

Motores Térmicos

8° Semestre

4° ano

Problema 12.1

- ▶ Determinar o ganho que se consegue ao se introduzir um termo permutador num motor turbinado com as seguintes características:
 - ▶ Pressão de entrada no compressor 100 [kPa]
 - ▶ Ganho de Pressão no turbo 65 [kPa]
 - ▶ Perda de Pressão no Termo permutador 8 [kPa]
 - ▶ Coeficiente politrópico da mistura $k=1,41$
 - ▶ Temperatura de entrada do ar no compressor 25 [°C]
 - ▶ Temperatura de saída do fluído de refrigeração do termo permutador 50 [°C]
 - ▶ Rendimento do compressor 75%
 - ▶ Eficiência do Termo permutador 65%

Problema 12.1 (Resolução I)

Calcula-se a pressão total a saída do turbocompressor:

$$P_{turb} = P_{ent} + P_{said} + P_{term}$$

$$P_{turb} = 100 + 65 + 8 = 173 \text{ kPa}$$

Calcula-se a temperatura à saída do turbo compressor:

$$T_{said} = T_{ent} \cdot \left(\frac{P_{tub}}{P_{ent}} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_{said} = 298,1 \cdot \left(\frac{173}{100} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 349,7 \text{ K}$$

Problema 12.1 (Resolução II)

- ▶ A temperatura real no fim da compressão é dada por:

$$\eta_{comp} = \frac{T_2 - T_1}{T_{2real} - T_1}$$

$$T_{2real} = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{\eta_{comp}}$$

$$T_{2real} = 298,1 + \frac{349,7 - 298,1}{0,75} = 366,8 \text{ K}$$

A relação das massas específicas à entrada e a saída do compressor determinam-se de :

$$R_{ell} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{P_{turb} \cdot T_{ent}}{T_{2real} \cdot P_{ent}} = \frac{173 \cdot 298,1}{366,8 \cdot 100} = 1,406$$

Problema 12.1 (Resolução III)

- ▶ A temperatura de saída do ar do termopermutador determina-se de:

$$\varepsilon_t = \frac{T_2 - T_3}{T_2 - T_4}$$

$$T_3 = T_2 - \varepsilon_t \cdot (T_2 - T_4)$$

$$T_3 = 366,8 - 0,65 \cdot (366,8 - 338,4) = 338,4 \text{ K}$$

- ▶ Onde:
- ▶ T_2 – é a temperatura de saída do ar do compressor;
- ▶ T_3 – a temperatura de saída do ar do termopermutador
- ▶ T_4 – a temperatura de saída do fluido refrigerante do termopermutador

Problema 12.1 (Resolução IV)

A relação das massas específicas à entrada e a saída do termopermutador determinam-se de :

$$R_{el2} \frac{\rho_{2term}}{\rho_1} = \frac{P_{turb} \cdot T_{ent}}{T_3 \cdot P_{ent}} = \frac{173 \cdot 298,1}{338,4 \cdot 100} = 1,524$$

O ganho com a introdução do termopermutador determina-se de:

$$\text{Ganho} = \frac{R_{el2} - R_{el1}}{R_{el2}} = \frac{1,524 - 1,406}{1,524} \times 100 = 7,7\%$$

Problema 12.2 (I)

Para um motor quadrado a quatro tempos, que funciona segundo o ciclo Otto, com um hidrocarboneto C_8H_{16} , com o poder calorífico de $41,4 \text{ MJ/kg}$ e com as seguintes características restantes:

Pressão de entrada do turbocompressor 100 [kPa] ;

Ganho de pressão no turbocompressor 80 [kPa] ;

Perda de pressão no termopermutador 10 [kPa] ;

Coefficiente politrópico da mistura $k=1,41$;

Temperatura de entrada do ar no turbocompressor $30 \text{ [}^\circ\text{C]}$;

Temperatura de saída do fluido de refrigeração do termopermutador $50 \text{ [}^\circ\text{C]}$;

Rendimento do compressor 75% ;

Problema 12.2 (II)

Eficiência do termopermutador 75%;

Rendimento volumétrico do motor 85%;

Diâmetro dos cilindros 60 [mm];

Número de cilindros $z=8$;

Número de rotações da cambota do motor 4000 [RPM];

Massa específica do ar a 30°C $\rho=1,165$ [kg/m³];

Rendimento térmico do motor 65%.

Calcular a potência do motor com turbocompressor e antes de se aplicar o turbocompressor e o ganho percentual.

Problema 12.2 (Resolução I)

A relação ar combustível estequiométrica calcula-se de:

$$\begin{aligned} RAC_s &= 34,32 \left[\frac{4+y}{12+y} \right] \\ &= 34,32 \left[\frac{4 + \frac{16}{8}}{12 + \frac{16}{8}} \right] = 14,71 \end{aligned}$$

O volume deslocado calcula-se de:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} S \cdot Z \quad [\text{m}^3]$$

$$V = \frac{\pi 0,6^2}{4} 0,6 \cdot 8 = 0,001357 \quad [\text{m}^3]$$

Calcula-se a pressão total a saída do turbocompressor:

$$P_{turb} = P_{ent} + P_{said} + P_{term}$$

$$P_{turb} = 100 + 80 + 10 = 190 \text{ kPa}$$

Problema 12.2 (Resolução II)

Calcula-se a temperatura à saída do turbocompressor:

$$T_{said} = T_{ent} \cdot \left(\frac{P_{tub}}{P_{ent}} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_{said} = 303,15 \cdot \left(\frac{190}{100} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 365,4 \text{ K}$$

A temperatura real no fim da compressão é dada por:

$$\eta_{comp} = \frac{T_2 - T_1}{T_{2real} - T_1}$$

$$T_{2real} = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{\eta_{comp}}$$

$$T_{2real} = 303,15 + \frac{365,4 - 303,15}{0,75} = 386,1 \text{ K}$$

Problema 12.2 (Resolução III)

A temperatura de saída do ar do termopermutador determina-se de:

$$\varepsilon_t = \frac{T_2 - T_3}{T_2 - T_4}$$

$$T_3 = T_2 - \varepsilon_t \cdot (T_2 - T_4)$$

$$T_3 = 386,1 - 0,75 \cdot (386,1 - 323,15) = 365,4 \text{ K}$$

A relação das massas específicas à entrada do compressor e a e a saída do termopermutador determinam-se de:

$$R_{el} = \frac{\rho_2}{\rho_3} = \frac{P_{turb} \cdot T_{ent}}{T_{stern} \cdot P_{ent}} = \frac{190 \cdot 303,15}{323,2 \cdot 100} = 1,7$$

$$P_{sturb} = \frac{\eta_t \eta_v V_d \rho_{a,i} N Q_i}{2 \cdot RAC} = \frac{0,65 \cdot 0,85 \cdot 0,001357 \cdot 66,67 \cdot 41400}{2 \cdot 14,71} = 81,96 \text{ kW}$$

Problema 12.2 (Resolução IV)

$$P_{cturb} = \frac{\eta_t \eta_v V_d R_{el} \rho_{a,i} N Q_i}{2 \cdot RAC} = \frac{0,65 \cdot 0,85 \cdot 0,001357 \cdot 1,7 \cdot 66,67 \cdot 41400}{2 \cdot 14,71} = 139,3 \text{ kW}$$

O ganho conseguido com o turbo calcula-se de:

$$\text{Ganho} = \frac{P_{cturb} - P_{sturb}}{P_{cturb}} \times 100$$

$$\text{Ganho} = \frac{139,3 - 81,96}{139,3} \times 100 = 41,16\%$$

Problema 12.3

Escolher um turbocompressor para um motor que funciona a uma pressão ambiente de 100 [kPa], a pressão que o turbo produz é de 65 [kPa], as perdas de pressão no termopermutador são de 10 [kPa], a temperatura ambiente de 30°C, o coeficiente politrópico da mistura de 1,41, a temperatura de saída do ar de refrigeração do termopermutador de 50 [°C], o rendimento do compressor de 65%, a eficiência do termopermutador de 70%, o rendimento volumétrico do motor de 89%, o diâmetro dos cilindros de 60 [mm], o curso do êmbolo de 80 [mm], o motor tem 4 cilindros e a cambota gira a 5000 [RPM], o número máximo de rotações do turbocompressor é de 150000 [RPM], a massa específica do ar a 30°C é de $\rho_{\text{ar}} = 1,165$ [kg/m³].

Problema 12.3 (Resolução I)

Calcula-se a pressão total a saída do turbocompressor:

$$P_{turb} = P_{ent} + P_{said} + P_{term}$$

$$P_{turb} = 100 + 65 + 10 = 175 \text{ kPa}$$

Calcula-se a temperatura à saída do turbocompressor:

$$T_{said} = T_{ent} \cdot \left(\frac{P_{tub}}{P_{ent}} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$T_{said} = 298,1 \cdot \left(\frac{175}{100} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 356,7 \text{ K}$$

Problema 12.3 (Resolução II)

- ▶ A temperatura real no fim da compressão é dada por:

$$\eta_{comp} = \frac{T_2 - T_1}{T_{2real} - T_1}$$

$$T_{2real} = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{\eta_{comp}}$$

$$T_{2real} = 298,1 + \frac{356,7 - 298,1}{0,65} = 385,6 \text{ K}$$

Problema 12.3 (Resolução III)

- ▶ A temperatura de saída do ar do termopermutador determina-se de

$$\varepsilon_t = \frac{T_2 - T_3}{T_2 - T_4}$$

$$T_3 = T_2 - \varepsilon_t \cdot (T_2 - T_4)$$

$$T_3 = 385,6 - 0,7 \cdot (385,6 - 341,9) = 341,9 \text{ K}$$

- ▶ Onde:
- ▶ T_2 – é a temperatura de saída do ar do compressor;
- ▶ T_3 – a temperatura de saída do ar do termopermutador
- ▶ T_4 – a temperatura de saída do fluido refrigerante do termopermutador

Problema 12.3 (Resolução IV)

