técnicos de motores son medidos en condiciones normales y comparables que según la SAE (Society of Automotive Engineers) son:

1. Aire seco a 15.6°C (60°F) y
2. Presión de aire de

76 mm Hg o 29.92 plg Hg = $14.696 \frac{lb}{pul^2}$ abs= $1.033 \frac{kg}{cm^2}$ abs,

Los factores empíricos de corrección son:

$CF_m = \frac{760}{pa}\sqrt{\frac{Ta}{288.6}}$ (Sistema métrico); $CF = \frac{29.92}{pa}\sqrt{\frac{Ta}{520}}$ (Sistema inglés);

CF-número de caballos de fuerza para correción de la potencia al freno.

p_a(cm Hg) o (plg Hg)-presión barométrica del aire seco en el lugar de medición (presión atmosférica).

T_a-temperatura absoluta del aire que entra al motor;

273° + °C = °K (Kelvin) ó 460° + °F= °R (Rankine).

4. CICLOS IDEALES Y REALES DE LOS MOTORES.

Los ciclos de motores se puede mostrar en los diagramas de presión p y volúmen v (diagramas del trabajo) o en diagramas de temperatura absoluta T y de entropia s (diagramas de calor).

La propiedad de entropia "s" es el factor extensivo de la energía térmica definida por la ecuación:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \left[\frac{cal}{kg°K}\right] \text{ ó } \left[\frac{Btu}{Lb.°R}\right]$$

Pues se muestra el valor recíproco de la calidad del calor añadido a un sistema:

si Δs es mayor - el calor está añadido mal (hay defecto de calor),

si Δs es menor - el calor está añadido ventajoso (hay exceso de calor), como por ejemplo:

Teniendo 100 litros de agua en la temp. 100°C y se añade 1 litro de agua a la misma temperatura se obtiene 101 litros del agua en 100°C con calor en valor total; pero el mismo litro añadido a 100 litros de agua fria (a la temp.ca.de 0°C) causa el aumento de temperatura de 1°C de toda la capacidad de 101 litros, pues ese calor de 1 litro está perdido en este caso, porque Δs es grande (ΔQ es igual, como anteriormente, pero T es pequeña). Esto

significa también que el calor se necesita conducir en las temperaturas más altas y en forma isotérmica.

4.1. CICLO DUPLEX (DE SABATHE O DE SEILIGER)

Los tres nombres que aparecen en el título de este capítulo se encuentran generalmente en la literatura para referirse a un mismo ciclo. Más aún en ocasiones se usa también el nombre de "ciclo mezclado".

Este ciclo es el más básico y general para describir el funcionamiento de los motores de émbolo reciprocante.

Se puede decir que otros ciclos como de Otto y de Diesel son sus casos fronteros. Este ciclo se conoce también como ciclo con conducción de calor a volumen y presión constante. Se le muestra en la fig. 9.

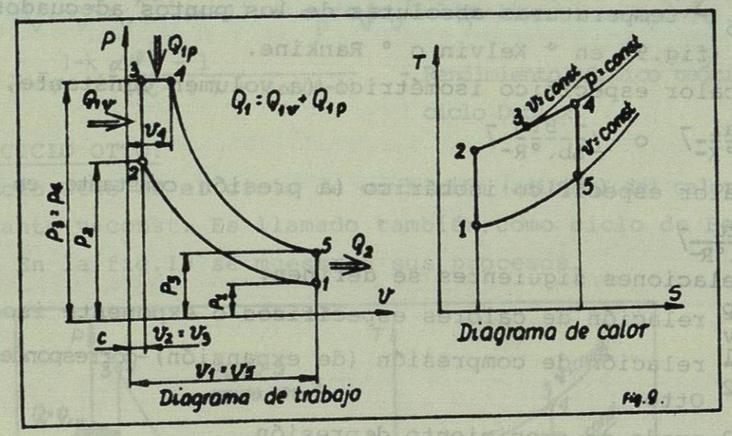

Fig. 9. Ciclo teórico Duplex con adición de calor a v=const. y p= const.,llamado también ciclo de Sabathe, de Seiliger ó ciclo mezclado.

El ciclo Duplex es el que más se acerca a los procesos que suceden realmente en los motores de combustión interna y de alta velocidad, del tipo Otto y del tipo Diesel. Sus procesos son:

Línea 1-2: Compresión isoentrópica (a entropía constante y Δs= 0),

Línea 2-3: Adición isométrica de calor a volumen constante y Δv= 0),

Línea 3-4: Adición isobárica de calor (a presión constante y Δp= 0),

Línea 4-5: Expansión isoentrópica (entropia constante y $\Delta s=0$),

Línea 5-1: Descarga isométrica de calor (a volumen constante y $\Delta v=0$),

El rendimiento térmico del ciclo se calcula en la forma siguiente:

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{(Q_{1v} + Q_{1p}) - Q_2}{Q_{1v} + Q_{1p}} = 1 - \frac{Q_2}{Q_{1v} + Q_{1p}} \quad \text{donde}$$

Q_1-calor añadido al sistema.

Q_{1v}-calor añadido a volumen constante.

Q_{1p}-calor añadido a presión constante.

Q_2-rechazo del calor

Q_1-Q_2-calor transferido al trabajo.

