o erro de 0% é impossível de atingir. Estaremos então constantemente a lidar com erros que podem ter diversas origens. Portanto, se o objectivo passar por aproximar esta percentagem do zero, o trabalho extra será averiguar, e se necessário calibrar periodicamente os manómetros e os termóstatos. Este processo poderá ser então posto em prática conforme foi executado no teste do banco de ensaios, onde se averiguou o comportamento e o bom funcionamento dos manómetros e termóstatos.

### **Capítulo 4**

#### **4 Testes**

Diversos testes foram efectuados para certificar o correcto funcionamento do banco de ensaios. Efectuaram-se testes básicos, como a busca de possíveis fugas no circuito, verificando-se por vezes a necessidade de apertar melhor ou mesmo substituir tubos.

Na existência de uma componente eléctrica, também se verificou se estava tudo operacional neste sector, se o sistema não estava em perigo de curto-circuito ou em perigo de criar uma descarga eléctrica para o utilizador.

A eficiência dos termostatos foi avaliada segundo a regulamentação indicada no capítulo anterior e, as válvulas também foram testadas, verificando-se se não existiam fugas, o que originaria a perda de pressão no circuito.

Com recurso aos manómetros padrão, também os manómetros foram verificados, e posteriormente todo o sistema foi posto em funcionamento, sem qualquer tipo válvulas a testar, à procura de falhas inesperadas.

Após os testes aos diferentes sectores do banco, efectuou-se os testes às válvulas e controladores (Fig. 31).



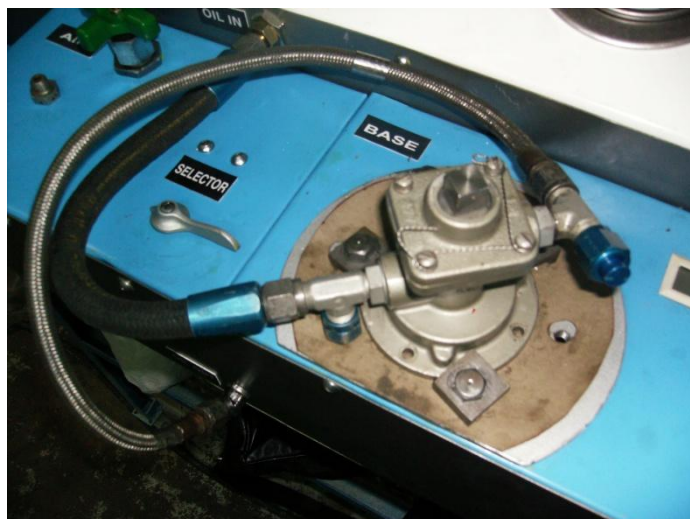
*Fig.27- Válvulas e controladores testados.*

Embora variando com o tipo de teste, é importante saber previamente os intervalos de variações de quatro factores base: a MAP, a temperatura do ar após a passagem pelo compressor, a temperatura do óleo e a pressão máxima que o óleo pode atingir no interior do motor. Assim, seguindo o protocolo indicado no Capítulo 3 testou-se válvulas de escape e de alívio bem como alguns controladores. Não se pode testar toda gama de controladores e válvulas existentes no mercado, pois a empresa Aerotécnica só executa “overhaul” a motores que façam uso de determinados sistemas de sobrealimentação, e assim apenas têm a necessidade de executar “Overhaul” a determinados componentes. Tanto as válvulas como os controladores vêm geralmente com o OEM P/N, tendo-se de recorrer à tabela de índice de dados, fornecido pela Garrett, para identificar o componente pelo AID P/N, que é o que é exposto no método experimental.

Assim, de acordo com o protocolo efectuou-se o teste à Válvula de Escape de Passagem Única OEM P/N LW12778F (Fig. 32), ao controlador densidade OEM P/N LW10682G (Fig. 33) e ao controlador diferencial OEM P/N LW10098 (Fig. 34). Todos componentes testados pertencem ao motor TIO-540-C1A.



*Fig.28- Válvula de Escape de Passagem única OEM P/N LW12778F preparada para o teste.*



*Fig.29- Controlador de Densidade OEM P/N LW10682G preparado para o teste.*



*Fig.30- Controlador Diferencial OEM P/N LW1009.*

Desta forma, recorrendo ao manual do operador, retirou-se os dados relevantes para o teste:

Máximo MAP 39 In.Hg

Temperatura máxima do óleo 118°C

Temperatura desejável do óleo 82° C

Temperatura máxima ar após passagem pelo compressor 210°F (99°C)

Pressão máxima do óleo 95 psi (193in.Hg)

Pressão mínima do óleo 55 psi (112 in.Hg)

Primando pela segurança, todos os testes a válvulas e controladores foram primeiramente efectuados com recurso a ar sob pressão no circuito do óleo, a apenas depois dos testes com ar se reconfirmou com o óleo e a bomba em funcionamento. Todos os testes foram efectuados nas instalações da empresa Aerotécnica em Cascais com a supervisão do Engenheiro André Garcia, tendo demorado em média 5 minutos para cada teste em si. No CD em anexo encontram-se os vídeos de montagem dos componentes no banco de ensaios.

### **Capítulo 5**

#### **5 Resultados**

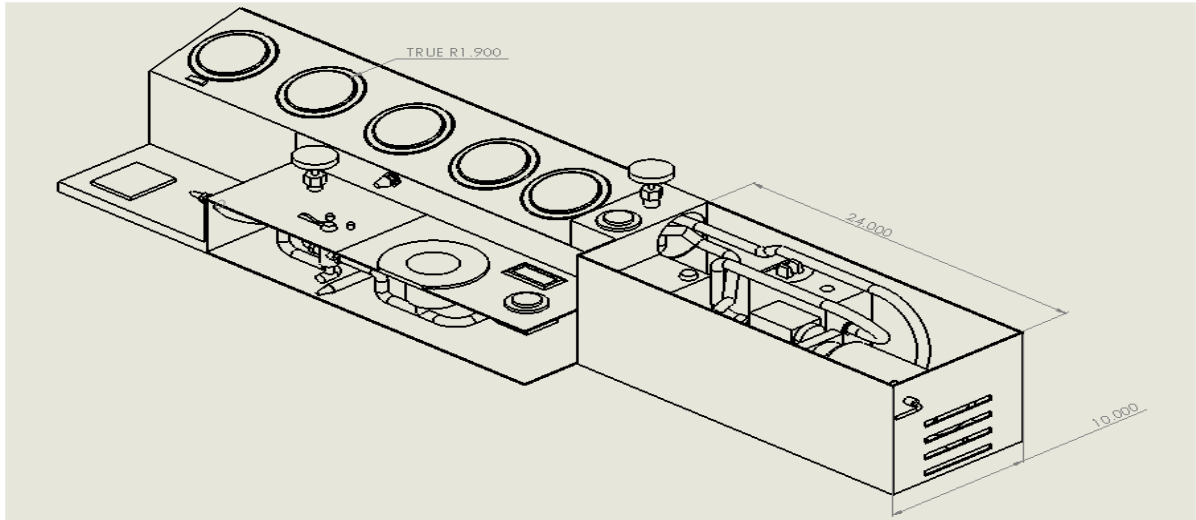
O resultado final do presente trabalho é o projecto e a construção de um banco de ensaios, obtendo-se assim uma ferramenta essencial ao “overhaul” do sistema de sobrealimentação do motor alternativo, em que diferentes componentes foram combinados de forma a garantir que o sobrealimentador cumpre os requisitos operacionais exigidos. Assim, elaborou-se uma ficha técnica relatando as potencialidades do banco de ensaios.

#### Ficha técnica:

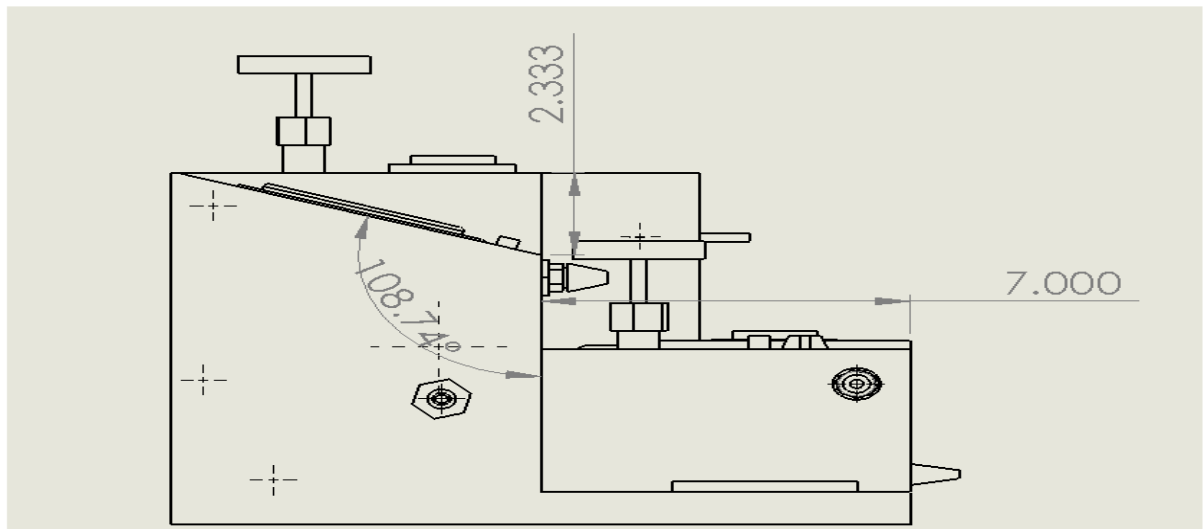
- Nome  
Turbotec – Instrumento de teste.
  
- Objectivo  
Revisão e afinação das válvulas e controladores do sistema de sobrealimentação de um motor alternativo.  
O banco de ensaios foi construído nas oficinas da Aerotécnica com base nas instruções da Honeywell Garrett, Lycoming, Continental e outras informações técnicas no que concerne a materiais, dimensões e características genéricas.
  
- Especificações:
  - Tipos e pressões do controlador a ensaiar;
  - Qualquer tipo de controlador ou válvula do sistema alternativo;
  - As leituras e registos a efectuar em cada ensaio, serão de acordo com o especificado nos manuais de “Overhaul” dos fabricantes;
  - Em anexo junta-se a Ficha de Ensaio Adoptada.

➤ Dimensões:

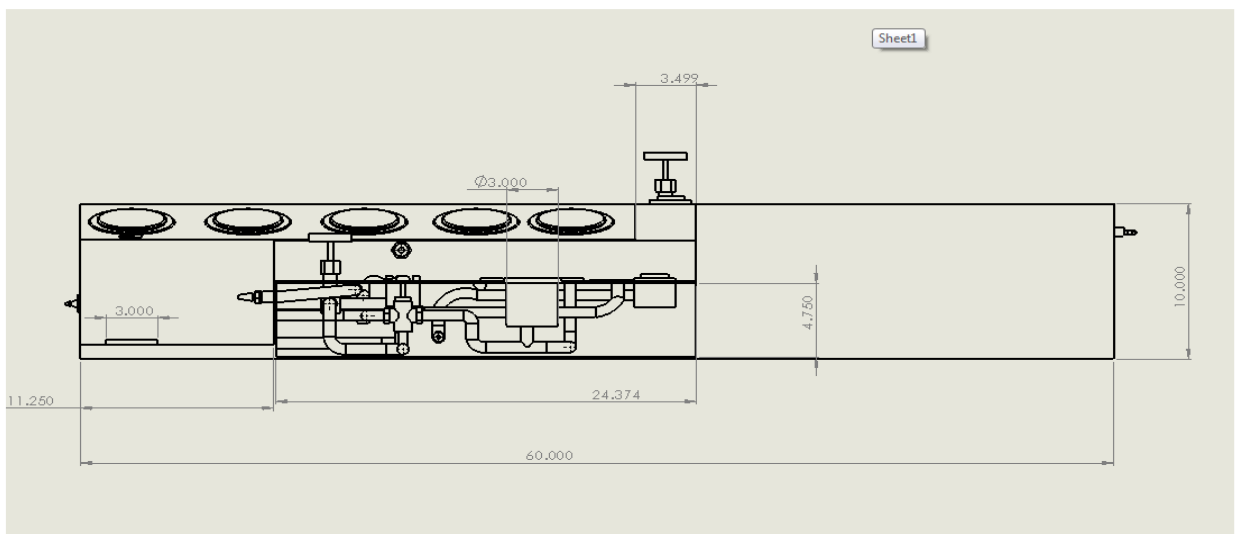
Descrição geral



Alçado lateral



Alçado frontal



➤ Equipamento

Superfícies de controlo

Destinada ao operador do ensaio das válvulas e/ou controladores, contém:

- Duas válvulas de corte;
- Dois termostátos;
- Um termómetro;
- Uma Selectora;
- Corta circuito de bateria.

➤ Energia eléctrica

O sistema eléctrico deste Banco de ensaios destina-se a fornecer energia para os dois sistemas termostato + resistência bem como à iluminação do assento da válvula de escape. A bomba hidráulica também precisa de ser alimentada, recorrendo-se ao APU\* da empresa.

➤ Estrutura

É constituído por uma chapa metálica Aço Inox, como estrutura principal de suporte, e chapas de Aço de construção mecânica, a perfazer o resto do corpo.

➤ Indicações de Funcionamento:

Painel de Instrumentos de Controlo.

É composto por:

- Manómetro indicador da pressão na rede
- Manómetro indicador da pressão no cabo de teste
- Manómetro indicador da pressão do suporte de controladores
- Manómetro indicador da pressão do óleo de entrada
- Manómetro indicador da pressão do óleo de saída
- Termómetro indicador da temperatura no interior do suporte de controladores

➤ Óleo

É usado óleo AERO100 ideal para testes após “Overhaul”.

➤ Ar

Ar comprimido fornecido por um compressor

➤ Características Técnicas

Parâmetro	Variação admissível
Pressão ar	De 0 a 500 in.Hg
Pressão óleo	De 0 a 500 in.Hg
Temperatura óleo	De 0 a 120 °C
Temperatura ar	De 0 a 150° C

Alimentação 220 V (AC)  
Tanque de óleo 1.5 l

Classe de Precisão:

- Manómetros: 1.6
- Termómetro: 0,5%

Alimentação auxiliar (para a bomba):

- 24 V (DC)
- 60 A/h

Relativamente aos testes das válvulas e controladores, verificou-se o comportamento esperado pelo banco de ensaios, sendo viável uma afinação prática e precisa.

Válvula de Escape de Passagem Única: OEM P/N LW12778F →AID P/N 470818-3.

Esta válvula não estava calibrada, como se comprovou pelo teste. Seguindo o método experimental descrito, efectuou-se a calibração como segue. Começando a movimentar-se, após chegar-se aos 45in.Hg, esta válvula ficava com o espaçamento mínimo a pressões bastantes inferiores a 122 in.Hg, pois a partir dos 78in.Hg atingiu a posição de fechada. Tal facto é possível reparar na Fig. 35, em que conseguimos ver que a partir de pressão a válvula começa a fechar e o momento em ela atinge o máximo bloqueio (Fig. 36).