O volume deslocado é dado por:

$$V_d = \pi \frac{D^2}{4} S \cdot Z = \pi \cdot \frac{(0,06)^2}{4} \cdot 0,08 \cdot 4 = 0,00905 \text{ m}^3$$

A relação das massas específicas à entrada e a saída do termopermutador determinam-se de :

$$R_{el} = \frac{\rho_{2term}}{\rho_1} = \frac{P_{turb} \cdot T_{ent}}{T_3 \cdot P_{ent}} = \frac{175 \cdot 298,1}{341,9 \cdot 100} = 1,552$$

O fluxo mássico de ar é dado por:

$$\dot{m}_a = \frac{R_{el} \rho_a V_d N \eta_v}{2} = \frac{1,552 \cdot 1,1165 \cdot 904,8 \cdot 10^3 \cdot 5000 \cdot 0,89}{2 \cdot 60} = 0,061 \text{ kg/s}$$

Problema 12.3 (Resolução V)

Calcula-se a razão de pressões entre a entrada e a saída do compressor pela expressão:

$$\frac{P_{tur}}{P_{ent}} = \frac{100 + 65 + 10}{100} = 1,75$$

Onde:

P_{tur} – Pressão de saída do Compressor

P_{ent} – Pressão de entrada no Compressor

P_{said} – Pressão de saída do Compressor

P_{term} – Pressão das perdas no *intercooler* = 10 kPascal

Problema 12.3 (Resolução VI)

A massa real de ar que sai do compressor calcula-se pela expressão

$$\dot{m}_{real} = \dot{m}_a \cdot \frac{P_{ent}}{P_{nor}} \cdot \sqrt{\frac{T_{ent}}{T_{nor}}}$$

$$\dot{m}_{real} = 0,0607 \cdot \frac{175}{98.12} \cdot \sqrt{\frac{303,2}{302,6}} = 0,115 \text{ kg/s} = 15,21 \text{ lb/min}$$

Onde:

P_{ent} – Pressão de entrada

P_{nor} – Pressão de norma (736,3-9,65 mmHg)

T_{ent} – Temperatura de entrada

T_{nor} – Temperatura de norma (29,4°C)

m_a – massa do ar (mistura)

Problema 12.3 (Resolução VII)

Calcula-se o número real de rotações do compressor pela expressão

$$N_{real} = \frac{N}{\sqrt{\frac{T_{ent}}{T_{nor}}}}$$
$$N_{real} = \frac{150000}{\sqrt{\frac{303,2}{302,6}}} = 141109 \text{ [RPM]}$$

Onde:

N – Número de rotações do turbo

T_{ent} – Temperatura de entrada

T_{nor} – Temperatura de norma

Trabalho para casa 04 (I)

Para um motor do ciclo Otto a quatro tempos, que funciona com um hidrocarboneto C_8H_{18} com o poder calorífico de 41,6 MJ/kg e com as seguintes características restantes:

- ▶ Pressão de entrada do turbocompressor 100 [kPa]
- ▶ Ganho de pressão no turbocompressor 65 [kPa]
- ▶ Perda de Pressão no termopermutador 10 [kPa]
- ▶ Coeficiente politrópico da mistura $k=1,41$
- ▶ Temperatura de entrada do ar no turbocompressor 35 [°C]
- ▶ Temperatura de saída do fluido de refrigeração do termopermutador 45 [°C]
- ▶ Rendimento do compressor 75%
- ▶ Eficiência do termopermutador 78%
- ▶ Rendimento volumétrico do motor 85%
- ▶ Diâmetro dos cilindros 80 [mm]
- ▶ Curso do êmbolo 80 [mm]
- ▶ Número de cilindros $z=6$

Trabalho para casa 04 (II)

- ▶ Número de rotações da cambota do motor 4500 [RPM]
- ▶ Massa específica do ar a 35°C $\rho_{@35}=1,165$ [kg/m³]
- ▶ Rendimento térmico do motor 73%

Sabendo ainda que o número máximo de rotações do turbocompressor é de 120000 [RPM], fazer a escolha do turbocompressor, calcule a potência do motor com e sem turbocompressor e apresentar o ganho percentual da potência.

Recorrer ao endereço:

<https://www.atpturbo.com/mm5/merchant.mvc?Screen=COMMAP> para fazer a escolha do mapa do turbocompressor e anexar o referido mapa ao trabalho.

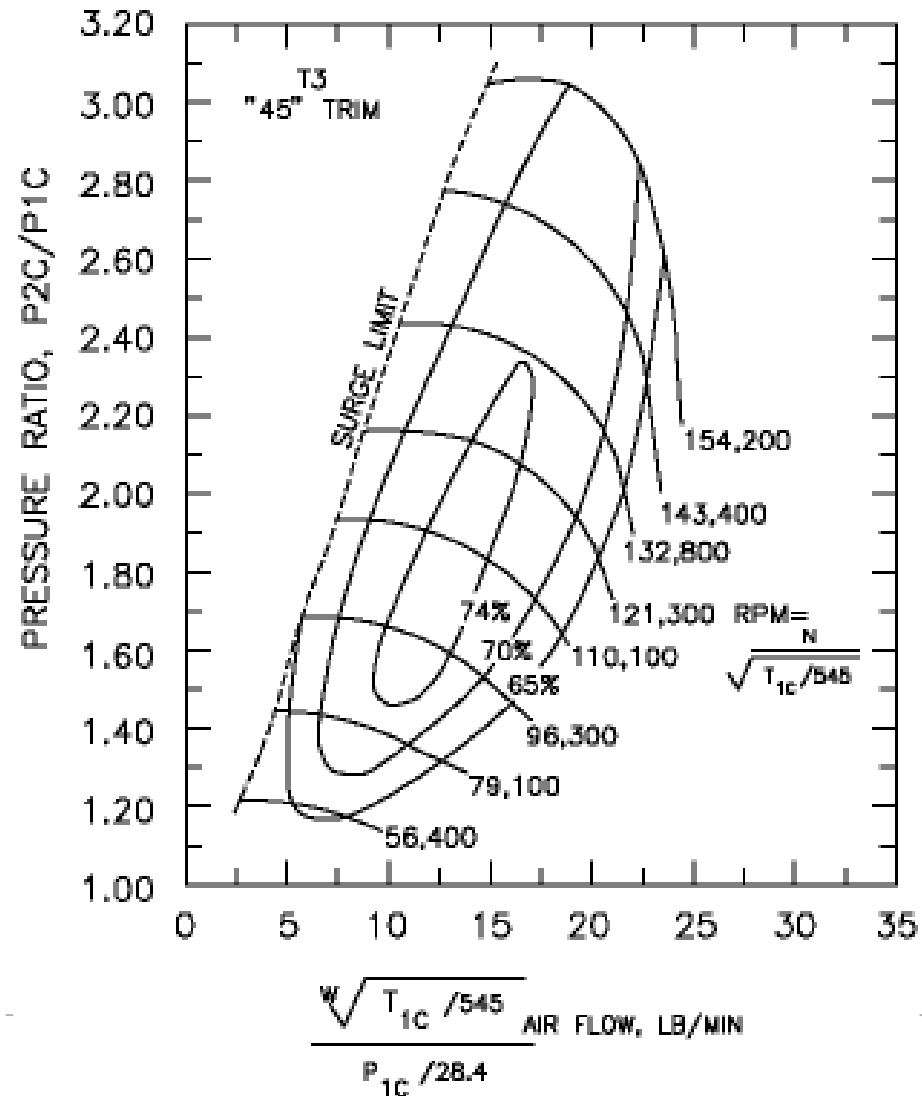
Nota: O trabalho deve ter conclusões!

Enviar para o endereço: motorestermicos.dema@gmail.com até a 0 hora do dia 2 de Abril de 2023 com o assunto: TPC04