De "Transferencia de Calor" (o de "Termodinámica) es conocido que: $Q_{1v}=c_v\cdot(T_3-T_2)$ y $Q_{1p}= c_p \cdot (T_4-T_3)$

$Q_1 = Q_{1v} + Q_{1p} = c_v\cdot(T_3-T_2) + c_p\cdot(T_4-T_3)$

$Q_2 = c_v\cdot (T_5-T_1)$ donde

$T_{1...5}$ - temperaturas absolutas de los puntos adecuados en diagrama (fig.9) en ° Kelvin o ° Rankine.

c_v - calor específico isométrico (a volumen constante, en $\left[\frac{Kcal}{Kg.°K}\right]$ o $\left[\frac{Btu}{Lb.°R}\right]$

c_p- calor específico isobárico (a presión constante, en $\left[\frac{Kcal}{Kg.°K}\right]$ o $\left[\frac{Btu}{Lb.°R}\right]$

Las relaciones siguientes se definen:

$k = \frac{c_p}{c_v}$ relación de calores específicos o exponente isoentrópico,

$r_v = \frac{v_1}{v_2}$ relación de compresión (de expansión)-corresponde al ciclo Otto

$\alpha = \frac{p_3}{p_2}$ grado de crecimiento de presión.

$\varphi = \frac{v_4}{v_3}$ grado de crecimiento de volumen.

Finalmente se obtiene el valor del rendimiento térmico:

$$\eta_t = 1 - \frac{c_v(T_5-T_1)}{c_v(T_3-T_2) + c_p(T_4-T_3)}$$

-* de la ecuación de condición isoentrópica Tv^{k-1}=const., para la línea 1-2 es:

$$T_1 v_1^{k-1} = T_2 v_2^{k-1} \qquad T_2 = T_1\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = T_1 r_v^{k-1}$$

-* de la ecuación de condición isométrica T/p =const., para la línea 2-3 es:

$$\frac{T_2}{p_2} = \frac{T_3}{p_3};\ \frac{T_2}{T_3} = \frac{p_2}{p_3} = \frac{1}{\alpha} \qquad T_3 = T_2 = \alpha T_1 r_v^{k-1}$$

-* de la ecuación de condición isobárica T/v = const, para la línea 3-4 es:

$$\frac{T_4}{v_4} = \frac{T_3}{v_3} \qquad \frac{T_4}{T_3} = \frac{v_4}{v_3} = \varphi \rightarrow T_4 = \varphi T_3 = \varphi\alpha T_2 = \varphi\alpha T_1 r_v^{k-1}$$

-* de la ecuación de condición isoentrópica T_v^{k-1} = const., para la línea 4-5 es:

$$T_4 v_4^{k-1} = T_5 v_5^{k-1} \qquad T_5 = T_4\left(\frac{v_4}{v_5}\right)^{k-1}, \text{ pero}$$

$$\frac{v_4}{v_5} = \frac{v_4/v_3}{v_5/v_3} = \frac{v_4/v_3}{v_5/v_2} = \frac{\varphi}{r_v} \quad \text{porque} \quad v_3 = v_2,$$

$$T_5 = T_4\left(\frac{\varphi}{r_v}\right)^{k-1} = \varphi\alpha T_1 r_v^{k-1} \cdot \left(\frac{\varphi}{r_v}\right)^{k-1} = \varphi^k \alpha T_1$$

Sustituyendo todas las temperaturas $T_{1....5}$ en η_t, resulta:

$$\eta_t = 1 - \frac{c_v(\varphi^k\alpha T_1 - T_1)}{c_v(\alpha T_1 r_v^{k-1} - T_1 r_v^{k-1}) + c_p(\varphi\alpha T_1 r_v^{k-1} - \alpha T_1 r_v^{k-1})} =$$

$$= 1 - \frac{c_v/c_v\ (\varphi^k\alpha - 1)}{c_v/c_v \cdot r_v^{k-1}(\alpha-1) + c_p/c_v \cdot r_v^{k-1}(\varphi-1)} = 1 - \frac{\varphi^k\alpha - 1}{r_v^{k-1}\left[(\alpha-1) + k\alpha(\varphi-1)\right]}$$

$$\eta_t = 1 - r_v^{1-k} \cdot \frac{\alpha\varphi^k - 1}{(\alpha-1) + k\alpha(\varphi-1)}$$ - Rendimiento térmico teórico en el ciclo Duplex.

4.2. CICLO OTTO.

El ciclo Otto es el ciclo de conducción (adición) del calor a volumen constante v=const. Es llamado también como ciclo de Beau de Rochas. En la fig.10 se muestran sus procesos.

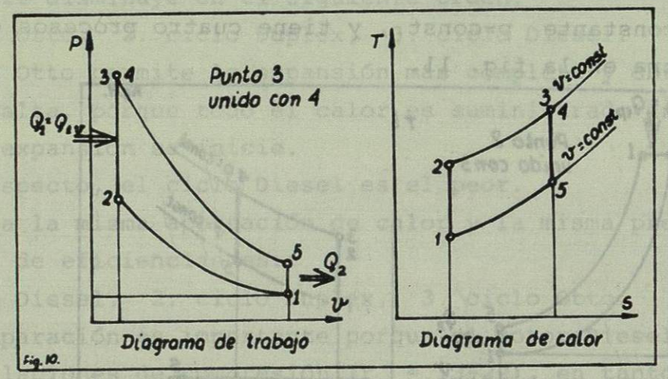

Fig.10. Ciclo teórico Otto con conducción (adición) del calor a volumen constante, v=const. Las lineas significan: