

SÓLO SÉ QUE NO SÉ NADA

2.- El motor. La base: ¡Que me quemooooooo!

P. LINARES

DR. INGENIERO AGRÓNOMO
DPTO INGENIERÍA RURAL
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Empecemos... por el final

Pues sí; empecemos a actualizarnos por el final, o sea, por lo que nos llega y que, supuestamente, debemos entender: la documentación técnica. Y comprobamos que la información de los tractores empieza por el motor, así que no vamos a ser distintos: al motor vamos. En la Tabla 1 aparecen los datos del ensayo del tractor Fendt 828, realizado

en la estación de ensayos de la DLG con el Power Mix. A ver, que no empiezo a soltar cosas sin explicar. La DLG tiene un vehículo de ensayo –carro dinamométrico– que permite medir, a la vez, potencia a la barra y a la toma de fuerza; por eso se llama Power-Mix. Las demás estaciones de la OCDE tienen carros dinamométricos que sólo miden potencia de tiro. Un artículo futuro se ocupará de los ensayos de los tractores, Power-Mix incluido. En la bibliografía está la referencia para bajarse de Internet la ficha cuyo resumen está en la Tabla 1.

¿Hay algo que no se entiende? O quizás tendría que preguntar **si hay algo que se entiende...** ¿Cuál es la potencia de ese tractor? Me parece que nos hemos quemado y que tenemos que repasar nuestros conocimientos del motor. Vamos a ello.

Tabla 1: Resumen del ensayo del tractor Fendt 828 Vario

Concepto	Valor	Unidad
MOTOR		
Nº cilindros	6	ud
Diámetro	101	mm
Carrera	126	mm
Cilindrada	6 056	cm ³
Régimen nominal	2 100	min ⁻¹
Tratamiento de los gases de escape	SCR	
POTENCIA ECE R120		
Potencia nominal	191	kW
Potencia máxima	206	kW
Régimen de giro a potencia máxima	1 700	min ⁻¹
RESULTADOS DEL ENSAYO A LA TOMA DE FUERZA		
Potencia nominal	179.2	kW
Consumo de combustible	40.7	kg/h
Consumo específico de combustible	227	g/kWh
Consumo específico de Adblue	21	g/kWh
Potencia máxima	196.3	kW
Consumo de combustible	42.6	kg/h
Consumo específico de combustible	217	g/kWh
Consumo específico de Adblue	18	g/kWh
A 1 000 rev/min de la toma de fuerza		
Régimen del motor	1 882	min ⁻¹
Potencia	193.8	kW
Consumo de combustible	42.5	kg/h
Consumo específico de combustible	219	g/kWh
Consumo específico de Adblue	17	g/kWh

Test Nº 11-033 Feb 2011. DLG. www.dlg-test.de

1.- El motor es una máquina térmica

Una máquina térmica es un dispositivo que aprovecha **parte** de la energía interna de un combustible. Y un combustible es cualquier materia capaz de liberar energía cuando se oxida con desprendimiento de calor. Dicho de una manera más coloquial, una máquina térmica es un recipiente donde se quema algo y voy a tratar de aprovechar el calor producido de manera útil para mí. Como una cacerola, sólo que con la cacerola me como la comida y con el motor moveré el tractor. Hay muchos tipos (Figura 1), en función de varios conceptos:



FIGURA 1.- TIPOS DE MÁQUINAS TÉRMICAS

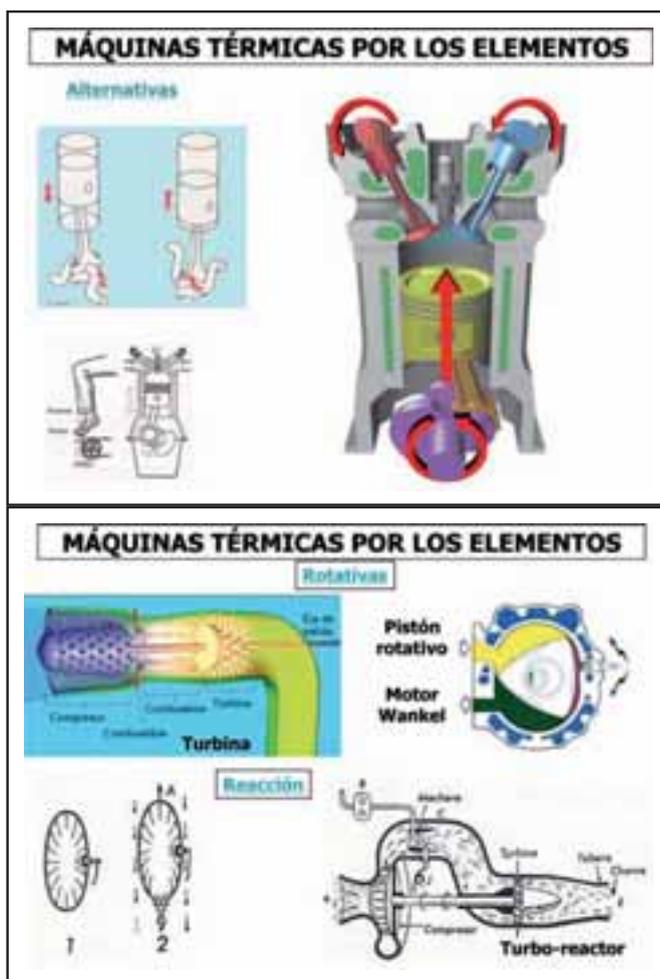


Es lo mismo que el globo. Si tenemos aire a presión en un globo, mientras esté cerrado y las paredes aguanten, ahí está, pero como abramos la espita, el globo sale disparado en sentido contrario. Dejaremos a las de reacción para los cohetes y nos centraremos en las alternativas. De todas formas, no me resisto a comentar, al mirar la imagen del motor Wankel si alguien se ha preguntado por la manera de expresar la cilindrada del Mazda RX en los folletos de *Guía del comprador de coches*, porque en un alternativo sabemos calcular el volumen de un cilindro (lo haremos luego), pero ¿cuál es el volumen de ese gajo amarillo que aparece en la imagen?, je, je.

a) Por el 'fluido activo', que es lo que evoluciona en el interior de la máquina como resultado de la combustión. Diferenciamos entre máquinas de combustión externa e interna. Las primeras son aquellas en las que el combustible (madera, carbón...) NO está en el fluido activo. Se quema y el calor producido se emplea en calentar agua que se transforma en vapor. Este vapor es el fluido activo que evoluciona en el interior de la máquina. Es decir, tenemos la máquina de vapor. Por el contrario, en las de combustión interna, el combustible se quema en el interior de la máquina. En uno y otro caso, el fluido activo se pone a mucha presión y tiene que liberarla aplicando fuerza contra alguien.

b) Por la forma de canalizar las fuerzas producidas en la evolución del fluido activo, hay a máquinas alternativas, rotativas y de reacción (Figura 2). Las alternativas son aquellas en las que la presión del fluido activo (vapor o gases de combustión) golpea una pared móvil (pistón), que cede y se desplaza con movimiento rectilíneo alternativo, ya que no tiene otra posibilidad de moverse. Mediante un dispositivo adecuado (mecanismo biela-manivela) se transforma el movimiento alternativo en rotativo: un eje (cigüeñal) que es el corazón del motor. En las rotativas, la presión de los gases incide directamente en los álabes de una turbina o en un pistón rotativo (motor Wankel), así que, de nuevo tenemos un eje que gira. Por último, las de reacción se basan en el principio de acción y reacción: la eyección de un chorro de gases a alta presión por un orificio provoca el movimiento en sentido contrario.

FIGURA 2.- MÁQUINAS TÉRMICAS POR LOS ELEMENTOS QUE RECIBEN LA FUERZA DE LOS GASES DE LA COMBUSTIÓN



c) Por el ciclo cerrado o abierto del fluido activo (Figura 1). Se refiere a si se recicla –o no– el fluido activo. En las máquinas de vapor, el vapor de agua, una vez que ha cedido su energía en la máquina, se vuelve a convertir en agua y, salvo las pérdidas inevitables (que tanto gustaban a los indios en las películas del oeste, para cargarse el depósito con el que el ‘caballo de hierro’ compensaba esas pérdidas), se vuelve a utilizar, formando un ciclo cerrado. Por el contrario, las máquinas de combustión interna funcionan en ciclo abierto ya que, una vez quemado el combustible, no es posible reutilizarlo. Tampoco se reutiliza el combustible (madera/carbón) en las de ciclo cerrado, pero lo que evoluciona en el interior de la máquina no es el combustible sino el producto que recibe la energía de la combustión del combustible.

2.- El combustible

Su misión: quemarse y producir calor, trabajo, energía. Los hay sólidos (madera, carbón, biomasa), líquidos y gaseosos (butano, propano...). Los tractores se apuntan a la moda líquida, mucho más operativa para un vehículo móvil que los sólidos y gaseosos. Y los combustibles líquidos son hidrocarburos, es decir, cuerpos con carbono e hidrógeno. Ya... dicho así queda muy bien, pero hay que precisar más. Venga, algo de química e historia.

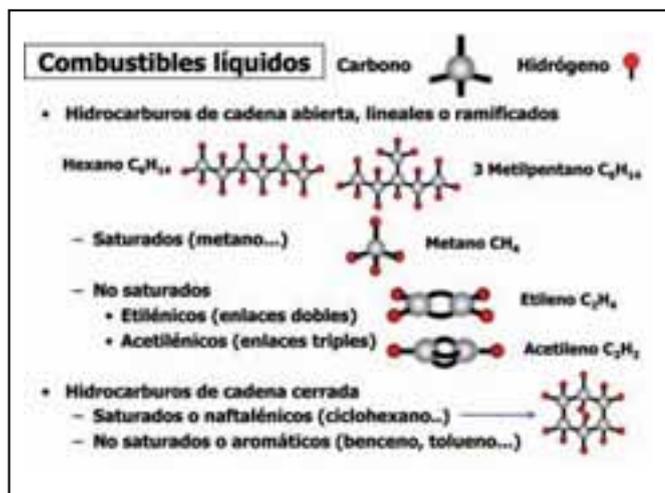
La química: Dice doña química que cada cuerpo tiene sus átomos característicos con un núcleo y electrones dando vueltas en sus órbitas. Y resulta que se enlazan unos cuerpos

con otros de muy diferentes maneras. Así, todos decimos con naturalidad que el agua es H_2O , asumiendo que una molécula de agua necesita, para formarse, dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Pues bien, también los átomos de carbono e hidrógeno se unen de distinta forma, dando lugar a los tipos de hidrocarburos. El átomo de carbono ofrece 4 enlaces posibles y el de hidrógeno, uno. Pero el carbono puede enlazarse con él mismo utilizando 2 ó 3 de sus enlaces posibles, dando lugar a lo que se denomina enlaces dobles o triples. Cuando los enlaces entre los átomos de carbono son simples, se llaman ‘saturados’, mientras que si hay enlaces dobles o triples de carbono se le llama ‘no saturados’. También puede formar estructuras (cadenas) de enlaces abiertas o cerradas (anillos), lineales o ramificadas, como se aprecia en la figura 3. El más sencillo, el metano (CH_4), con 1 átomo de carbono y 4 de hidrógeno. En la misma figura aparece el hexano (C_6H_{14}) que tiene 6 átomos de carbono y 14 de hidrógeno en una cadena abierta, lineal, no ramificada con enlaces simples (no saturado). Un mundo que dejaré para los expertos, pero que nos sirve para comprender las dificultades para diseñar un motor.

La historia: Los hidrocarburos son derivados del petróleo que los antiguos utilizaban para embalsamar difuntos, calafatear barcos, servir de elemento de unión en construcciones, impresionar al personal en las ceremonias religiosas y, por supuesto, como arma de guerra. Allá por la antigua Persia, los yacimientos superficiales permitieron conocer el fuego sagrado. El nombre de la República de Azerbaijan viene de *Tierra del fuego sagrado*.

Ahora bien, si pretendemos decir que tenemos un combustible, por ejemplo, la gasolina y queremos caracterizarlo con UN hidrocarburo para que Doña Química me diga cuánto aire/volumen... cilindrada necesito para quemar una determinada cantidad de combustible, vamos dados. Es decir, voy y lo caracterizo con el heptano, por ejemplo (hidrocarburo de cadena abierta, saturado, con enlaces simples y 7 átomos de carbono, es decir fórmula C_7H_{16}) para que Doña Química se ponga a calcular. Pero todos sabemos cómo es la madre naturaleza: maravillosamente biodiversa. La gasolina tendrá heptano, no lo dudo, pero tendrá también un montón de otros hidrocarburos, así que los cálculos químicos, pues, ejem, ejem, los utilizaremos y luego recurriremos a la experimentación hasta dar con una aproximación que funcione. Y funciona.

FIGURA 3.- HIDROCARBUROS



Por si alguien tiene curiosidad, se puede ver que el Hexano y el 3Metil pentano tienen la misma fórmula C_6H_{14} , pero el metil es ramificado porque lleva un 'metano' en el átomo 3 del pentano.

Llevamos años amenazando con el fin del petróleo, la aparición de los biocombustibles y ahora, los coches eléctricos, pero me da que los lectores y yo terminamos nuestros días con combustibles derivados del petróleo.

Sólo una cosa más de los combustibles: Su carnet de identidad, es decir, **El poder calorífico**. Es la cantidad de energía que liberan al quemarse. Se determina en laboratorio, en condiciones controladas y representa la cantidad de calor que desarrolla la unidad de masa, así que se expresa, por ejemplo, como kJ/kg. En el gasóleo anda por 42 000 kJ/kg.

3.- La combustión

Tenemos combustible y queremos quemarlo. ¿Qué necesitamos? Oxígeno, claro, porque la combustión es una oxidación. El diccionario de la RAE –en su primera acepción– dice que oxidar es “*Dicho del oxígeno o de otro agente oxidante: Producir óxido al reaccionar con una sustancia*”; pero en una segunda

acepción vuelve a la química: “*Dicho de un átomo o de un ion: Perder electrones*”. La razón es que, antiguamente, se decía que oxidación eran reacciones en las que el oxígeno se combinaba con otros cuerpos,

porque se veía claramente que el hierro, al dejarlo al aire, donde hay oxígeno, sufría unas reacciones (se oxidaba). Era, en efecto, una oxidación, ‘lenta’, por cierto. Sin embargo, también hay oxidaciones ‘rápidas’ como es una combustión. Y más tarde se vio que hay otros productos metálicos que se combinaban con otras sustancias igual a como lo hace el oxígeno, por lo que pasó lo que tantas veces ha sucedido: que se mantuvo el nombre (oxidación) aplicado a un proceso más amplio: perder electrones.

Pero no nos vayamos por las ramas de la terminología. Estamos que ardemos. Nos interesa esa oxidación rápida de un combustible con el oxígeno del aire que llamamos



combustión. Si la combustión es completa, el resultado es anhídrido carbónico y agua:



He representado al hidrocarburo como $C_n H_{2n+2}$, siendo n en número de átomos de carbono, por considerar los de cadena abierta no saturados,

que suelen ser los que, de manera simplificada, representan a los combustibles líquidos de los motores. **De manera simplificada**, insisto. Así, si n=1 tenemos el metano, si n=7, el heptano y si n=8, el octano... De cara a hacer cálculos, Doña Química quiere saber quién es ‘n’ y, muy serios le decimos, por ejemplo que 8, octano, un hidrocarburo muy abundante en el gasóleo y nos callamos prudentemente que no tenemos ni repajolera idea de lo que hay exactamente en el combustible, porque influye la procedencia, el proceso de destilación del petróleo... Mira, que es 8 y que sea lo que Dios quiera. Doña Química ajusta la reacción, (que también depende de que sea ramificado o no, porque en la figura 3 aparecen dos hidrocarburos con igual fórmula $C_6 H_{14}$, uno ramificado y otro no, que se van a comportar de manera distinta, pero que Doña Química haga lo que pueda), hace cálculos con los pesos atómicos del carbono, el hidrógeno y el oxígeno y al final nos dice que la relación aire/combustible, o más académicamente, relación estequiométrica, en peso, es 16, pero los motores de gasóleo funcionan con exceso de aire y los valores reales serán mayores. ¿Cuánto? Pues ‘Probando, probando’, los experimentos lo dirán. Luego haremos números para asustarnos. Y también de que en la reacción aparecen otras cosas, muchas de ellas, peligrosas para la salud y el motor tiene **también** que procurar vomitar poca porquería. Para acabar este punto, una opinión ajena, muy descriptiva. Los profesores Araque y Fygueroa (2005), de la Universidad de los Andes, resumen el proceso de la combustión con estas palabras: “*El proceso real de combustión es muy complicado debido a que no es predecible y porque está afectado por problemas propios como: combustión incompleta, disociación del CO_2 y H_2O a altas temperaturas, recombinación de componentes, duración del proceso, presencia de reacciones químicas intermedias y otros. Por lo tanto en*



los productos aparecen una gran cantidad de especies y un simple balance másico no es suficiente". Justo lo que necesitábamos para levantar el ánimo. Bromas aparte, queda muy clara la complejidad del proceso y sirve para incrementar nuestra confianza y admiración en los fabricantes de motores.

4.- Los ciclos

Tenemos un combustible, sabemos cuánto aire necesitamos para quemarlo (relación estequiométrica) y cuánto calor va a proporcionar su combustión (poder calorífico), pero hay que pasar a la fase de construcción de ese esquema que aparecía en la Figura 1. Si decimos que es ciclo abierto, el combustible entra, se quema con aire (tengo que meter aire), lo quemo (¿cómo produzco la combustión?) y no lo reciclo. Y una vez que se ha quemado una determinada cantidad de combustible, repito la jugada. Es decir, es un proceso 'cíclico'. Y al hablar de ciclos, dos conceptos:

a) Ciclo térmico

Hay dos grandes individuos en los motores térmicos: Claus Otto y Rudolf Diesel. Cada uno diseñó un tipo de motor. D. Claus trabajó con el motor de gasolina y D. Rudolf, con el de gasóleo. No sé bien por qué, el motor de gasóleo se quedó con el nombre de D. Rudolf, pero no pasó así con el de gasolina, que pasó de D. Claus. Misterios de la ciencia. En cualquier caso, los ciclos térmicos indican los procesos que se producen en el interior del motor y que se explican por las diferencias en las características del combustible. La gasolina es volátil, ligera, tiene gran facilidad para inflamarse: total, que la compresión que se produce en la mezcla aire-combustible no puede ser muy elevada (relación de compresión de 8-10) porque si no se va a producir una combustión incontrolada. Como no comprimo mucho, necesito una fuente exterior para provocar la combustión: la chispa que me produce una bujía. El gasóleo es más pesado y volatilizarlo para entrar mezclado con el aire como la gasolina sería muy complicado. Solución: meto aire en el cilindro que irá aumentando de volumen a presión más o menos constante, atmosférica o aumentada con un turbo y entonces, claro, puedo comprimir muchísimo más (reducir volumen y aumentar presión) porque como no hay combustible, desde luego no se va a producir ninguna explosión. Al comprimir mucho (relación de compresión de 17-18), el calor es mucho más elevado. Tanto que me voy a evitar la chispa, porque en esa masa de

aire MUY caliente, al entrar el combustible se va a producir la 'combustión espontánea' en la que la presión aumentará la tira, a la vez que aumenta el volumen, como consecuencia de la expansión de los gases de la combustión, mientras va disminuyendo la presión. Por último, para reciclar la masa de aire y combustible, se expulsan los gases quemados, reduciendo el volumen en el motor hasta vaciarlo del todo. Claro que un motor diesel tendrá que resistir esas presiones tan elevadas, así que será mucho más robusto (léase caro, claro). Resumiendo: el ciclo térmico es la sucesión de variaciones de presión y volumen que tiene lugar en el interior del motor.

b) Ciclo operativo

Lógicamente va unido al ciclo térmico. Consiste en la serie de operaciones que el fluido ejecuta y que se repiten con ley periódica: admisión, compresión, trabajo y escape. Hay dos ciclos operativos: de 4 tiempos y de dos tiempos. La diferencia: el número de vueltas del eje motor (cigüeñal) que tarda en hacer las 4 operaciones. En el ciclo de 4 tiempos, el cigüeñal necesita dos vueltas completas para completar el ciclo. En el de dos tiempos, las 4 operaciones del ciclo se hacen en 1 vuelta del cigüeñal. Nos centraremos en el ciclo de 4 tiempos por ser el que se utiliza en los motores de los tractores. Claro, en un comportamiento teórico, si hay 4 operaciones y dos vueltas (4 medias vueltas), cada media vuelta corresponde a una operación.

Ciclo de 4 tiempos:

- 2 vueltas por ciclo
- 4 carreras por ciclo

Sigamos ese ciclo 'teórico' (Figura 4). Como en todo proceso cíclico, empezamos en un determinado momento, por ejemplo en el momento en que se ha vaciado el motor de los gases quemados. El pistón estaría en el llamado 'Punto Muerto Superior', que quiere decir que está en el punto más cercano de la culata (o más alejado del cigüeñal), lugar donde está la cámara de combustión y las válvulas. Por cierto, estoy en un motor 'clásico' sin inyección electrónica ni common rail, pero que resulta mucho más claro para los conceptos. Una vez entendido, podemos decir que "ahora eso se hace con una centralita y una electroválvula..." y sin enterarnos de nada. Y estaba comentando el término 'Punto Muerto Superior', porque eso de llamarlo "el punto más alto de la carrera del

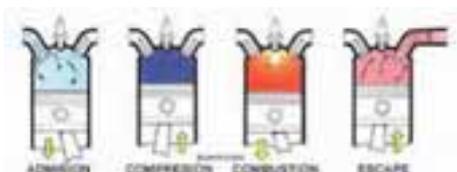
"pistón" no me parece serio, porque como el motor sea horizontal, pues ya me dirán, tengo que recurrir a que 'alto' es alejado del cigüeñal, etc, etc. En fin, no es que me corte las venas por este tema, pero me parece más correcto lo de más cercano a la culata. Lo que sí es muy acertado es lo del término 'muerto' porque quiere decir que el pistón llega a un punto en que se para. Cada carrera es el recorrido entre puntos muertos.

Recuperemos el ciclo operativo: Estamos en el punto muerto superior. La válvula de escape se cierra y se abre la de admisión. El pistón hace la carrera hasta el punto muerto inferior, mientras se llena de aire. Al llegar al punto muerto inferior, se cierra la válvula de admisión y el pistón empieza a hacer la segunda carrera, comprimiendo el aire. Al llegar al punto muerto superior (1 vuelta), se produce la inyección del gasóleo y la combustión. Con las dos válvulas cerradas se produce la tercera carrera hasta el punto muerto inferior (carrera de trabajo, única carrera 'activa' de las 4), momento en el que se abre la válvula de escape y se aprovecha la última carrera para que el pistón vaya barriendo los gases quemados hasta completar el ciclo.

Luego viene el ciclo real. A base de ensayos se han establecido una serie de modificaciones: adelantos y retrasos en las aperturas y cierre de las válvulas, que ya no coinciden con los puntos muertos superior e inferior, momento de la inyección y, por supuesto, todas las novedades de los modernos sistemas de inyección. Eso puede reducir la energía teórica que pensábamos obtener del combustible, pero hay aceptar ciertas pérdidas en aras a conseguir un funcionamiento aceptable. El ciclo real es algo diferente y se producen situaciones paradójicas, como el 'cruce de válvulas' que es el tiempo en el que están abiertas, simultáneamente, la válvula de admisión y escape, algo que nos suena raro, pero que favorece, de hecho, el llenado del cilindro. Y el llenado es muy comprometido, que hay poco tiempo para hacerlo, como veremos al hacer números.

Nos quedamos, de todas formas, con que la base es la que es.

FIGURA 4: CICLO OPERATIVO DEL MOTOR



5.- Etiquetado del motor

Al final, hemos llegado a que el motor del tractor es:

- De combustión interna
- Alternativo
- Ciclo abierto
- Diesel
- 4 tiempos

6.- Los números del motor

Volvamos al tractor del principio para hacer números. De las muchas potencias, voy a usar la medida en el ensayo a la toma de fuerza al régimen nominal, es decir, 179.2 kW a 2 100 rev/min, con un consumo específico de 227 g/kWh. El consumo horario C_h (L/h) resulta:

$$C_h(\text{L/h}) = \frac{C_s(\text{g/kWh}) \cdot N(\text{kW})}{\rho(\text{kg/L}) \cdot 1000} = \frac{227 \cdot 179.2}{0.84 \cdot 1000} = 48 \text{ L/h}$$

Siendo:

- C_s (g/kWh): Consumo específico de combustible
- N (kW): Potencia del motor
- ρ_c (kg/L): Densidad del combustible

Sale una cantidad alta, pero es que el tractor es muy grande y el punto corresponde a la potencia nominal. Sin embargo, a partir de ahí, vamos a seguir haciendo números sencillos, aplicando las fórmulas correspondientes. Y recordemos siempre que las fórmulas son amigas, no enemigas.



En primer lugar, el tiempo para realizar un ciclo y su inversa, el número de ciclos por segundo:

$$t(\text{s/ciclo}) = \frac{2(\text{rev/ciclo}) \cdot 60(\text{s/min})}{n(\text{rev/min})} = \frac{2 \cdot 60}{2100} = 0.057 \text{ s/ciclo}$$

$$CS(\text{ciclos/s}) = \frac{2100}{2 \cdot 60} = 17.5 \text{ ciclos/s}$$

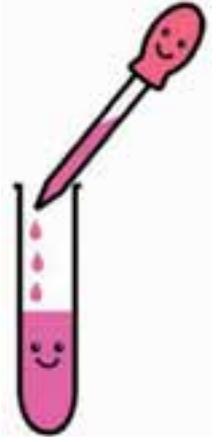
Alucinante. Pues para que lo sea más, pensemos que si en 1 segundo el pistón realiza 17.5 ciclos y en cada ciclo hace 4 carreras, hace $17.5 \times 4 = 70$ recorridos de 126 mm cada uno, PA-RÁN-DO-SE al comienzo y al final de cada recorrido (puntos muertos). Cuesta que entre en la cabeza. Pero es una realidad. El que pueda, que se imagine estos números con las revoluciones del coche de Fernando Alonso.

En 1 segundo:

- **17.5 ciclos completos**
- **400 recorridos de 12.6 cm**
- **Parada al comienzo y final de cada recorrido**

Y si los cálculos los referimos al consumo nos podemos encontrar con cosas interesantes. Antes calculamos que en una hora el motor

consumía 48 L de combustible, pero es que en una hora hace 63 000 ciclos, 126 000 revoluciones y 252 000 recorridos entre puntos muertos, lo que se traduce en 0.0008 litros de combustible por ciclo, vamos una birria si pienso en cada cilindro, porque esa cantidad era para el motor, que tiene 6 cilindros, así que para un cilindro es 0.0001 L, ¡¡la décima parte de un mililitro!! Si preguntamos a los expertos en medicinas te informan de que se estima que en 1 mL hay unas 20 gotas de colirio, por ejemplo, así que podríamos decir que en un ciclo entran dos gotas de combustible. Claro que con las presiones de inyección que se gasta el motor, ya serán más gotitas, aunque diminutas.



CICLO DEL MOTOR

Tractor: **FENDT 828 vario**
 Test N° **11-033 Feb 2011 DLG**

Cilindros

N°	6	Cilindrada	
Diámetro	101 mm	Unitaria	Cu 1L
Carrera	126 mm	Total	Cu 6L

Punto del funcionamiento del motor

	n	2100 rev/min
Nominal	N	179.2 kW
	Cs	227 g/kWh

TIEMPO POR CICLO t 0.057 s

CICLOS POR SEGUNDO CS 17.5

				1 ciclo	1 seg	1 min	1 hora		
Movimientos	Revoluciones (*)	ud		2	35	2 100	126 000		
	Recorridos entre Punt M (*)	ud		4	70	4 200	252 000		
	N° ciclos	ud		1	17.5	1 050	63 000		
TIEMPO				0.057	1	1	1		
C O N S U M O	Combust	Masa	Motor	m_c	$g_{comb}/ciclo$	0.649	11.3	678.0	40 678.4
			1 cilindro	m_{cu}	$g_{comb}/ciclo/cil$	0.108	1.88	113.0	6 779.7
	Volumen	Motor	C_c	$L_{comb}/ciclo$	0.008	0.0135	0.81	48.4	
		1 cilindro	C_{cu}	$L_{comb}/ciclo/cil$	0.0001	0.0022	0.13	8.1	
	Aire	Masa	Motor	m_a	$g_{aire}/ciclo$	11.62	203.39	12 203.5	732 211.2
			1 cilindro	m_{cu}	$g_{aire}/ciclo/cil$	1.94	33.90	2 033.9	122 035.2
Volumen	Motor	C_a	$L_{aire}/ciclo$	5.28	92.451	5 547.1	332 823.3		
	1 cilindro	C_{cu}	$L_{aire}/ciclo/cil$	0.88	15.41	924.5	55 470.5		

RE 18
 Densidad aire ρ_a 2.2 g/L
 Densidad combust ρ_c 0.84 kg/L
 (*) Ciclo 4 tiempos 2 rev/ciclo
 Ciclo 4 tiempos 2 recorridos/revolución