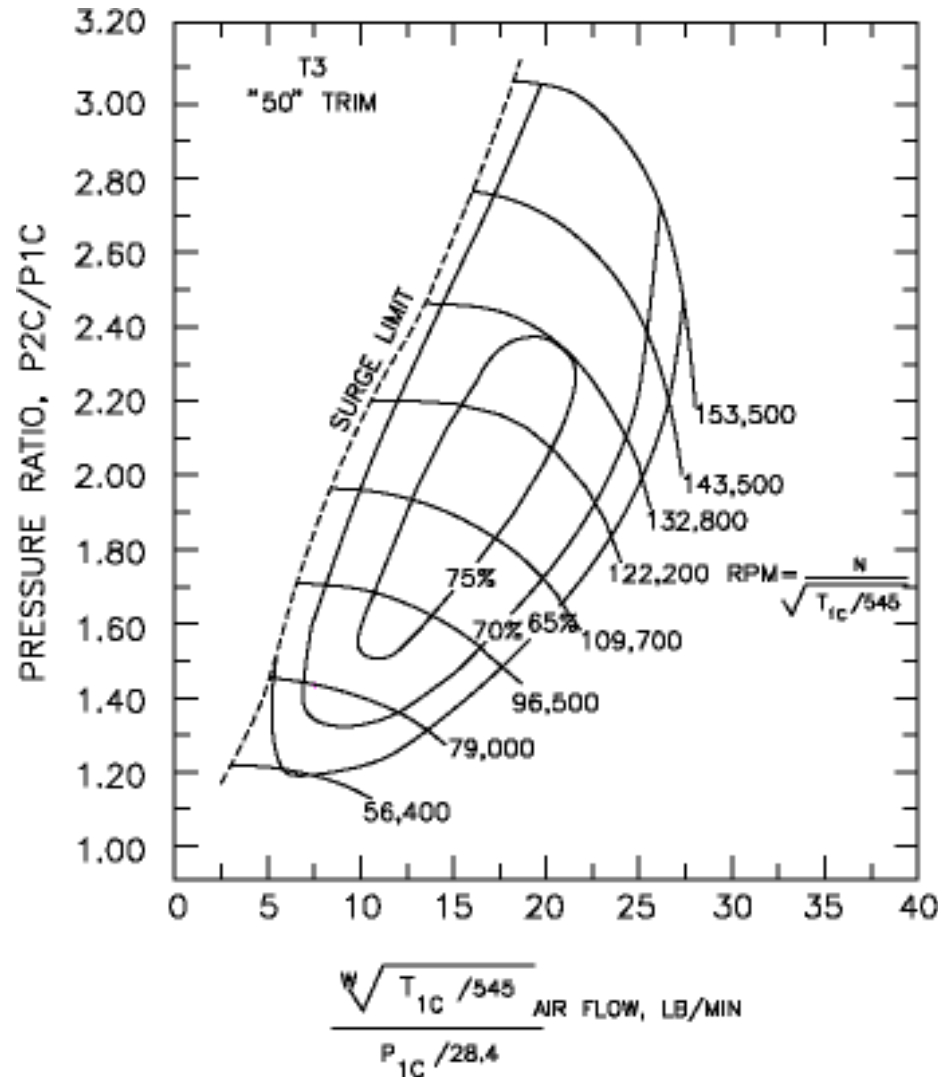
Turbo Garret Série T3



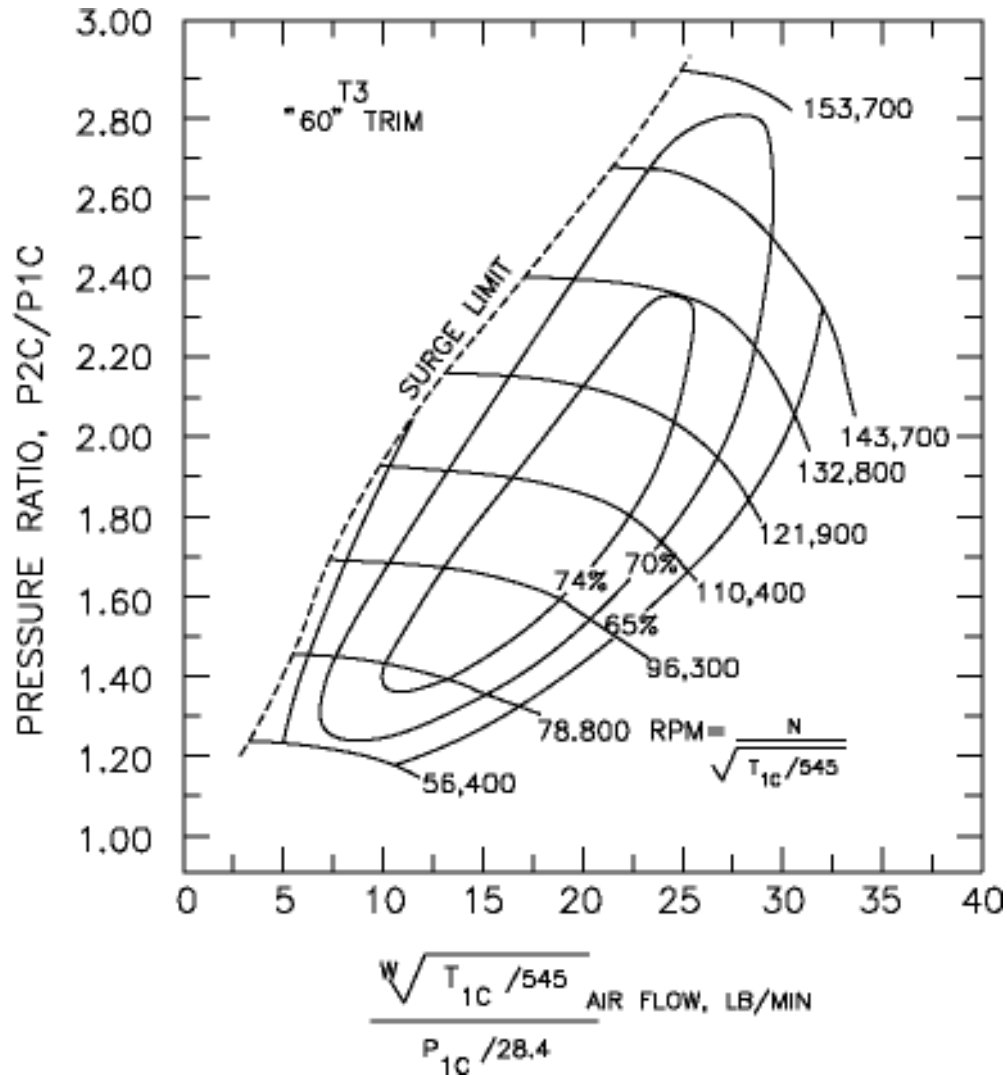
Garret T3-45



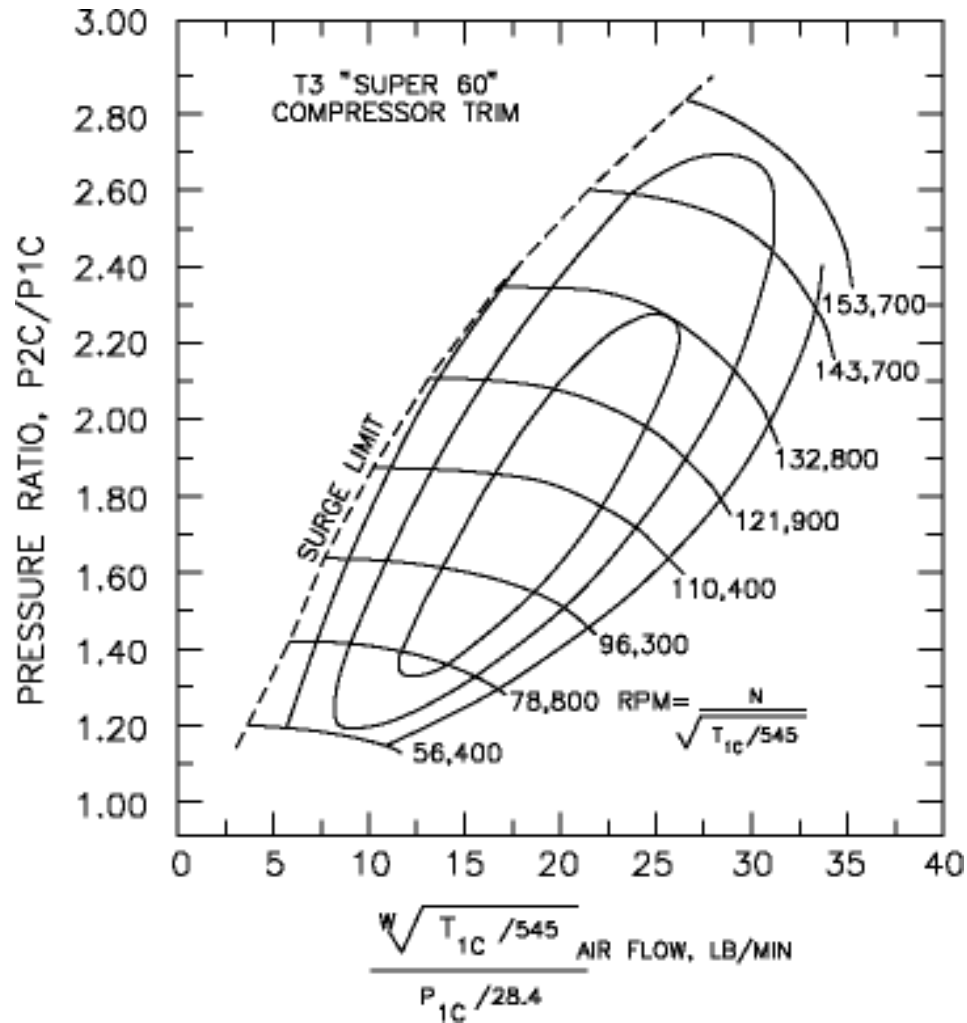
Garret T3-50



Garret T3-60

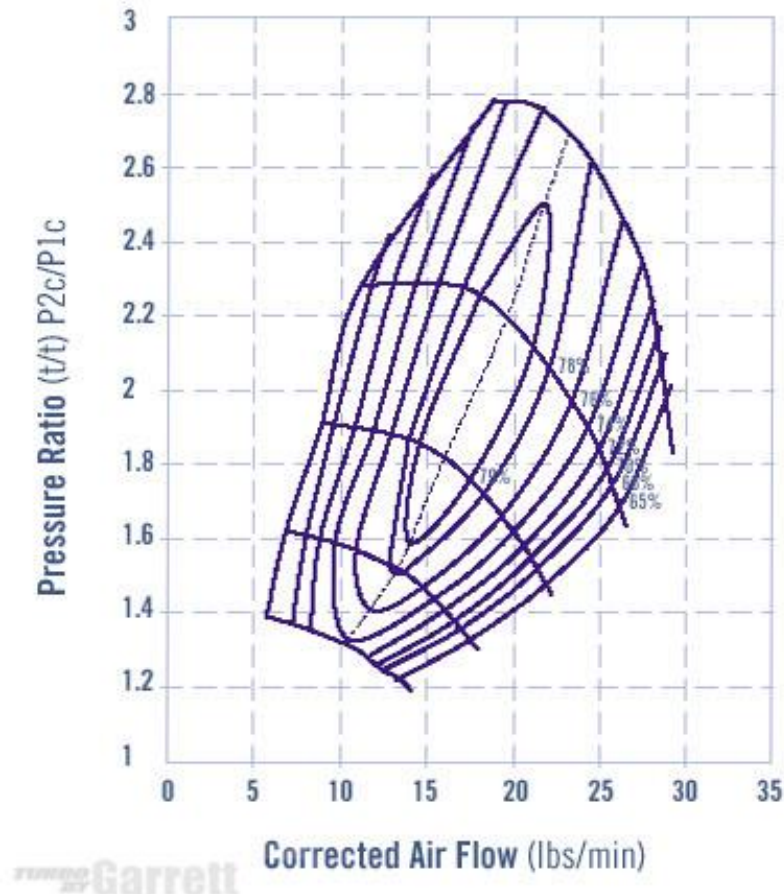


Garret T3-Super 60



Turbo Garret Série T

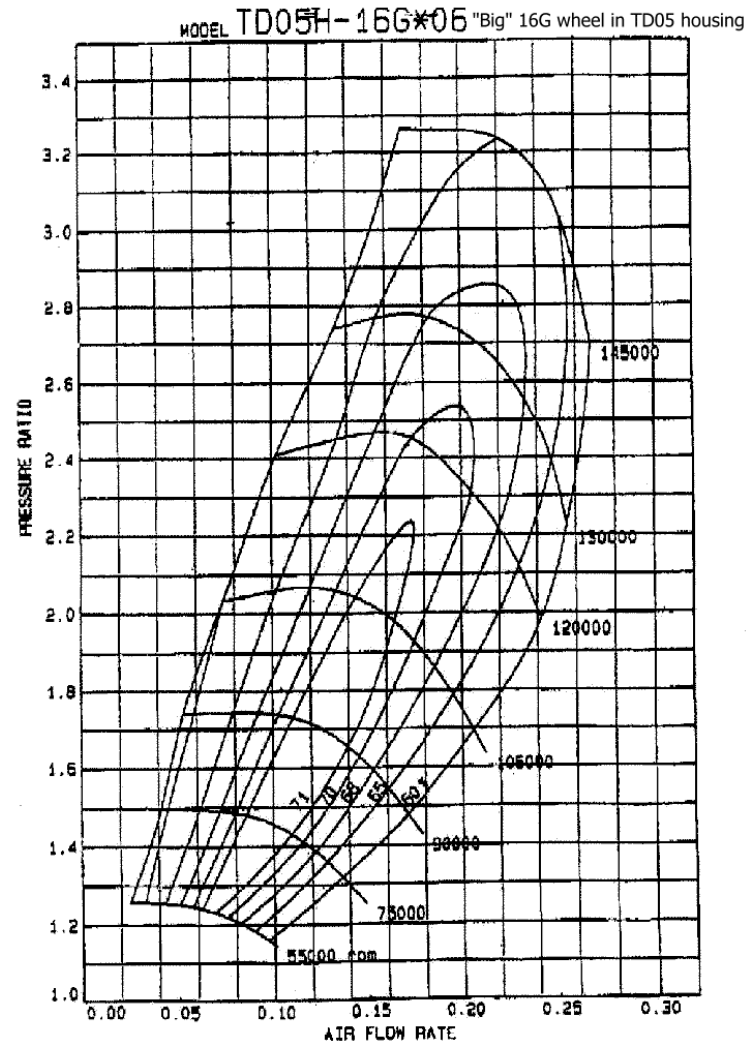
GT20 56mm, 55trim, 0.53 A/R



