

Mot ores de comp eti ción



José Ángel Campillo Verdú
José Miguel Pérez López
Alberto Cañizares Picó
Pedro Ruiz Sánchez

Índice:

	Pag.
Diferencia entre motores de calle y de competición.....	2
Reglamento de la F1.....	4
Motores de la F1.....	19
Puesta a punto de los motores de competición.....	23
Principio de sobrealimentación.....	27
Turbo compresor.....	29
Actualidad.....	30

Diferencia entre motores de calle y de competición

Un motor concebido para el mundo de la competición posee sutiles diferencias respecto al motor de un utilitario. Es evidente que un vehículo comercial debe tener un motor con unas características muy específicas, debe mover con fluidez todo el chasis, consumir combustible dentro de unos márgenes lógicos en función de su potencia, y por supuesto una vida y fiabilidad lo mas larga posible. Este ultima premisa es tal vez el mayor condicionante.



Para que un motor sea fiable debe ser a nivel interno muy equilibrado, no puede poseer vibraciones internas por desfases en los procesos de combustión y para ello las piezas móviles no pueden sufrir desgastes que hagan variar con el tiempo su equilibrio, y por supuesto su diseño, fabricación y montaje deben ser de altísima calidad y precisión. Si lo pensamos bien, cualquier motor V6 de 3000 cc que existe en el mercado automovilístico ronda entre los 200 y 230 cv, no más, y su par esta entorno a 28-31 mkg con un



VarioCam Plus

régimen de giro máximo de 6500 r.p.m. en el momento de corte de inyección. Su peso ronda entre 165 y 180 kg. y su consumo medio esta entorno a los 12 litros cada 100 km., alcanzando como consumo umbral entorno a unos 25 litros en conducción deportiva. Este tipo de motor se monta en berlinas de mas de 4,5 metros de longitud y con un

peso de mas de 1500kg como norma general. Puede mover sin

problemas a cualquier carrocería a mas de 230 km./h y acelerar de 0 a 100km/h entorno a 8 segundos.

Sin duda es una mecánica mas que interesante para un sector del mercado donde por norma general suele ser la mecánica más enérgica para marcas como Renault, Citroen, Peugeot, etc... y que suele dar un resultado mas que satisfactorio. Pero cuando hablamos de carreras de coches y en especial de Formula 1 hay que pensar sobre todo que las carreras duran 305 Km y se necesita toda la potencia posible respecto al rendimiento ideal de la mecánica que ofrece el reglamento con un consumo mínimo.

Reglamento de la F1

ARTICULO 5 : MOTOR 5.1 Especificaciones del motor :

5.1.1) Sólo se permiten motores de 4 tiempos de pistones alternativos.

5.1.2) La capacidad del motor no excederá los 3000 cc.

5.1.3) La sobrealimentación está prohibida.

5.1.4) Todos los motores tendrán 10 cilindros y su sección normal será circular.

5.1.5) Los motores tendrán un máximo de 5 válvulas por cilindro Al estar acotado inferiormente el peso de un monoplace con piloto (4.1 Peso mínimo : El peso mínimo del vehículo no será menor de 600 kg.), es obvio que los fabricantes deben construir un coche en esa cifra.

Por ello es fundamental construir un motor ligero al ser uno de los elementos mas pesados del conjunto. Realmente, un motor de f1 multiplica por 3 el régimen de giro de un motor de calle,

multiplica por 4 su potencia, y la vida media pasa de 250.000 Km a 450 Km.

Para alcanzar unas buenas aceleraciones es muy importante usar marchas muy cortas, pero por otro lado es muy importante alcanzar una buena velocidad punta luego también se necesita poder subir de vueltas lo mas alto posible. Las relaciones de las



caja de cambio de un coche convencional dejan como desarrollo final 5ª o 6ª velocidad entorno a 36-41 Km/h por cada 1000 r.p.m. , mientras que en un f1 la marcha mas larga esta entorno a 16,5-20,5 Km/h cada 1000 r.p.m. lo que le asegura alcanzar velocidades entre 300 y 360 Km/h cuando se gira a unas 18.000 r.p.m. Luego en función de la aerodinámica y el par motor, la aceleración y la punta será mayor o menor. Para que un motor gire más rápido basta con poner mas cilindros. Para una misma cilindrada el simple hecho de pasar de 6 a 10 cilindros, hace que la carrera de cada pistón(recorrido máximo del pistón en un ciclo entero de combustión) sea mas corta, luego la biela es mas corta, más pequeña en líneas generales y mas ligera. Es lógico que se moverá por tanto mas rápido. También podemos modificar las cotas estructurales. Podemos recortar la carrera del pistón, y aumentar el diámetro del cilindro para mantener la cilindrada, consiguiendo que la velocidad angular del cigüeñal de nuevo aumente.

Si a esto le unimos que podemos usar materiales cerámicos que son hasta un 70% más ligeros que el acero e incluso con un menor coeficiente de rozamiento, todo hace que el pistón en líneas generales sea aun más rápido. Luego, sencillamente, haciendo las piezas más pequeñas, más ligeras y menos resistentes conseguimos mas velocidad de giro. No debemos

olvidar que un motor esta formado por un montón de piezas móviles. A excepción del cigüeñal, que tiene que ser de acero o de fundición debido al reglamento todas las piezas se pueden aligerar y se pueden eliminar muchos rozamientos, luego, de nuevo tenemos una mejora en la velocidad de giro. Luego mientras se encuentren cada vez mejores materiales, siempre se podrá mejorar el régimen de giro. Lo anterior era mas o menos un pequeño matiz estructural básico, pero no el mas importante. Cuanto más rápido gire el motor más fácil será que aparezcan vibraciones. Estas vibraciones son debidas a que no todas las piezas son perfectas.

Matemáticamente todo es medible y calculable. Pero cuando trabajamos sobre el papel es muy difícil encontrar una precisión perfecta. Hay que tener en cuenta que los motores de los automóviles de calle necesitan un rodaje de motor de dos o tres mil kilómetros para que todo se ajuste y se amolde. Si se diseña adecuadamente y se estudia el comportamiento del proceso de combustión, cuantificando las fuerzas internas que se dan en las piezas que se mueven, se pueden evitar parte de las vibraciones. Cuando en un cilindro se produce la combustión, la energía interna de la mezcla combustible se transforma y mueve el pistón transmitiendo el movimiento al giro del cigüeñal, este a la transmisión, para mas tarde mediante un diferencial pasar un giro de un eje longitudinal al eje transversal de las ruedas. Para el aprovechamiento de la energía en cualquier explosión dentro de la cámara de combustión es necesario que se den unas condiciones idóneas de presión, temperatura, estequiometría de la mezcla y sobre la miscibilidad de la misma. Cuanto mas rápido vaya el motor, mas rápida debe ser la explosión, mas rápido deben abrirse y cerrarse las válvulas de admisión y mas rápido deben abrirse y cerrarse las válvulas de escape.