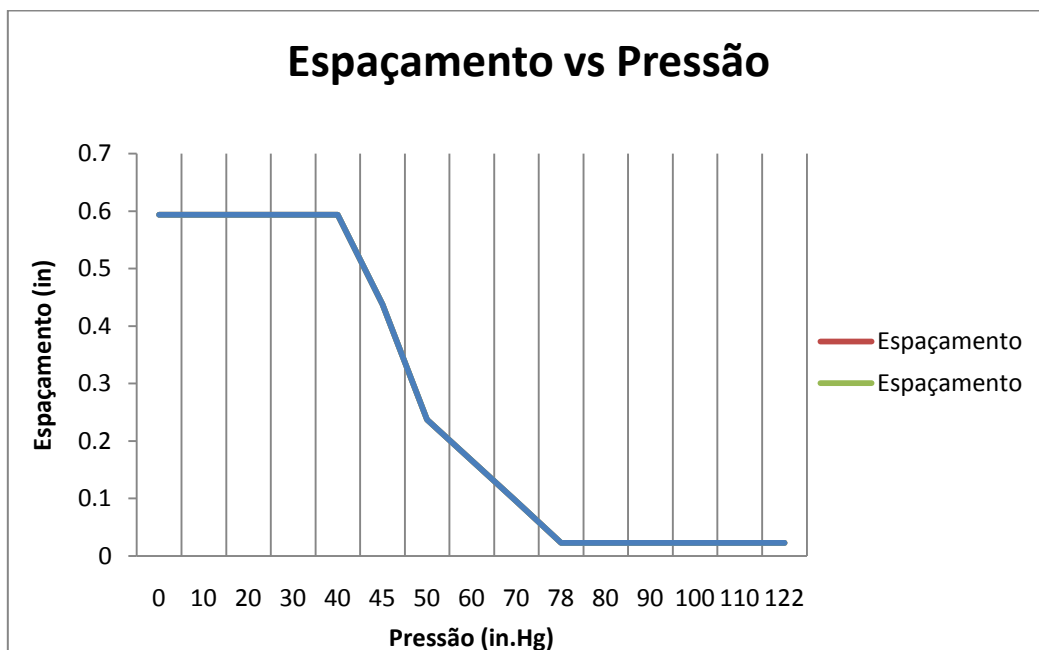


Fig. 31- Gráfico Espaço vs Pressão.

Verifica-se ainda pelo gráfico que o seu movimento é suave pois o decaimento é quase linear. Contudo, este facto também pode ser constatado nos vídeos apresentados no CD em anexo.



Fig. 32- Momento em que a Borboleta fica na máxima posição de bloqueio.

**Controlador Diferencial:** OEM P/N LW10098 → AID P/N470886-2.

Este controlador tinha a calibração devida, pois à medida que se aumentava a pressão no suporte, a pressão na saída do controlador ia atingindo um equilibrando conjunto com a de entrada. Impondo-se 120 In.Hg como pressão de entrada, à medida que se aumentava a pressão no sensor do controlador este vai deixando passar a pressão para a saída do mesmo. Após atingirmos os 32 In.Hg ele estará totalmente aberto equilibrando totalmente a pressão nos seus dois lados. Podemos melhor visualizar esta tendência de equilíbrio com o gráfico da Fig. 38:

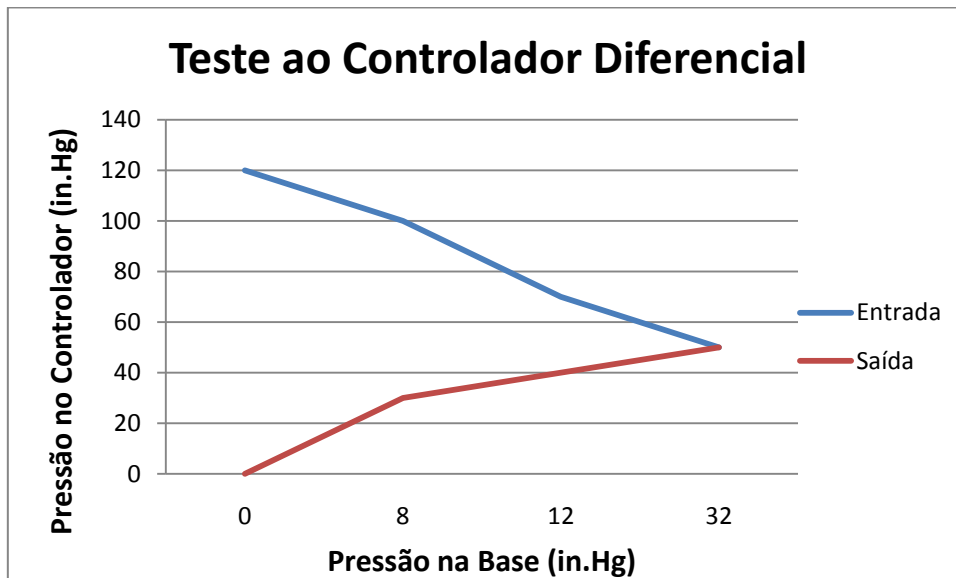


Fig.33 Teste do Controlador diferencial.

Analisando os resultados aos testes, é seguro afirmar que os instrumentos do banco de ensaios funcionam na sua plenitude e estão devidamente calibrados, sendo portanto de máxima fiabilidade para efectuar qualquer teste a válvulas e controladores do sistema de sobrealimentação de um motor alternativo.

### **Capítulo 6**

#### **6 Conclusão**

Após diversos contratemplos e dificuldades, é seguro afirmar que as diversas etapas de concepção, construção e teste do banco de ensaios foram concluídas com sucesso. Na fase de concepção foram encontradas algumas dificuldades, as quais foram ultrapassadas de forma satisfatória.

Realizar um trabalho que contemple todas as fases de criação de um instrumento, permite-nos ter a real consciência da complexidade de todo o processo. Por vezes, a parte prática ou experimental sobrepõe-se à teórica, tornando-se fundamental possuir uma ideia muito clara do que se pretende e melhorá-la através da aprendizagem com o trabalho prático. A aquisição de material para a construção também é bastante interessante, existindo um diálogo activo com fornecedores, gabinete de logística e finanças da empresa, de forma a obter a melhor relação qualidade/preço. Esta experiência teve também a mais valia de se poder acompanhar de perto o dia-a-dia de toda a estrutura e organização inerentes ao funcionamento de uma empresa, e a consciencialização da importância crucial da rapidez e qualidade dos processos neste tipo de trabalho.

Quanto aos testes das válvulas de escape, estes decorreram sem problemas relevantes, num processo em que a maior dificuldade a relatar é a sua afinação, dado que as gamas de afinação dadas pelo fabricante são muito diminutas. Contudo, o espaço e a liberdade de movimento da válvula de escape facilita todo o processo.

Relativamente ao teste dos controladores, bem como da válvula de alívio, ambos testados no mesmo suporte, verifica-se o fácil manuseamento do sistema e a rapidez de execução dos testes. Desde que tenhamos previamente os valores enunciados no Capítulo 4, o teste e a afinação dos componentes é de fácil execução. Após a calibração dos componentes, se o “overhaul” tiver sido efectuado de forma correcta, as válvulas e controladores comportar-se-ão como esperado, agindo em conformidade com a sua função futura.

Assim, e referindo-me concretamente ao banco de ensaios, atingiu-se o objectivo principal da sua construção com sucesso. Conseguiu-se um instrumento que, conjugando diferentes componentes, forma um banco de ensaios indispensável à realização de “overhaul” das válvulas e controladores do sistema de sobrealimentação de um motor alternativo. O banco de ensaios é bastante prático e universal, sendo possível testar com bastante rapidez e eficácia um vasto número de válvulas e controladores do sistema de sobrealimentação.

### Referências:

- [1] Instrumentation for engineers J. D. Turner, MIEE Departement of Mechanical Engineering University of Southampton.
- [2] Manutenção Preditiva, Caminho para Zero Defeitos, Victor Mirshwka, MIKRONBOOKS do Brasil Editora Lta.
- [3] Manutenção, Pilar Fundamental da competitividade empresarial, Federação Ibero-Americana da Manutenção, Lisboa 2,3 e 4 Setembro 1998.
- [4] Análise dos Motores de combustão interna, volume 1, Charles F. Taylor, Editora Edgard Blücher LTDA.
- [5] Análise dos Motores de combustão interna, volume 2, Charles F. Taylor, Editora Edgard Blüher LTDA.
- [6] Sistemas Auxiliares del Motor, Ciclos Formativos Profissionais, Grado Medio, Mantenimiento de Vehículos Autopropulsados Electromecánica de Vehículos, J. Pardiñas, EDITEX.
- [7] Aircraft Maintenance Tecnology, The Leading Publication For The Professional Maintenance Team, The Kelly Aeospace Turbocharger, October 1997.
- [8] Aircraft Maintenance Tecnology, The Leading Publication For The Professional Maintenance Team, Boosting Your Knowledge of Turbochager, Randy Knuteson, Part 1 and 2, October 1999.
- [9] Illustrated Parts Catalog for Aircraft System Turbochargers, Air Research Industrial Division, Garrett, TP30-4002, 15 August 1985.
- [10]Overhaul Manual for Aircraft System Valves & Controllers, Air Research Industrial Division, Garrett, TP20-0129, 15 August 1985.
- [11]Overhaul Manual for Aircraft System Turbochargers, Air Research Industrial Division, Garrett, TP20-0128, 15 August 1985.
- [12]Illustrated Parts Catalog for Aircraft System Valves & Controllers, Air Research Industrial Division, Garrett, TP30-4003, 15 August 1985.
- [13]Department of Transportation Federal Aviation Administration, Type Certificate Data Sheet No. 1E4, Textron Lycoming transferred TC 1E4 to Lycoming Engines, An Operating Division of AVCO Corporation on 17 December 2003.

## Referências

---

- [14]Lycoming Operator's Manual, O-360 and associated models, Section 5, Maintenance Procedures.
- [15]400 Series Turbo Application Chart, Kelly Aerospace.
- [16]600 Series Turbo Application Chart, Kelly Aerospace.
- [17]Department of Transportation Federal Aviation Administration, Type Certificate Data Sheet no. 1E4, Textron Lycoming, AVCO Corporation transferred TC E14EA to Lycoming Engines, An Operating Division of AVCO Corporation on 17 December 2003.
- [18]Type Certificate Data Sheet nº em-8210-02, Ministério da Aeronáutica, Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento, Centro Técnico Aeroespacial, Textron Lycoming - AVCO Corporation, 652, Oliver Street, Williamsport, Pennsylvania PA 17701,USA.
- [19]Electronic Wastegate Turbo Density-Normalized™ Controller, Tornado Alley Turbo,inc., 27 July 2009.
- [20]Mandatory Service Buletin No. 369J, Engine Inspection after Overspeed or Overboost, Lycoming USA, November 22,2004
- [21]Service Instruction No. 1257G, Horsepower, Manifold Pressure and RPM Values, Lycoming USA, 16 May 2008.
- [22]Service Letter No. 550B, Turbocharger Density Control Adjustment -- reference attached Lycoming Service Instruction No. 1187C, dated April 5, 1974,Pipper Aircraft Corporation, Lock Haven, Pennsylvania, U.S.A., July 10 1974.
- [23]Boosting Your Knowledge of...TURBO-CHARGING, Randy Knuteson – Analytical / Air Safety, Kelly Aerospace.
- [24]Desenvolvimento de um Banco de Ensaios e da Metodologia Experimental para o Levantamento das Características Operacionais de Turbocompressore Utilizando Gás Quente, Universidades Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Guliano Gardolinski Vensosn, Belo Horizonte, 9 de Maio de 2007.
- [25] Turbocharger Overhaul Instruction Garrett T25, Eiji Takada Osaka, Japan, 25 de Março de 2007.
- [26] Overhaul Manual For GTSIO-520 Series Aircraft Engines; Form X-30045A; FAA Aproved March 1981.
- [27] TCM Ignition Systems, Master Service Manual X40000, Overhaul Manuals illustrated Parts Lists Aplicacion Data Service Bulletins For Magnetos Dura-Blue Harnesses Ignition Swithces Starting Vibrators, November 1993.
- [28] Teledyne Continental Motors Aircraft Products, Model TSIO-520 Aircraft Engine Parts Catalog X30580A, August 1987.
- [29] Overhaul Manual Models TSIO-360 -A,AB -B,BB -C,CB -D,DB -E,EB -F,FB -GB -H,HB -JB K,KB -LB -MB -SB, Form No. X30596A, Teledyne Industries, Inc. FAA Aproved October 1997
- [30]Teledyne Continental Motors Aircraft Products Division, Model GTSIO-520 Engine Parts Catalog Form No. X30046A June 1984.
- [31]G1000T, Mengine indication systempilot's guide for Mooney M20M & M20R, © 2004 Garmin Ltd. or its subsidiaries, 190-00447-00 Rev. A

**Anexos**

AIRESEARCH INDUSTRIAL DIVISION



**CROSS REFERENCE TABLE**

OEM P/N	AID P/N	OEM P/N	AID P/N
C165002-0101	470934-1	C165006-0114	470908-20
C165002-0102	470948-1	C165006-0115	481064-4
C165004-0101	470782-3	C165006-0301	470842-1
C165004-0201	470828-2	C165006-0302	470842-2
C165004-0202	481012-3	C165006-0303	470842-3
C165004-0203	481012-1	C165006-0304	470842-4
C165004-0204	481012-5	C165006-0401	470830-1
C165004-0301	470838-1	C165006-0401	470830-10
C165004-0401	470822-1	C165006-0402	470830-2
C165004-0501	470688-5	C165006-0402	470830-20
C165004-0502	470688-7	C165006-0502	481044-2
C165004-0503	470688-8	C165006-0601	470954-3
C165004-0602	481008-1	C482002-0101	470930-1
C165004-0603	481008-17	C482002-0102	470866-2
C165004-0604	470836-21	C482002-0102	470930-2
C165004-0605	481008-26	C482002-0103	470866-4
C165004-0701	481058-1	C482002-0103	470930-4
C165004-0702	481058-2	C482002-0104	470866-5
C165006-0101	470826-1	C482002-0104	470930-5
C165006-0101	470908-1	C482002-0105	470930-6
C165006-0102	470908-2	C482002-0107	470944-3
C165006-0103	470908-3	C482002-0108	470944-12
C165006-0104	470908-6	C482002-0110	470944-15
C165006-0105	470908-11	C482002-0111	481040-1
C165006-0106	470908-12	C482002-0112	470944-19
C165006-0107	470908-13	C482002-0113	470944-20
C165006-0108	470908-14	LW-10098	470886-2
C165006-0109	470908-15	LW-10644	470912-1
C165006-0110	470908-16	LW-10682	470884-4
C165006-0112	470908-19	LW-10759	470818-5
C165006-0113	481064-1	LW-11377	470836-15

# Anexos



AIRESEARCH INDUSTRIAL DIVISION

## CROSS REFERENCE TABLE

OEM P/N	AID P/N	OEM P/N	AID P/N
LW-11801	470884-8	5050154-1	470780-1
LW-11950	470924-2	5050154-2	470780-2
LW-12067	470884-5	5050154-3	470780-3
LW-12778	470818-3	5050154-4	470780-4
LW-12463	409170-1	5050154-5	470780-5
LW-12960	470954-1	5050154-6	470780-6
LW-13142	470884-7	5050154-13	470780-13
LW-13780	481008-6	5050154-14	470780-14
LW-14283	470818-10	5050154-15	470780-15
LW-14297	481008-8	5050154-16	470780-16
LW-14298	481008-10	5050376-1	470782-1
LW-14299	481008-9	5050376-2	470782-2
LW-14445-1	470944-14	633388-3	470836-1
LW-14445-2	470944-7	633388-5	470836-10
LW-14445-3	470944-11	633388-9	470836-3
LW-14445-4	470944-10	633388-10	470836-18
LW-14445-6	470944-22	633388-11	470836-19
LW-14445-7	470944-23	635381-1	470892-1
LW-14445-10	470944-29	635381-2	470892-2
LW-14445-11	470944-30	635630	407810-1
LW-15792	481008-18	636188-17	470908-17
LW-16060	481008-20	636189-10	470866-10
LW-16265-1	481028-3	636714	470818-8
LW-16840	470884-10	637374-1	408610-1
LW-18518	481008-25	637583-10	470930-10
LW-18861	470954-5	637583-17	470930-17
LW-19177	470886-4	639319-1	470944-1
0851597-2	470616-0	639319-9	470944-9
0851598-2	470618-0	639319-24	470944-24
20919	470856-2	639319-26	470944-26
20920	470836-4	639319-34	470944-34
4884	470930-3	640655-2	481008-2
4884-1	470944-2	640655-4	481012-4

# Anexos



AIRESEARCH INDUSTRIAL DIVISION

## INDEX DATA TABLE

AID P/N	OEM P/N	PAGE NO.	REPLACED OR SERVICED BY AID P/N
470836-0015	LW-11377	6.2	481008-0009
470836-0018	633388-10	6.2	
470836-0019	633388-11	6.2	
470836-0020	642247	6.2	
470836-0021	C165004-0604	6.2	
470838-0001	C165004-0301	11.2	
470842-0001	C165006-0301	OBSOLETE	470842-0003
470842-0002	C165006-0302	OBSOLETE	470842-0004
470842-0003	C165006-0303	3.15	
470842-0004	C165006-0304	3.15	
470856-0001	77911	OBSOLETE	
470856-0002	20919	OBSOLETE	
470864-0001	77551	3.5	
470866-0001	C482002-0101	OBSOLETE	470930-0001
470866-0002	C482002-0102	OBSOLETE	470930-0002
470866-0003	4884	OBSOLETE	470944-0002
470866-0004	C482002-0103	OBSOLETE	470930-0004
470866-0005	C482002-0104	OBSOLETE	
470866-0010	636189-10	OBSOLETE	470930-0010
470872-0001	77676	3.6	
470884-0001	77758	OBSOLETE	
470884-0002	78451	9.5	
470884-0004	LW-10682	9.5	
470884-0005	LW-12067	9.5	
470884-0007	LW-13142	OBSOLETE	470884-0010
470884-0008	LW-11801	9.5	
470884-0010	LW-16840	9.5	
470886-0001	77759	OBSOLETE	470886-0002
470886-0002	LW-10098	10.3	
470886-0004	LW-19177	10.3	

# Anexos

AIRESEARCH INDUSTRIAL DIVISION



## CROSS REFERENCE TABLE

OEM P/N	AID P/N	OEM P/N	AID P/N
640655-15	481008-15	74423-2	470620-2
640655-22	481008-22	74423-3	470620-3
641404-1	481028-1	75693	470748-1
642247	470836-20	75731	470656-1
642511-4	481066-4	75992	470654-1
642518-4	465292-4	75994	470824-0
642628-4	481012-4	76462	470836-2
642628-6	481012-6	76649-1	470818-1
643511-1	481066-1	76649-2	470818-6
643511-3	481066-3	76669	470924-1
646317	481064-2	77551	470864-1
646318	481058-3	77676	470872-1
7110067	470930-16	77692	404460-2
73784	470620-0	77740	470836-5
73785	470622-0	77758	470884-1
73897	470656-0	77759	470886-1
73898	470654-0	77830	470818-0
74422	470622-1	77911	470856-1
74423-1	470620-1	78451	470884-2

END, CROSS REFERENCE TABLE.

POWER CONTROL CHART 310 HP - 2575 RPM  
DENSITY CONTROL FULL THROTTLE SETTING LIMITS

LYCOMING MODEL  
TURBOCHARGER

TIO-540-A1A,-A2A,-A1B,-A2B  
TE0659

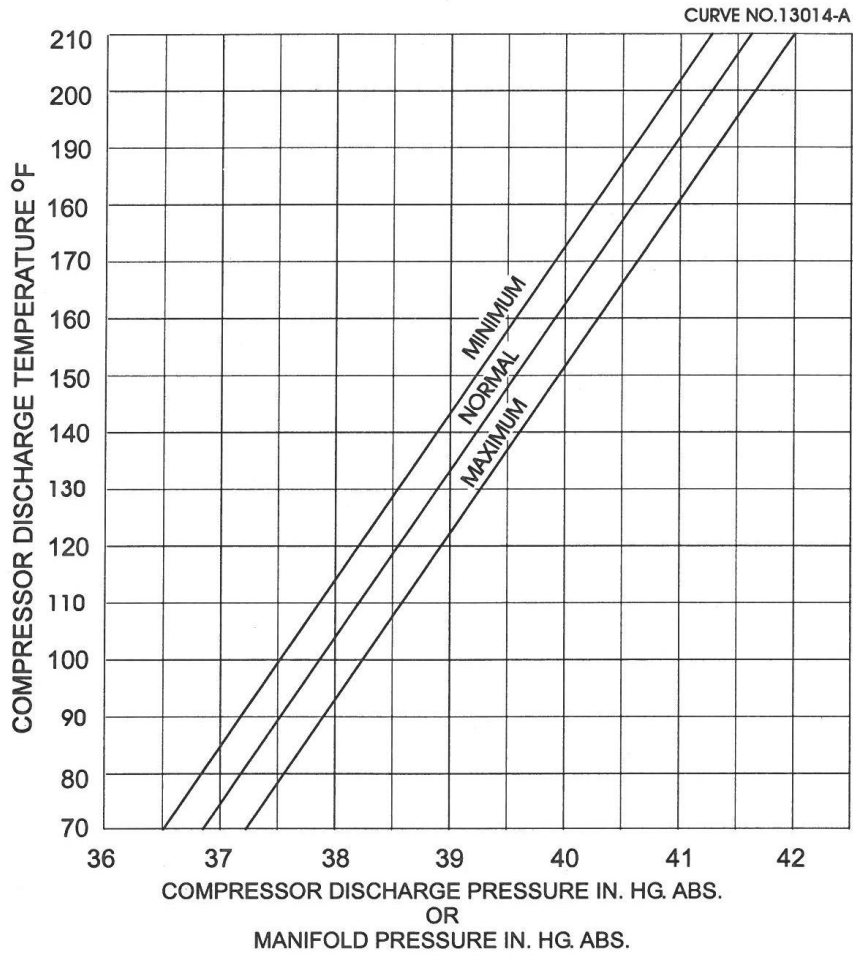


Figure 5-6. Density Control Full Throttle Setting Limits –  
TIO-540-A1A, -A2A, -A1B, -A2B