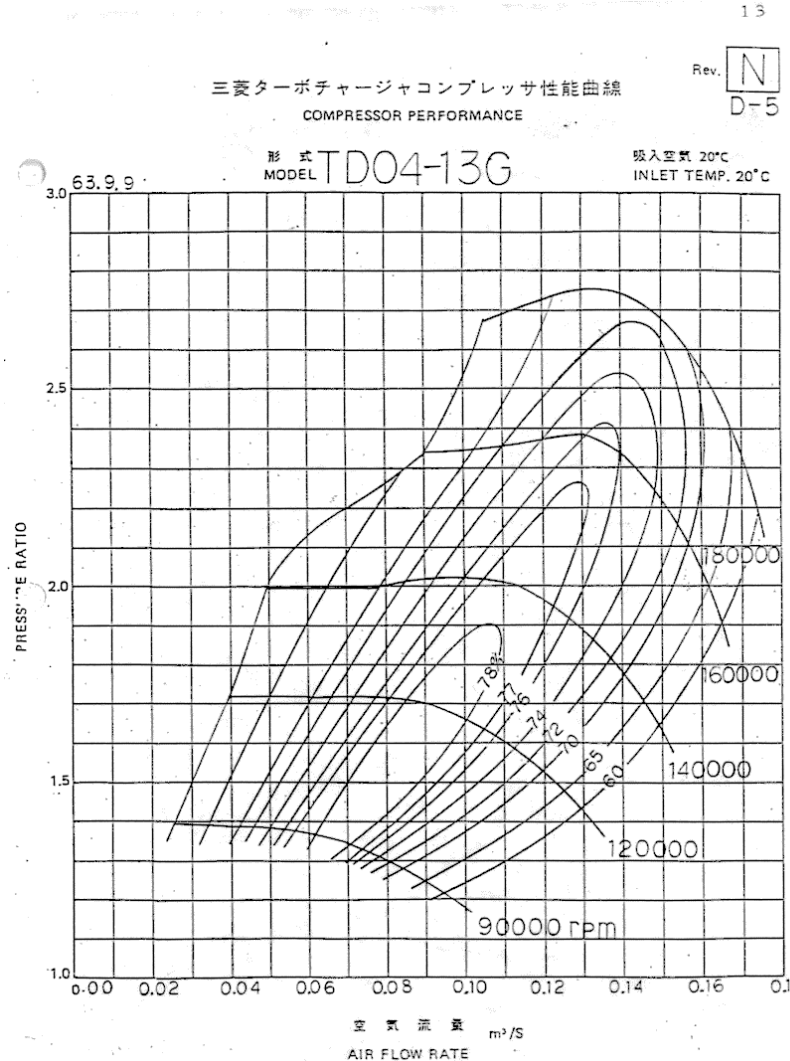
Mitsubishi



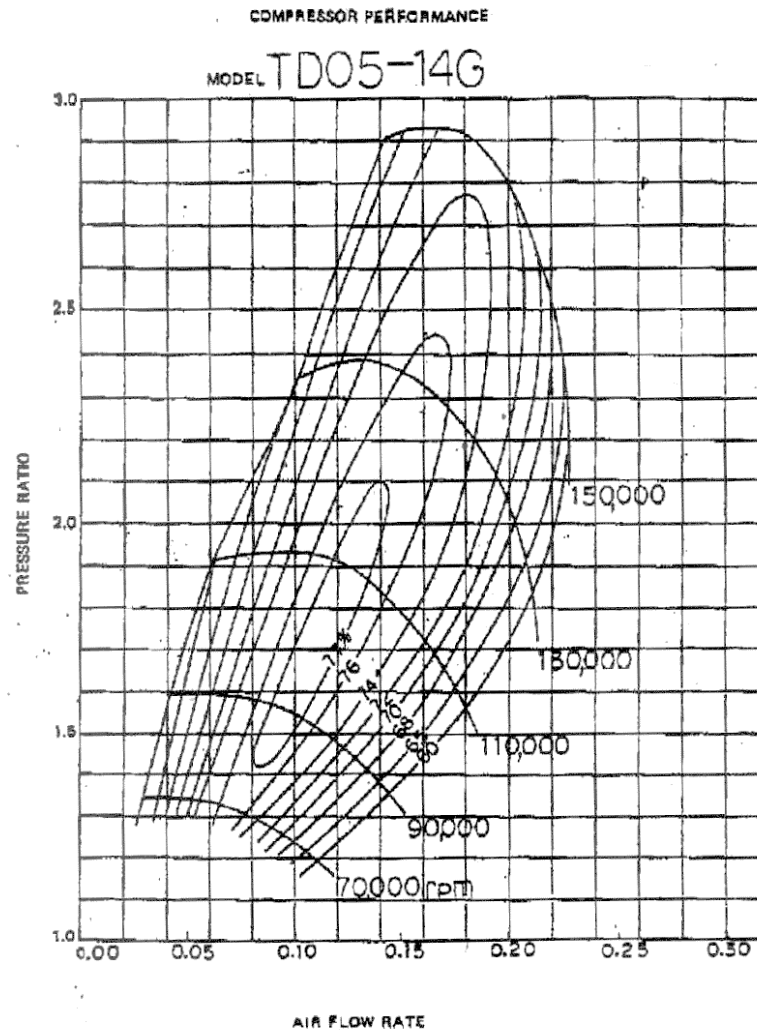
Mitsubishi -TD05H



Mitsubishi -TD04-13G



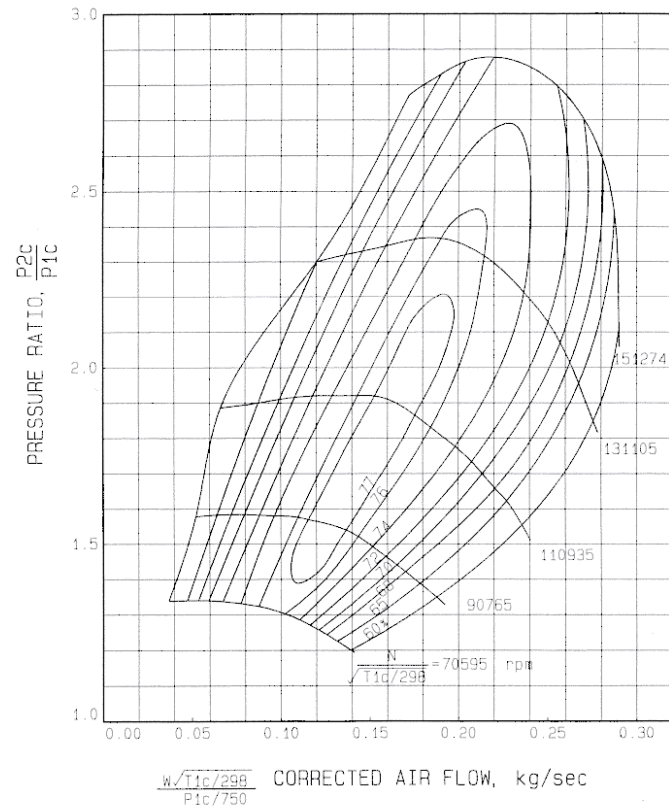
Mitsubishi -TD05-14G



Mitsubishi -TD0-16G

COMPRESSOR PERFORMANCE
MODEL TD05-16G

"Small" compressor wheel
49178-05200



MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD

A

Mitsubishi -TD04H-18T