Todo ello esta en fase, todas las piezas se mueven a la vez, pero debido a que no todo es perfecto, el movimiento no es armónico, se dan ligeros desfases, que se aprecian como

vibraciones que se transmiten al exterior. Los rozamientos se incrementan con la velocidad, la energía cinética aumenta, la temperatura aumenta, se modifican las condiciones de la cámara de combustión, etc. Es decir que cuanto mas rápido gira el motor todo se complica mas y mas. En ese movimiento armónico del motor, con todos los cilindros moviéndose de dos en dos con una misma fase hay momentos más precisos que otros. Cuando al cigüeñal se transmite mediante las bielas y el pistón el par máximo, eso significa que la combustión a sido la más cercana a la ideal, es decir, se ha aprovechado lo máximo posible el combustible utilizado con un rendimiento máximo y además las condiciones de rozamiento y la facilidad de movilidad de las piezas han sido las mas adecuadas. Es decir, la entrada de aire y combustible mediante la apertura y cierre de las válvulas y la inyección (hoy por hoy directa), su compresión hasta unas condiciones de presión y temperatura idóneas, la explosión, y la apertura y cierre de válvulas de escape, se ha hecho en su debido momento.

Para poder mantener la curva de par lo mas alta posible durante el recorrido del giro de motor la máximo posible se utilizan sistemas de admisión y escape variable, estos últimos vetados hoy por hoy por el reglamento. Es decir, el tiempo de



apertura de las válvulas tanto de admisión como de escape, varia en función del régimen de giro para que entre o salga mas o menos cantidad de gases a la velocidad adecuada, para que en cada momento se disponga de una cifra de par adecuada. Así, cada explosión se hace en las condiciones adecuadas. Si no fuera

así, seria normal que muchas veces no diera tiempo a que se diera una combustión perfecta, y por tanto podría quedar restos de combustible en los cilindros de forma que cuando se abrieran las

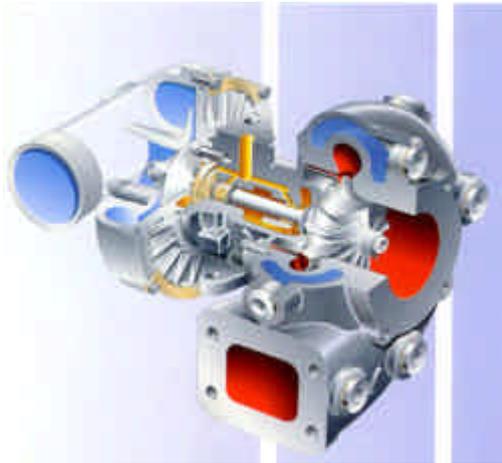
válvulas de escape, al llegar este combustible a los tubos del escape se daría la famosa llamarada típica.

En F1 el sistema de movimiento de válvulas es del tipo **DOCH**, que quiere decir, doble árbol de levas en cabeza, un sistema habitual en la mayoría de los vehículos de calle, aunque muchos fabricantes utilizan hoy por hoy sistemas denominados en cada caso, Vvtec en Honda, Vvti en Toyota, Valvetronic en BMW o VVB en Ferrari, todos ellos, sistemas de admisión de geometría variable con funcionamientos muy diversos pero que consiguen el mismo fin. En las escuelas de ingeniería de todo el mundo, se habla como sistema ideal y más perfeccionado el VVB (Variable-ValveBallistic) de Ferrari.

A nivel de inyección se lleva desde prácticamente 1982-1983 con sistemas electrónicos que calibran la cantidad adecuada de combustible que se necesita en cada momento, lo que hizo que se ahorrara mucha gasolina, ya que generalmente una gran parte de ella se quedaba sin quemar debido a que se vertía mas de lo necesario. La ventaja de la inyección era la pulverización que se hacia del combustible que facilitaba y homogeneizaba mas la mezcla con el aire. Actualmente se usan inyecciones electrónicas directas, es decir, en vez producirse la inyección en una precámara se hace de forma directa a la cámara de combustión, pero a una mayor presión de forma que el combustible no solo se pulverice, sino que casi se atomice consiguiendo que la mezcla sea lo mas perfecta posible en el tiempo tan corto. Hay que tener en cuenta que en una cámara de combustión se pueden llegar a producir 30 explosiones por segundo.

Se ha hablado mucho últimamente sobre el denominado *sistema magnético de regulación de la apertura de válvulas*, evitándose así cualquier sistema de árboles de levas mecánico eludir multitud de desfases y rozamientos. Este sistema es sencillo. Cada cilindro posee un sistema el cual regula la apertura y cierre de las válvulas mediante la variación de campos

magnéticos los cuales atraen o repelen la válvula. La ventaja se encuentra en que este sistema es tan rápido como queramos en función de la cantidad de corriente que genere el alternador. El problema está en que el único alternador que posee un f1 es insuficiente y se necesita al menos otro idéntico para poder cubrir las necesidades del mismo. *Con la corriente suficiente* podemos abrir y cerrar las válvulas más rápido que con el sistema DOCH, y además su funcionamiento es mucho más preciso que un sistema de geometría variable. Con este sistema se puede abrir las válvulas el tiempo suficiente con lo que el motor "respiraría" de la forma adecuada, consiguiendo que cada explosión fuese lo más perfecta posible. Uno de los mayores problemas que tuvo



Ferrari en 1997 con su motor, fue que quedaba mucha gasolina sin combustionar al régimen máximo, debido a la falta de respiración, por que su sistema de admisión no estaba en fase con el giro y por ello decidieron mapear el motor de forma que dispusiera de mas par pero de menos régimen de giro. El resultado fue un motor

inconducible y muy brusco. Este sistema de válvulas magnetizadas tiene el inconveniente de ser muy pesado y voluminoso, a lo que habría que añadir 4 o 5 kg. del alternador necesario.

Los sistemas electromecánicos ya fueron usados en el pasado, como por ejemplo Ferrari en 1983 con su 126 C3, con motor V6 a 120° de 1.496 cc y turboalimentado por dos compresores (*con dos compresores pequeños se consigue una mayor suavidad de funcionamiento y entrega de potencia que con un compresor grande*) Garret KKK que soplaba a 3 atmósferas, (Hoy por hoy los motores turbo de utilitarios como el A3 o S3 soplan a 0,7 bares y 0,9 bares respectivamente para dar 180 y 210 cv para el mismo motor 1.8 20v.), pero el inconveniente

estaba en que la tecnología del momento no estaba al nivel de lo exigido, y por ello se dejó de lado.