POWER CONTROL CHART 310 HP - 2575 RPM  
DENSITY CONTROL FULL THROTTLE SETTING LIMITS

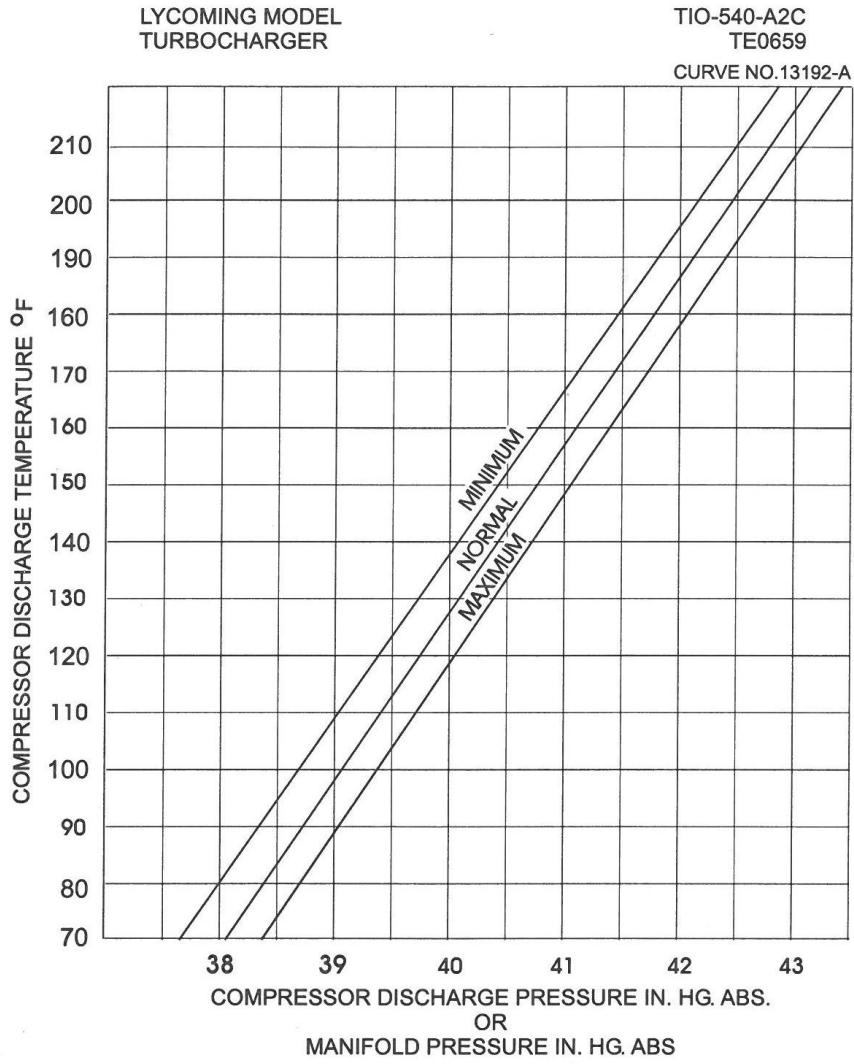


Figure 5-7. Density Control Full Throttle Setting Limits – TIO-540-A2C

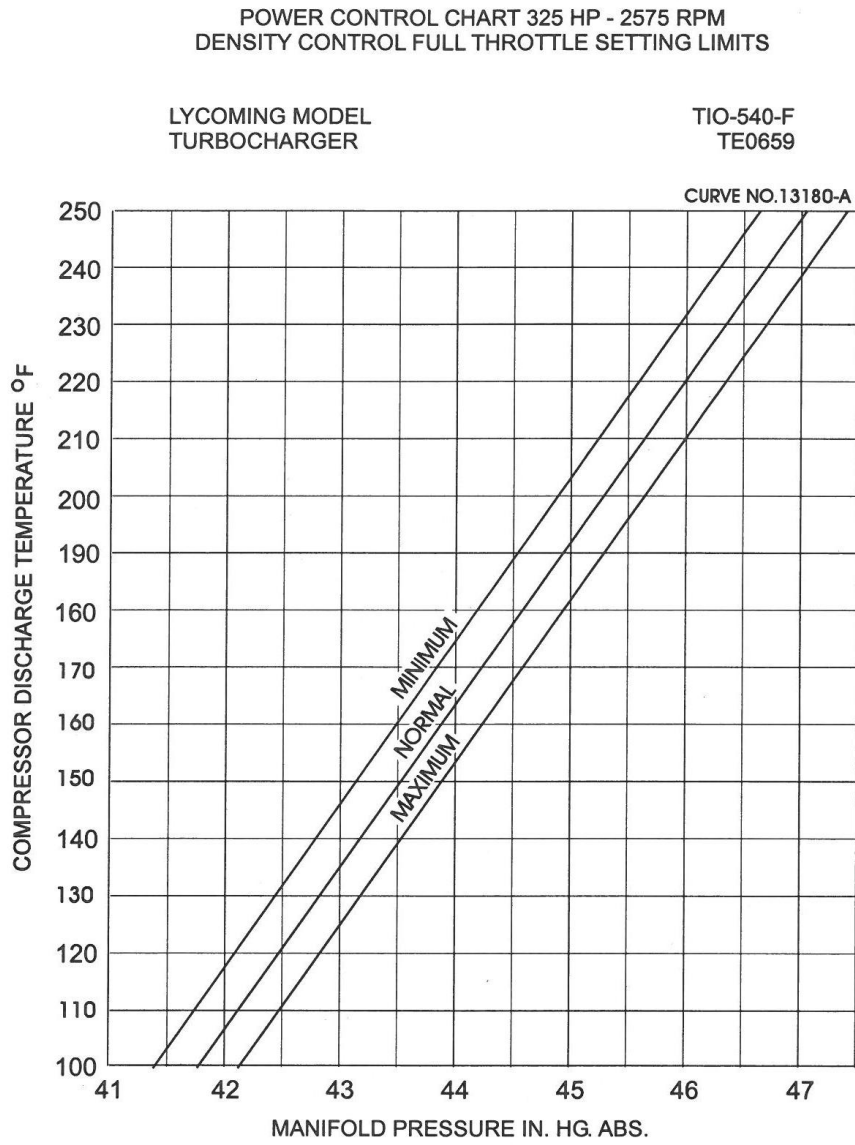


Figure 5-8. Density Control Full Throttle Setting Limits – TIO-540-F2BD

POWER CONTROL CHART 350 HP - 2575 RPM  
DENSITY CONTROL FULL THROTTLE SETTING LIMITS

LYCOMING MODEL  
TURBOCHARGER

TIO-540-J2B,-J2BD,-N2BD  
TE08A60

CURVE NO.13225-C

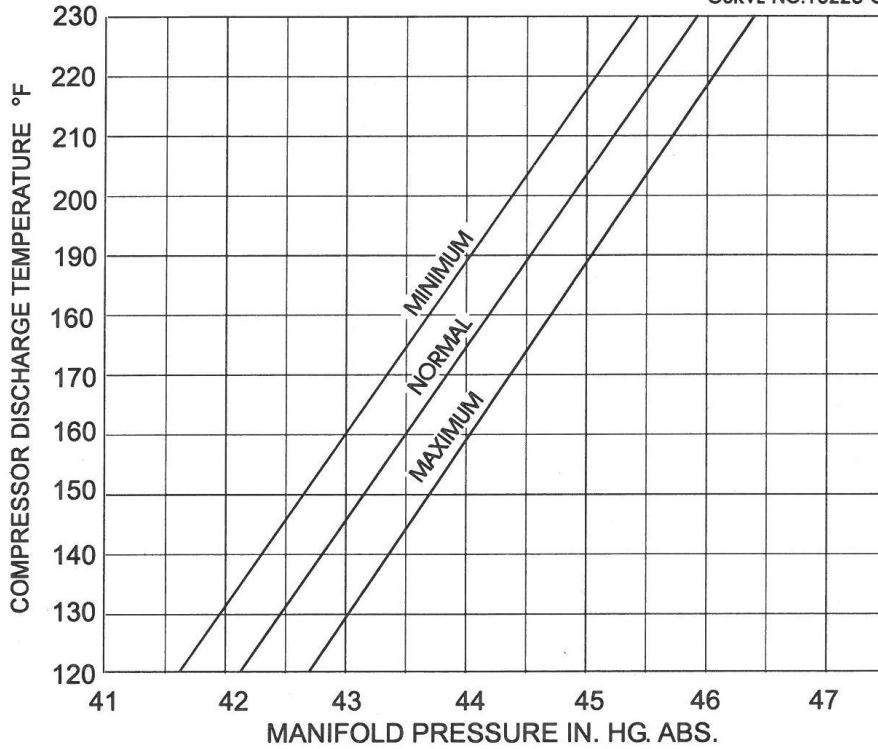


Figure 5-9. Density Control Full Throttle Setting Limits –  
TIO-540-J2B, -J2BD, -N2BD

OIL – (All Models) (Cont.) –

Oil Sump Capacity	Maximum	Minimum Safe Quantity
TIO-540 series except below	12 U.S. Quarts	2-3/4 U.S. Quarts
-V2AD	13 U.S. Quarts	4 U.S. Quarts
-W2A, -AJ1A	11 U.S. Quarts	4 U.S. Quarts

OPERATING CONDITIONS

Average Ambient Air	Desired	*Oil Inlet Temperature Maximum
Above 60°F	180°F (82°C)	245°F (118°C)
30°F to 90°F	180°F (82°C)	245°F (118°C)
0°F to 70°F	170°F (77°C)	245°F (118°C)
Below 10°F	160°F (71°C)	245°F (118°C)

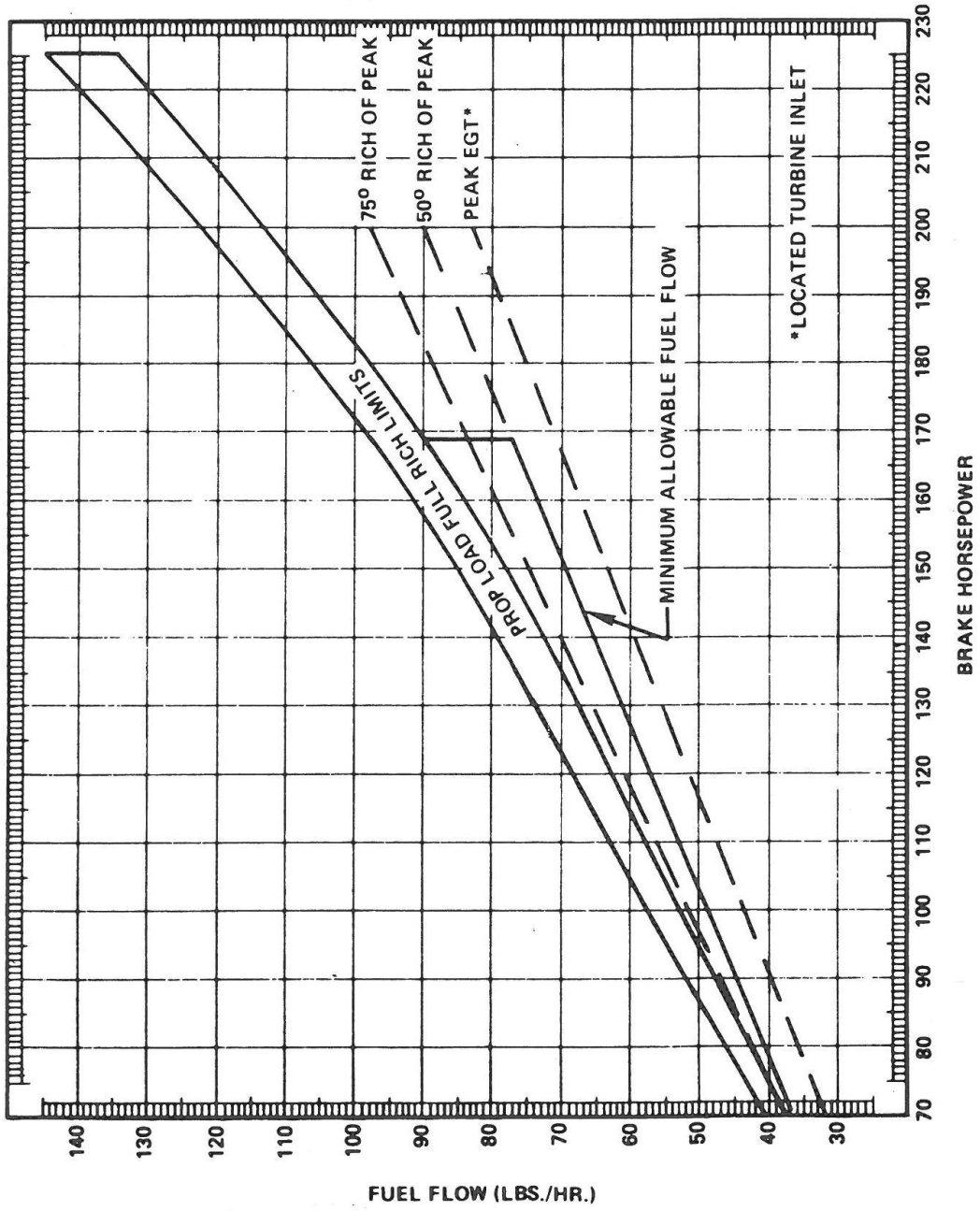
\* - Engine oil temperature should not be below 140°F (60°C) during continuous operation.

OIL PRESSURE – PSI –

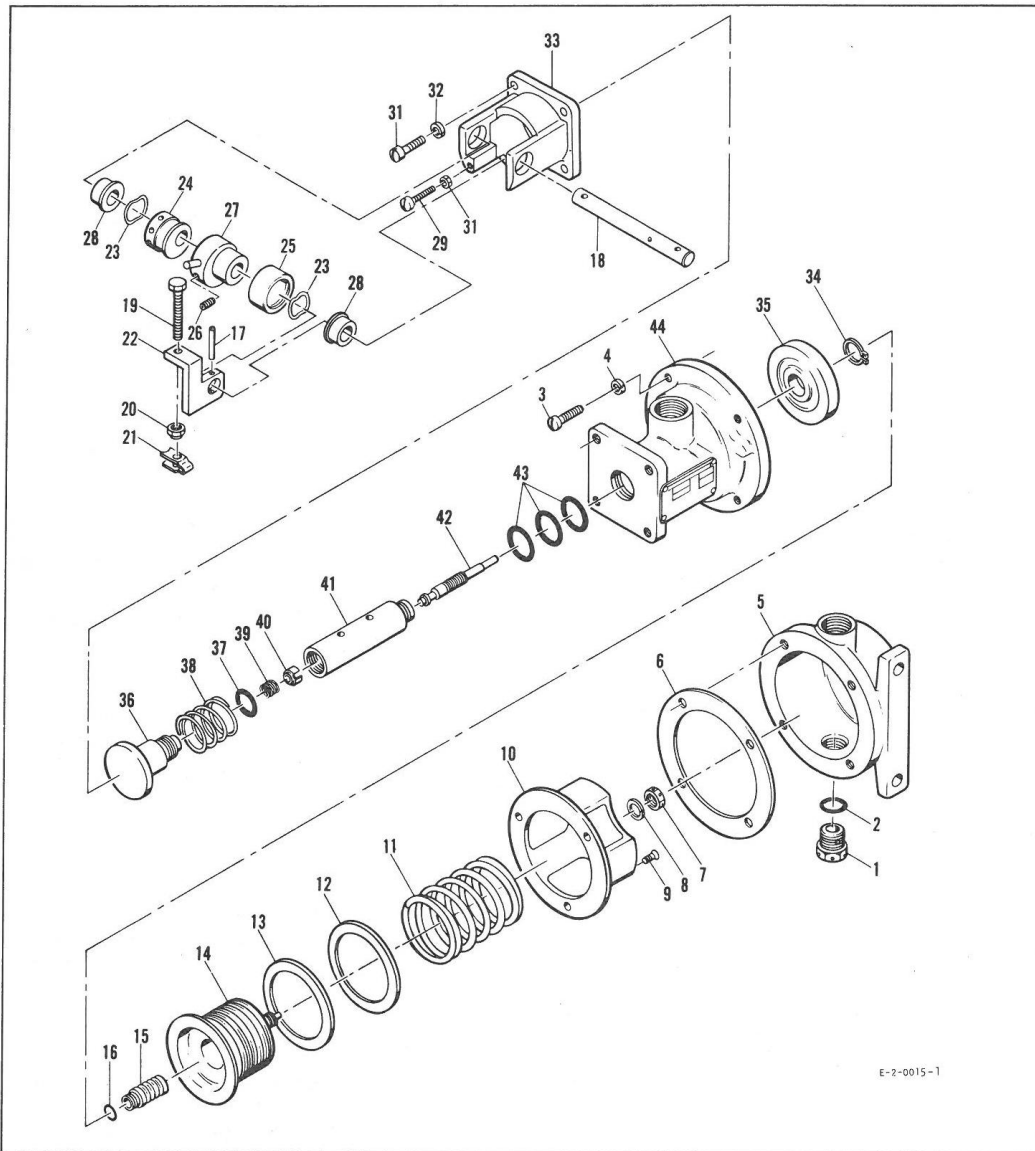
Normal Operation	Maximum	Minimum	Idling	Start and Warm-Up
All Models	95	55	25	115