BMW antes de entrar en F1 desarrolló un sistema similar al de Renault y sus conclusiones dejaron claro que aún era pronto para sacar beneficio. A corto plazo a un sistema que seguramente sea la solución más lógica del futuro. Renault tiene listo un motor de 1,6 litros de cubicaje con este sistema de válvulas que mejorara la potencia, el consumo y el régimen de giro del motor. Otro factor a tener en cuenta es el nº de válvulas que tenemos por cilindro.



En teoría a mayor número de válvulas mejor rendimiento del motor, pero eso sí, solo se podrá apreciar a regímenes de giro altos. Ferrari fue el primer fabricante y constructor de F1 que se atrevió a desarrollar y utilizar motores con 5 válvulas aunque más tarde en el mundo de la competición lo dejó de lado debido a que la tecnología era muy joven, como ocurrió con el sistema VVB de admisión de geometría variable, que se usó en F1 en 1992 y 1993, y se aplicará en el futuro al F60 que está ya en la pista de Fiorano rodando y que verá luz para el 2003. Cuantas más válvulas y según su disposición en la culata, se podrá generar una mejor turbulencia de admisión que haga que se mezcle mejor el

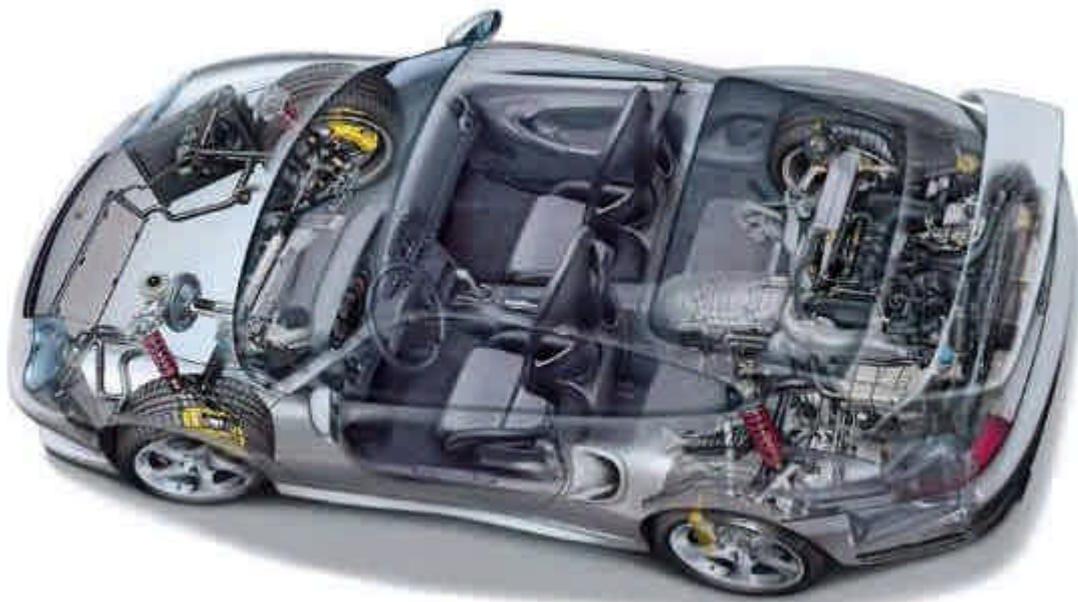
aire con el combustible micropulverizado para que la explosión sea más rápida y completa, y también se podrán escapar más rápido los gases de escape. Luego así a regímenes altos donde la velocidad de los procesos químicos es fundamental, el motor responderá mucho mejor.

Pero una cosa es la teoría y otra la práctica. Se ha podido demostrar que una vez que se introducen más de 5 válvulas, es decir 6,7 etc, se comprueba que el rendimiento no mejora, es más se reduce. El por qué es sencillo, y es debido a las limitaciones de espacio del cilindro y por que a mayor nº también se necesitan más elementos elásticos y el asegurar la total estanqueidad de la cámara de combustión es muy difícil. A regímenes altos, a la propia inercia de la válvula es difícil de frenar y se dan rebotes que producen muchos desfases.

Un tema del que aun no hemos hablado es el por qué del uso de motores en V en F1. *Lo cierto es que los motores en línea son los más equilibrados.* Su cigüeñal es más sencillo de calibrar y su construcción y diseño es muy simple sobretodo por la simetría entre codo y codo de cigüeñal. El mayor problema es que son motores muy largos, y la adopción de dos bancadas de cilindros inclinadas movidas por un mismo cigüeñal, de forma que se encuentren enfrentados uno a uno, es una solución que acorta el motor, casi a la mitad. *Realmente el funcionamiento es muy similar al de un motor en línea, pero por el contrario es más difícil de equilibrar.* La V implica que el sumatorio de las fuerzas que afectan al cigüeñal a la vez no se anulen del todo siempre de forma que no sea un motor equilibrado. Para que esto no ocurra es fundamental que los tiempos motrices del cigüeñal no estén desfasados y en todos los motores V ocurre. En función de la inclinación que esta apertura tenga, estos desfases serán más o menos grandes, repercutiendo en la armonía y suavidad del movimiento, algo que no ocurre en los motores en línea. Un ejemplo, en un motor de 8 cilindros en línea, cada 90° de giro del cigüeñal se produce la explosión en dos cilindros siendo perfecta

su simétrica. En un motor V8 para que se de el mismo equilibrio, y no se note esa desigualdad angular se tiene una mitad de los cilindros con una sucesión de tiempos motrices de 120° y la otra mitad a 60° de forma que cada dos vueltas de cigüeñal tengamos 8 impactos motrices de forma que no se nota el desfase de tiempos de trabajo.

De esta forma, con el solape de tiempos conseguimos que el motor sea regular en su giro, a la vez que suave y equilibrado. La mejor solución por lo general es que si el cigüeñal necesita 90° de giro para que se dé la combustión en cada par de cilindros en el motor en línea, cuando se transforma en V, lo mejor es conservar esa configuración en los codos del cigüeñal y hacer que el ángulo entre las bancadas de cilindros sea también de 90° . En un motor V10 la configuración del cigüeñal es de 72° ya que es la mas lógica y simétrica, y la V por tanto también de 72° como se pude



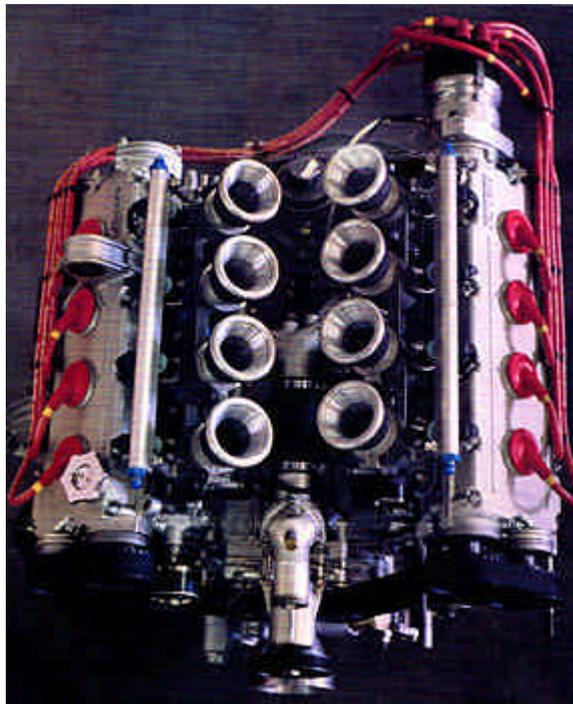
comprobar. De esta forma también se logra un equilibrio casi perfecto en el motor.

Por eso, el adquirir una configuración de 110° como anunció Renault, es un atrevimiento y a la vez un reto, ya que se antoja, por simple geometría y dificultad en el funcionamiento general de todas las piezas en una fase regular y equilibrada, muy difícil de conseguir. Hoy por hoy sin duda el proyecto avanza lentamente y se estima que la potencia máxima del motor del Benetton B201 no supere los 720 cv, unos 30cv menos incluso que el motor Ford de Minardi. Su fiabilidad es netamente inferior a un motor más habitual. El hecho de abrir tanto las bancadas hace que las culatas se encuentren más bajas de lo normal, y teniendo en cuenta que el mayor peso se acumula en las mismas, de esa forma se logra que el baricentro motor (centro de masas, que no es lo mismo que centro de gravedad) sea más bajo, haciendo que el conjunto del chasis también lo sea. También, al ser el motor más bajo se puede hacer que los portones sean más bajos, de modo que la aerodinámica del f1 pueda trabajarse de otra manera. Normalmente con los pontones más bajos se consigue un menor rozamiento y una mayor estabilidad de la zona trasera del monoplaza. Realmente este beneficio según Patrick Head es insignificante teniendo en cuenta los problemas de fiabilidad y potencia que da el motor en sí, al menos de momento.

Si un motor vibra, esas vibraciones aumentan con la velocidad de giro del mismo y se van transmitiendo a la transmisión y de la misma forma al diferencial y a los semiejes traseros. Es decir, demasiadas piezas vibrando. El motor Peugeot del año pasado vibraba demasiado, y aunque era potente, 792 cv anunciados, su funcionamiento no era equilibrado, y la junta de unión con la transmisión terminaba cediendo, siendo al final de temporada la mayor de las causas de abandono de los monoplazas del equipo Prost. En cuanto al tamaño del motor, cabe resaltar, que cuanto más corto sea el conjunto motor transmisión, más largo podrá ser el extractor de aire que produce el efecto suelo como por ejemplo ya ocurre con Ferrari y McLaren este mismo año.

Un tema fundamental y que no podemos dejar de lado es el peso del motor y los materiales que lo constituyen. Hoy por hoy, las nuevas aleaciones y en especial las cerámicas se están usando de forma extensiva en los motores ya que son materiales que se caracterizan por estar formados por la unión de elementos atómicos mediante enlaces de carácter predominantemente iónico o covalente, es decir, fuertes y estables. Sus propiedades más destacadas son la dureza y rigidez (elevado módulo de Young), son aislantes térmicos y eléctricos, poseen una importante inercia química frente a ambientes químicos hostiles y tienen altos puntos de fusión. Su gran defecto es que son frágiles ante impactos o esfuerzos de tracción al no tener ningún tipo de comportamiento plástico. Algunas cerámicas pueden ser hasta un 70% más ligeras que el hierro de fundición o el acero y eso hace que al final se pueda aligerar de forma sustancial un motor. Además las propiedades de estos materiales permiten reducir las dimensiones de las piezas de forma sustancial sin tener

que un margen de seguridad en las dimensiones se han forma igual que su el motor V6 Ferrari pesaba 177 kilogramos. motor V10 Mercedes 90



problemas ya permiten un trabajo y muy amplio. Las de los motores reducido de sustancial al peso. En el '83 de 1,5 litros de pesaba 177 Hoy en día, el de 3 litros de pesa menos de kilogramos, es

decir la mitad. Las paredes del bloque motor apenas son de 1 cm de grosor cuando anteriormente eran superiores a 2,5 cm, y las piezas móviles como bielas, válvulas, etc., poseen menos inercias lo que permite que haya menos desequilibrios en el cigüeñal.

El rendimiento teórico de una maquina térmica es más elevado cuanto mayor sea la diferencia de t^a entre el foco frío y el foco caliente. La temperatura de funcionamiento de un motor de explosión clásico esta limitada por la aleación ligera que lo constituye y su t^o de fusión, y es de unos 350^o C. La temperatura de fusión de la Alúmina(Al_2O_3) es de 2050^o C, lo que permite construir maquinas térmicas con un mayor rendimiento termodinámico. Realmente en un banco motor se mide el par del motor. El par motor es el momento de fuerzas, que es una magnitud que relaciona la fuerza del pistón aplicada sobre el cigüeñal a través de la biela. Es el producto vectorial de la fuerza por la distancia al punto de aplicación de la fuerza es el momento de fuerzas. El par motor es tanto alto como fácil y eficaz, debido a la combustión del combustible. La potencia efectiva de un motor se mide multiplicando el par motor (Kgm) por el régimen de giro (r.p.m.) al que se consigue dividido por 716, para que el resultado sea en CV. Es decir, que cuanto mayor sea el régimen de giro mayor será la potencia, pero... hay que tener en cuenta que el par máximo se logra aproximadamente a $2/3$ partes de la velocidad de giro para decaer poco a poco hasta alcanzar la velocidad critica. Por lo general a pesar de decaiga el par motor, la potencia sigue aumentando por que el régimen de giro crece mas rápido que la decadencia del par, hasta que el par decaiga con una pendiente muy brusca y el motor deje de empujar. La explicación de por que a partir de un régimen de giro el par decae, es sencilla. Según aumenta el régimen de giro, los rozamientos van aumentado, y la precisión de la admisión, combustión y escape van siendo cada vez menores. Luego si hay algo que nos frena y además ya no se extrae tanta energía del combustible como antes, es evidente que el par decaiga. Pero la potencia efectiva del motor es una pequeña parte de la potencia real que el combustible podría darnos. La potencia dentro de un motor se puede medir en distintos puntos.

En el combustible se mide la potencia química del combustible. En la cámara de combustión se mide la potencia

térmica, en la cabeza del pistón, la potencia indicada y a la salida del cigüeñal la potencia efectiva. La potencia química es la energía intrínseca que tiene el combustible y es la máxima potencia que se podría aprovechar del mismo, pero... siempre hay pérdidas. La potencia térmica en la cámara de combustión es la energía química que contiene el combustible y que se transforma en energía calorífica. La energía disponible en la cámara de combustión es menor que la potencia química del combustible, ya que parte del combustible no combustiona por falta de homogeneidad y atomización de la mezcla de aire y combustible. Es la primera merma de energía, que en F1 se está resolviendo poco a poco gracias al uso de un mayor número de válvulas y de sistemas de admisión variables junto con la inyección directa que hacen que se consiga esa mezcla atomizada y homogénea anteriormente mencionada. Luego tenemos la potencia indicada, que es la potencia disponible en la cabeza del pistón. De nuevo esta potencia sufre una merma de potencia respecto a la potencia térmica, debido a que parte de la energía del combustible se escapa en forma de calor con los gases de escape y otra parte de energía se escapa por las paredes del cilindro debido a los sistemas de refrigeración. A nivel de escapes poco se puede hacer, aunque mediante un buen sistema de colectores de escape parte de ese calor no se perdería, y en cuanto a la refrigeración, como hoy por hoy se utilizan cerámicas y estas permiten trabajar a temperaturas netamente superiores y sin pérdidas hacia el exterior por ser aislantes térmicos por lo que no se tiene que mantener una refrigeración tan estricta al nivel de bloque motor.

Finalmente nos queda la potencia efectiva que es la cifra que nos da la mayoría de los fabricantes de automóviles y que



es la potencia en la salida del cigüeñal, es decir, la que mueve la transmisión y en consecuencia las ruedas de un F1. De nuevo esta potencia efectiva sufre una merma en sus cifras de forma muy significativa, debida a las perdidas por rozamientos y arrastres de los elementos internos y externos de un motor. como puede ser la fricción de los segmentos sobre los cilindros, de los ejes de los casquillos respectivos, arrastre del árbol de levas venciendo los muelles de la válvula, de la bomba de aceite, etc, además del alternador, bomba de agua, etc.

Por lo general la potencia efectiva en un utilitario ronda entre el 14% y el 25 % en los mejores casos y de forma muy optimista de la potencia química de la mezcla de combustible. Se llega a perder entorno a un 35 % en forma de calor y otro 25% en rozamientos, mientras que otro 10 o 15% se pierde en hacer funcionar ciertos elementos como el alternador, bombas de aceite, aire acondicionado, etc.

Luego los frentes en los que trabajan los técnicos de forma extensiva dentro de los motores de competición está en reducir los rozamientos con piezas más pequeñas y con nuevos materiales, aprovechar al máximo el calor e impedir sus perdidas, siendo los campos de trabajo en los que se puede ganar mas y mas potencia efectiva al final de todo. Imprescindible por otro lado es hacer que un motor gire mas y mas rápido, siempre y cuando la distribución del par a lo largo del régimen de giro sea lo mas plano posible. Se puede conseguir la misma potencia con un motor que tenga un pico de par muy alto y decaiga poco a poco con un régimen de giro bajo, que con un motor que tenga un par mas bien bajo, pero que se mantenga a lo largo del régimen de giro, y siendo este ultimo mas alto que el otro motor. Las diferencias entre ambos en comportamiento es muy notable. El primero será mas brusco pero a ciertos regímenes de giro empezara a perder empuje subiendo muy lentamente de vueltas antes de que la potencia decaiga de golpe, como se daba con el motor Ford de Minardi(el par máximo no era muy alto), el

Peugeot(el par era brutal y le hacia tener perdidas de tracción aunque la caída final era muy pronunciada) y Supertec, mientras que el motor que tiene una curva de par estable y plana, subirá muy rápido de vueltas, de forma progresiva sin tener perdidas de potencia aparentes, cerca del régimen de giro máximo como era el caso del Cosworth, Petronas, BMW y en especial el Honda.

Tan solo Ferrari y Mercedes el año pasado poseían motores con un **par muy alto y muy plano** alcanzando regímenes de giro altísimos. Es una mezcla de los tipos anteriores con sus mejores características y que sin duda se puede apreciar su funcionamiento a través de los indicadores de r.p.m. de las cámaras interiores de la señal digital de Canal Satélite Digital. Es increíble la diferencia de elasticidad de los motores. El Ferrari de este año es especialmente rápido y elástico alcanzando regímenes que rondan las 17.850 r.p.m., mientras que BMW se conforma con 17.700 r.p.m. y Mercedes 17.600 r.p.m. El Ford del Minardi, apenas llega a 16.300 y con grandisima dificultad. Seguramente las cifras no son reales, pero hay que tener en cuenta que a todos se les ha medido con el mismo indicador, luego cave esperar que las cifras que nos indican sean proporcionales a las reales. Simplemente hay reseñar que el motor BMW en realidad y segun rumores supera las 19.000 r.p.m. En f1 es necesario que los motores posean mucho par a altas revoluciones para vencer la fuerza de rozamiento con el aire. Hay que tener en cuenta que el rozamiento aumenta de forma exponencial con la velocidad, y que a velocidades entorno a 300 km./h se puede llegar a necesitar hasta a 4 cv para ganar 1 km./h de velocidad con una carga aerodinámica máxima. A un f1 se le puede mover con soltura hasta 260 km/h de igual forma con 500 cv que con 800 cv, pero a partir de ahí, las cosas cambian de forma sustancial.

Y en cuanto al consumo, la distribución del mismo es inversa al par. El consumo mínimo se da al régimen de par máximo. El consumo disminuye según aumenta el par, y de la misma forma

aumenta según decaiga. Un motor con un par alto y muy plano, es decir lo mas constante posible a lo largo del régimen de giro, tendrá un consumo mas bajo un motor más agudo. Prácticamente, en estas cortas notas se han dejado claro ideas sencillas pero importantes. La reducción de peso de un motor ayuda aligerar el conjunto del monoplaza, pero a su vez permite que las piezas internas tengan menos inercias. Si a esto lo unimos que los materiales ayudan a reducir rozamientos y a empequeñecer las piezas, se mejora sin dura el régimen de giro del motor y se aprovecha parte de la potencia indicada y efectiva del motor.

Los sistemas de inyección, admisión, y de distribución en general, favorecen la combustión, y por tanto a la potencia química y al régimen de giro. Por lo que queda claro cuales son los campos de trabajo para ganar mas y más cv en un motor de F1. Cada uno, puede sacar las conclusiones que quiera, pero esto de la F1 no es tan fácil como se piensa. Aun así, es mas fácil hacer ganar un segundo en las pista a un monoplaza gracias al trabajo de la aerodinámica y a un buen ajuste de los reglajes, o simplemente con las gomas, que con años de desarrollo de motores sea el dinero que sea el invertido.

En F1 tenemos un motor de 10 cilindros en V con 3 litros de cubicaje y una potencia que hoy en día puede rondar los 850 cv con un par cercano los 120 mkg, con un régimen de giro entorno a 18.000 r.p.m.. Su peso apenas supera el centenar de Kg aunque ya existen algunos con menos de 90, y su consumo máximo es de 0,8 litros... por Km. Lo suficiente para alcanzar 360 Km/h y acelerar de 0 a 200 Km/h en menos de 6 segundos un conjunto de tan solo 600 Kg.

Motores de formula 1

Los motores de Fórmula Uno actuales son increíblemente potentes, y llegan a producir unos 800 HP (es el equivalente de un coche siendo arrastrado por 800 caballos). Ruedan a un régimen de 17.000 revoluciones por minuto - esta velocidad de rotación determina la potencia que el motor produce, y el valor dado el máximo, alcanzado cuando el acelerador está al máximo. Comparemos esto con un coche normal, que produce unos 140 HP a 4000 o 5000 rpm, ya que un coche de F1 pesa la mitad, y entenderemos porque el Sr. Schumacher y sus amigos van tan rápido.

Esta potencia no es algo que se consiga fácilmente, y los principales fabricantes tienen que gastar millones para estar a la altura. Ganar, dar beneficios, así que más y más fabricantes están entrando en la Fórmula Uno por la publicidad que supone ser el mejor del mundo. ¿Y donde va todo ese dinero? Los



fabricantes de motores intentan conseguir cuatro cosas: potencia en baja, potencia en alta, peso mínimo, y máxima fiabilidad: algo muy difícil para una maquina que deber soportar toda clase de abusos.

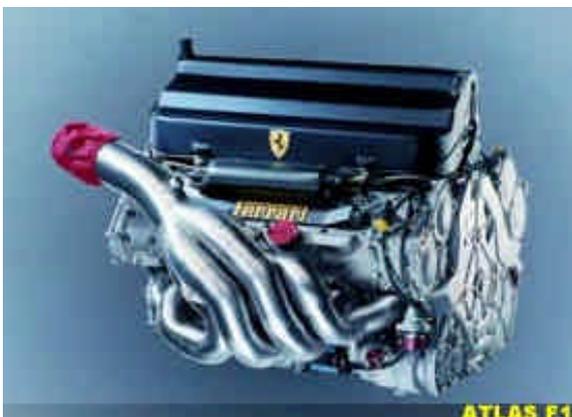
El motor tiene un número de cilindros, los cuales se pueden imaginar como una lata con una entrada en la parte superior (válvulas) y una base móvil en el otro extremo (pistón). Para cada cilindro, las válvulas se abren para permitir la entrada del aire y la gasolina dentro de la cámara de combustión (el interior del cilindro), donde es comprimida por el pistón en la parte superior del cilindro. El aire comprimido en la cámara es encendido por una

bujía, creando una explosión, cuya fuerza lanza el pistón hacia abajo.

Este pistón está conectado con el cigüeñal (un eje situado en la parte inferior del motor) de tal manera que el movimiento lineal del pistón crea un movimiento rotatorio del cigüeñal de 360 grados (ciclo). El movimiento rotatorio del cigüeñal es transferido mediante la transmisión a las ruedas traseras para proporcionar el movimiento.

El diseñador tiene muchos factores con los que puede jugar para mejorar el motor. En la Fórmula Uno, las reglas actuales especifican una capacidad cúbica de 3 litros (3000cc) - eso quiere decir que sólo tres litros de aire pueden entrar en los cilindros en cada ciclo. Eso significa que el volumen de los cilindros no puede sobrepasar los tres litros, y los diseñadores deben repartirlos en diez cilindros.

La entrada de aire situada encima de la cabeza del piloto lleva el aire hasta las diez trompetas de admisión del motor. Al final de estas trompetas se encuentran las válvulas que permiten que el aire llegue a los cilindros. La velocidad con que este aire entra (que depende de la velocidad del coche) produce un efecto aceleración que fuerza la entrada de aire en los pistones, antes de que estos lo compriman aún más, mejorando el rendimiento.



Las mejoras del motor también se consiguen mediante la reducción de peso y tamaño. El motor, que pesa unos 100/120 kilos, supone una gran parte del peso del coche, por lo que los diseñadores utilizan nuevos materiales que mejoran la rigidez y reducen el peso para permitir un menor tamaño y hacerlo más compacto. Al igual que el coche, es vital que el centro de gravedad esté lo más bajo

posible - es tan importante que, de hecho, Adrian Newey (diseñador) recomendó a Mercedes que cambiara el diseño de su motor por ese motivo. Además de esto, la altura del motor debe ser minimizada, porque el capó se sitúa lo más bajo que el motor permita, y con un motor más bajo se mejora el flujo de aire. Todo está relacionado entre sí.

El ahorro de peso y tamaño está muy bien, pero no sirve de nada si un motor se rompe a mitad de carrera. La fiabilidad es la base del éxito para un diseñador, y si no logra esto, normalmente el mundo se da cuenta rápidamente y de forma visible cuando su pantalla se llena de humo blanco. Los diseñadores tienen complejas herramientas de simulación a su disposición, con las que analizar los puntos que más sufren en los motores. Junto a esto, los motores son probados en cabinas dispuestas para tal propósito en los que alcanzan el mismo régimen que en pista pero sin ir a ninguna parte.

Un motor de F1 está construido para sobrevivir unos cientos de kilómetros, por lo que un equipo utilizará entre 80 y 100 motores por temporada. Los motores son reconstruidos, y el proceso de comprobación que esto supone lleva hasta cinco días. Algunas partes de los motores, al igual que partes de los coches, son "resucitadas" para que pueda ser reutilizada. Una vez construido o reconstruido, al motor se le monta la caja de cambios, y se prueba en condiciones de carrera simuladas antes de tomar parte en un Gran Premio.

Al igual que el aspecto mecánico, las cajas de cambios semiautomáticas y la tecnología "fly-by-wire" hacen que el motor incluya muchos componentes electrónicos. Cuando se pisa el pedal del acelerador, se permite que entre cierta cantidad de mezcla en los cilindros. Cuanto más se pisa el pedal, mayor es la cantidad de aire y combustible que entra en la cámara de combustión, y mayor la explosión. Cuanto mayor es la explosión, mayor es la fuerza del pistón, y por tanto mayor será la fuerza rotatoria del

cigüeñal que es transmitida a las ruedas, por lo tanto habrá mayor aceleración. Sin embargo, el pedal no está físicamente unido al motor y aquí es donde entra la electrónica.

En los días de las conexiones con cables de metal, el ángulo del pedal estaba directamente relacionado con la posición de la mariposa del carburador (el sistema utilizado para regular la cantidad de combustible que entra en los cilindros). Ahora



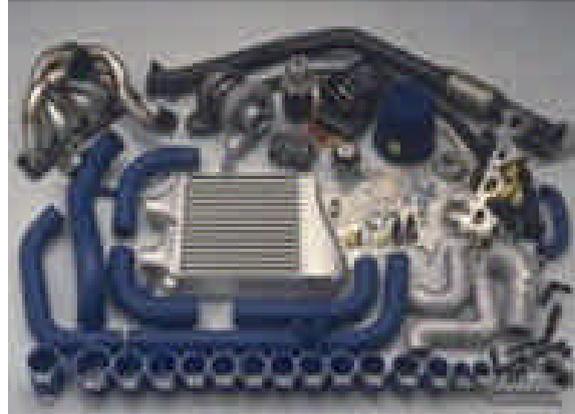
la conexión se hace mediante ordenador, y el "mapeado del motor" básicamente le dice al motor el ángulo del pedal supone que cantidad de mezcla debe entrar en el cilindro. Mediante este sistema, también se puede configurar para la lluvia, con el fin de que el piloto no tenga que cambiar su estilo de pilotaje. Realmente se lo ponen fácil estos días. Pero eso es lo que pensó también la FIA, por lo que han reducido de manera considerable los componentes electrónicos.

Los motores son una de las partes más complejas de los coches y requieren un equipo de diseño y construcción muy hábil. La actual integración entre los equipos y los fabricantes de motores, así como el mayor interés de las marcas está haciendo que la tecnología de la F1 crezca más rápido que nunca.

PUESTA A PUNTO DE LOS MOTORES DE COMPETICIÓN

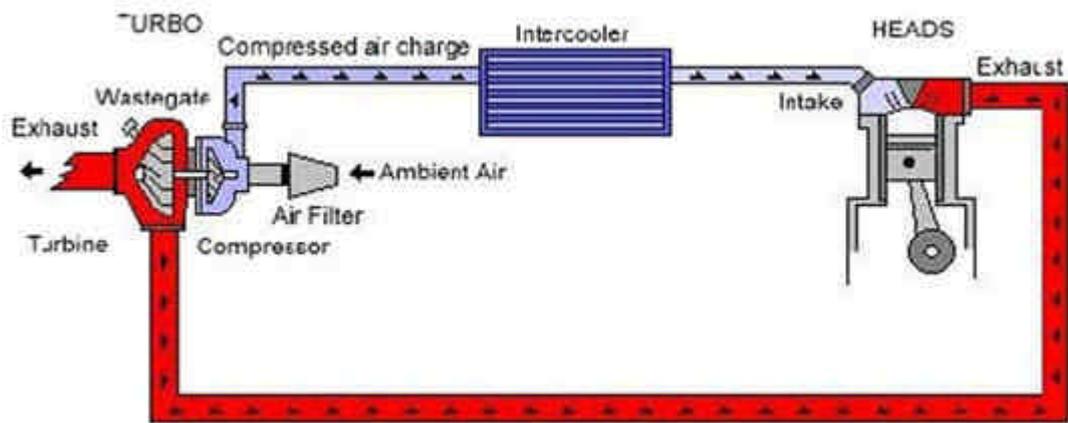
(Preparación aspirada y turbo aspirada)

En muchos casos, principalmente en vehículos mas viejos, la preparación puede llevar a un mejor aprovechamiento del motor, a través de la utilización de recursos no disponibles en su propia época de fabricación, como ser un aumento de la tasa de compresión, ya que hoy se pueden utilizar combustible de



mejor rendimiento y calidad. Existen preparaciones con recursos disponibles para todos los gustos y deseos. Un comando con mayor duración de abertura y levantamiento de válvulas es el punto de inicio en cualquier preparación aspirada que se precie. El método a utilizarse debe estar de cuerdo con el resultado esperado por su propietario, y de cuanto pretende gastar en la preparación. Entre los métodos mas utilizados se encuentran la preparación aspirada y la turbo aspirada. Existen otros tipos de compresores, como los accionados por correa acoplada, mas estas no son muy utilizadas, debido a su alto costo. Sólo que ahora se comenzaron a utilizar mas frecuentemente en motores importados V6 y V8 de gran cilindrada. La preparación aspirada consiste en aumentar la capacidad de admisión de mezcla de combustible de un motor atmosférico (sin compresor), a través de un aumento del área de pasaje o del tiempo de admisión de aire a ser utilizado en la quema de combustible. Para esto se utilizan carburadores de mayor diámetro, filtro de aire de mayor tamaño, colector de admisión que facilite la admisión de mezcla (colectores de geometría variable son muy utilizados por las

fábricas), a demás de alterar el levantamiento o la apertura durante mas tiempo de las válvulas a través de un comando de perfil más agresivo. O el uso de válvulas mayores. O el aumento de la tasa de compresión, que nos da ventajas, tanto en lo que respecta al aumento del torque disponible como en consumo y emisión de contaminantes. Un carburador mayor optimiza la alimentación. La preparación aspirada tiene un costo inferior a la preparación turbo cuando el aumento esperado de potencia se fija en un 30%. Pero no existen esas ventajas: de acuerdo con los componentes utilizados puede ocurrir perdida de torque en baja rotación, y en algunos casos mas extremos, la marcha lenta se ve altamente perjudicada. La selección de los componentes debe ser realizada teniendo en cuenta de no afectar la utilización en el tráfico, pudiendo regular el automóvil en un semáforo. Seguro que en caso de su utilización en pista o en ruta, los defectos sobre las marchas bajas pasa desapercibido. Como nunca se gira a pocas revoluciones, pierde toda importancia. En motores con baja cilindrada es recomendable el aumento de la tasa de compresión hasta los límites permitidos por el combustible utilizado. También el uso de un comando de válvulas con un perfil no muy agresivo, sumado a un carburador con una medida que facilite la rotación del motor a medias y bajas revoluciones. Los mas beneficiados con una preparación aspirada pesada son los motores de alta cilindrada y baja potencia específica, como los antiguos seis cilindros y V8, porque disponen de un alto torque y no sufren con un comando de valvulas de mayor tiempo de apertura y levantamiento. En algunos casos la perdida de torque no llega a ser sentida. La preparación turbo consiste en el uso de un turbocompresor, ligado a la salida de los gases del escape. Este compresor está dividido en dos partes. La parte caliente, accionada por los gases de escape resultantes de la combustión, acciona la parte fría de la turbina, que comprime la mezcla de combustible,



generando mas presión sobre los cilindros, y consecuentemente generando mayor potencia. Aprovecha mejor la energía cinética y térmica, normalmente desaprovechada. Las ventajas de una preparación turbo se ven por el lado del espectacular aumento del torque disponible (en las aspiradas el torque suele disminuir) y en el gran aumento de potencia producido por el turbo. Mas vale resaltar que la preparación turbo sólo es económicamente viable cuando la presión a utilizar es mayor que $0,4 \text{ kg/cm}^2$. Con presiones menores el aumento de potencia no es tan satisfactorio en cuanto a la relación costo-beneficio, por lo que la preparación aspirada sería mejor. Otra ventaja del turbo, es que el torque de la potencia máxima son obtenidos en revoluciones muy bajas, al contrario de la preparación aspirada. En esta última, el torque máximo es obtenido en rotaciones muy altas, por encima de las del motor original, (un comando de válvulas mas "bravo" permite que el motor trabaje en rotaciones mas altas). El motor aspirado precisa girar mas para admitir mayor cantidad de mezcla en un determinado período de tiempo, generando mas potencia. En el turbo, la sobre presión realiza este papel, y por eso es que no precisa alcanzar un régimen de rotación tan alto. La preparación turbo es la indicada principalmente en motores de baja cilindrada, como los 1.000 cm^3 , porque deva el torque disponible en prácticamente todos los regímenes. También depende de que la turbina empleada sea

la correcta. Turbinas más grandes, realizan su trabajo en rotaciones más altas, en cuanto las más pequeñas, que entran en acción mas rápidamente. En este caso el motor se comporta como si tuviese una mayor cilindrada, sobretodo por causa del torque disponible a bajos giros. Además, las turbinas pequeñas presentan una menor inercia, algo muy importante para respuestas rápidas en bajas revoluciones.

Actualmente es muy común retocar el comando de válvulas en un motor turbo, por otro de apertura y tiempo de apertura un poco mayores, aprovechando la facilidad con que la turbina comprime la mezcla dentro de los cilindros, aumentando la potencia y manteniendo el torque a bajos giros. Otras combinaciones son posibles, como el uso de un carburador mayor en un motor turbo, para mejorar la alimentación del motor en rotaciones mas elevadas. El sistema de admisión y el filtro de aire pueden ser reemplazados, para obtener un mayor rendimiento. Una turbina pequeña puede ser instalada en un auto con un motor multiválvulas, para compensar su bajo rendimiento en rotaciones bajas, aunque será necesaria una turbina de bajísima inercia, como la usada en el Golf, Pasat, Audi. Esta dejará el auto con reacciones más rápidas y un comportamiento mas uniforme, además de aumentar la cantidad de mezcla en los cilindros en altas rotaciones.

El intercooler sirve para enfriar el aire comprimido antes que ingrese en el cilindro. Como el aire frío ocupa menos espacio, entra mas en los cilindros, mejorando la potencia. Todo depende de la creatividad del preparador y del objetivo del mismo. No existe límite. Las técnicas de preparación aspirada pueden ser combinadas con la preparación turbo. De esta manera puede resultar un torque abundante en bajos giros, con un óptimo rendimiento en altas. En síntesis, un motor elástico y con fuerza en cualquier rotación, tanto en rutas como en pistas.

EL PRINCIPIO DE LA SOBREALIMENTACIÓN

La principal aportación de la sobrealimentación es un importante aumento de la potencia útil del motor sin recurrir a motores de gran cilindrada, este aumento de potencia, se basa en el mejor llenado de los cilindros.

Si se desea aumentar el rendimiento térmico del motor, se ha de conseguir una completa combustión de la mezcla en la cámara de combustión, que se consigue introduciendo en los cilindros una mayor masa de aire, que permitirá inyectar mayor cantidad de combustible y con ello aumentar la potencia hasta en un 30% mas sin riesgo de perjudicar el motor.

Para introducir este aire de más en los cilindros se emplean dos sistemas:

- Compresor Volumétrico
- Turbo-compresor

EL TURBO COMPRESOR

El sistema consta esencialmente de dos ruedas de paletas denominadas turbina y turbo-compresor que giran solidariamente unidas por un eje en el interior de sendas carcasas independientes.

La turbina se encuentra situada en el colector de escape unida por un eje a un compresor situado en el colector de admisión. Así se aprovecha la energía de los gases de escape, para comprimir el aire, sin perder potencia como ocurre con el uso de compresores volumétricos.

Los gases de escape, al salir pasan antes por una turbina haciendo que esta se mueva, después salen por el tubo de escape, la turbina se encuentra unida por un eje común con un compresor que se encuentra conectado con el colector de admisión. Al moverse junto con la turbina aspira aire, previamente filtrado, que introduce en los cilindros a presión muy superior a la atmosférica.

El principal inconveniente del turbocompresor es que necesita una perfecta refrigeración y un buen mantenimiento del turbo-compresor. Otro inconveniente es que a pesar del espectacular aumento de potencia y de las fulgurantes aceleraciones que se consiguen con él, el turbo es de poca progresividad. Son motores de reacciones muy bruscas, acusándose más éstas en motores de explosión, alimentados por carburador. Con la inyección se atenúa en parte este defecto.

Entre las ventajas de este tipo de motores podemos citar, un mayor rendimiento teórico, menor consumo de combustible a igualdad de potencia comparándolo con un motor no turboalimentado , posibilidad de reducir la relación de compresión y aumentar la vida del motor y por supuesto, mayores prestaciones.

Actualidad

El equipo Williams-BMW, actualmente Segundo del campeonato de constructores, pretende copiar el revolucionario sistema de transmisión de la F2002, el auto de Ferrari que está invicto esta temporada.

Se trata de un único conjunto acoplando motor y cambio, que posibilita un cambio de marcha mucho más preciso en un tiempo ínfimo, lo que se traduce en un mejor aprovechamiento de la tracción, potencia y maniobrabilidad.

Según la revista inglesa Autosport, Williams pretende desarrollar su sistema hasta la mitad de la temporada, como máx. y para esto ya tendría firmado un acuerdo con una empresa alemana que se especializa en el tema. Paralelamente, el equipo de Frank promete seguir desarrollando otros componentes de l auto, como la aerodinámica, la suspensiones, el chasis y el motor.