FUEL PRESSURE – PSI –

	MIN.	MAX.	IDLE MIN.
TIO-540-A1A, -A1B, -A2A, -A2B, -A2C			
Inlet to fuel pump	-2	65	
Inlet to fuel injector	25	65	12
TIO-540-F2BD, -U2A			
Inlet to fuel pump	-2	65	
Inlet to fuel injector	30	65	12
TIO-540-J2B, -J2BD, -N2BD, -R2AD			
Inlet to fuel pump	-2	65	
Inlet to fuel injector	34	65	12
TIO-540-S1AD			
Inlet to fuel pump	-2	65	
Inlet to fuel injector	25	65	12
TIO-540-AH1A, -V2AD			
Inlet to fuel pump	-2	65	
Inlet to fuel injector	27	65	12
TIO-540-AJ1A			
Inlet to fuel pump	-2	55	
Inlet to fuel injector	20	55	12



Fuel Flow VS. BHP TSIO-360-D,DB



E-2-0015-1

Figure 4.12 - Variable Absolute Pressure Controller

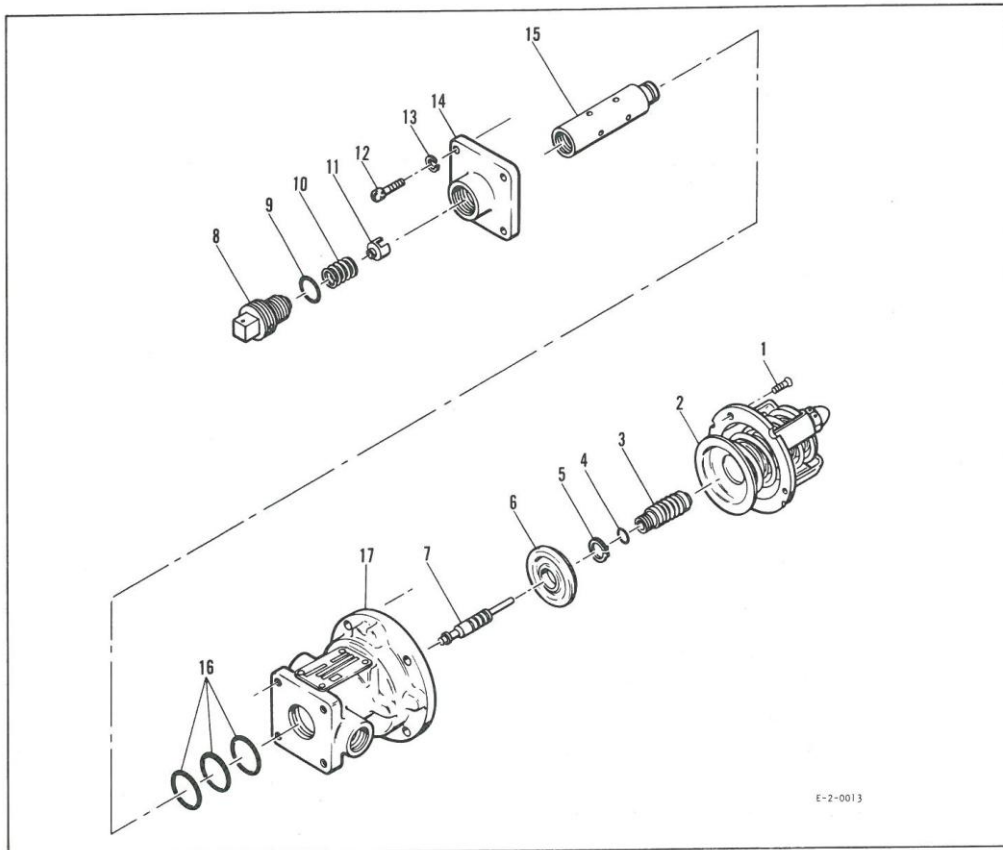


Figure 4.19 - Density Controller, AID P/N 470884

KEY, FIGURE 4.19		
1. SCREW	7. POPPET	13. LOCKWASHER
2. BELLOWS/SPRING ASSY	8. ADJUSTING SCREW	14. BRACKET
3. BOOT BELLOWS ASSY	9. O-RING	15. POPPET SEAT
4. O-RING	10. SPRING	16. O-RING
5. RETAINING RING	11. SPRING RETAINER	17. CENTER HOUSING
6. SNUBBER	12. SCREW	

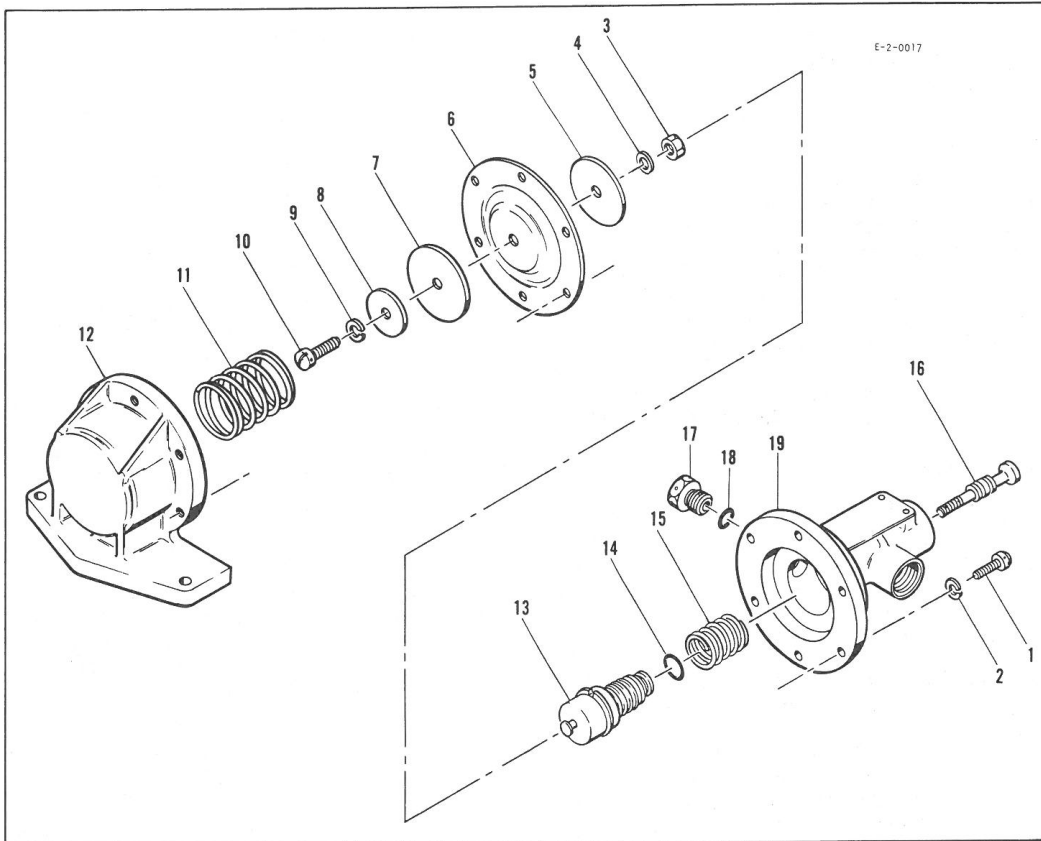


Figure 4.21 - Rate Controller

KEY, FIGURE 4.21		
1. SCREW	8. BACKING PLATE	15. SPRING
2. LOCKWASHER	9. LOCKWASHER	16. POPPET ASSEMBLY
3. NUT	10. SCREW	17. PLUG
4. WASHER	11. SPRING	18. O-RING
5. BACKING PLATE	12. COVER ASSEMBLY	19. HOUSING
6. DIAPHRAGM	13. BELLOWS BOOT ASSY.	
7. BACKING PLATE	14. O-RING	

Anexos



Anexos



# Anexos

---

