

2. Arquitectura de motores

2.1 Motores monocilíndricos

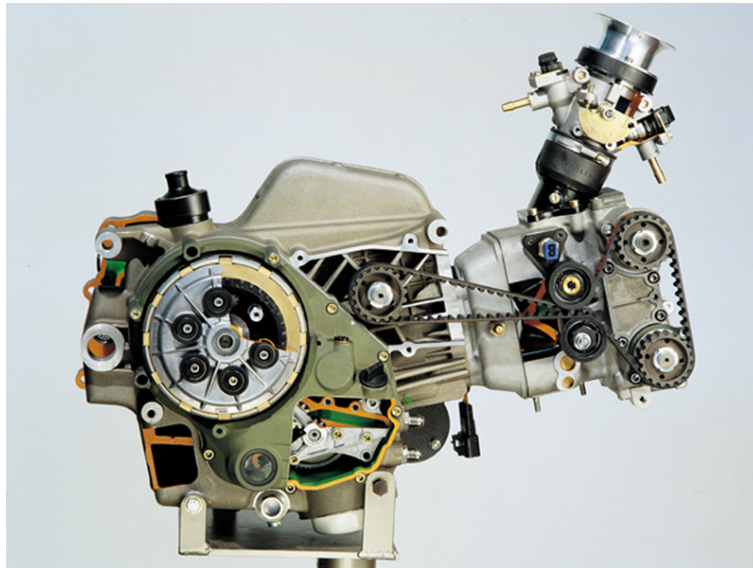


Figura 7. Avanzado motor monocilíndrico de la marca Ducati.

En 1993, **Massimo Bordi** probaba por primera vez una idea que le había rondado por la cabeza desde hacía tiempo. El invento consistía en un motor Ducati al que se le había eliminado uno de los cilindros y se le había añadido un sistema de bieletas que actuaba de eje de equilibrado para eliminar vibraciones. El primer motor con esta configuración cubicaba 487 centímetros cúbicos y provenía de las 851 y 888 que ya empezaban a dominar el mundial de Superbikes. Ajustando poco a poco las prestaciones de ese motor consiguieron entre 75 y 85 CV al embrague con una cilindrada de 579 centímetros cúbicos. Nació de esta manera la **Ducati Supermono**.

Este motor constituye un ejemplo de la máxima perfección alcanzada en motores monocilíndricos de cuatro tiempos hasta el momento. En este caso se ha adoptado ya la refrigeración líquida por circuito cerrado, por ser la que ofrece las mejores condiciones de estabilidad de la temperatura durante el funcionamiento en todo tipo de circunstancias. También se ha incorporado la inyección electrónica de combustible. Cabe destacar el original sistema de equilibrado antes mencionado, que podemos apreciar en la siguiente figura:

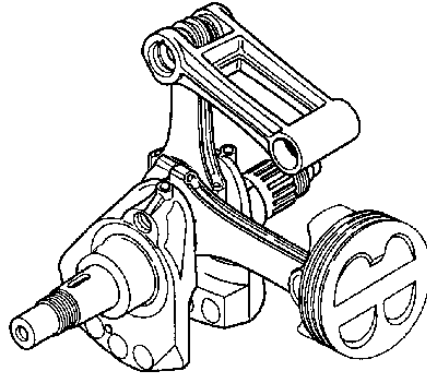


Figura 8. Sistema de equilibrio de un motor monocilíndrico por doble biela.

Una de las ventajas de este sistema de equilibrio consiste en que evita un pesado volante de inercia permitiendo así al motor conseguir altas revoluciones. Se aprecia también el enorme pistón dotado de una escasa falda, con objeto de hacer lo más ligero y reducir las inercias. No se puede negar la originalidad y eficacia del diseño cuestionado.

Una vez fijada la cilindrada (volumen del cilindro), con un diseño de los sistemas de admisión y escape optimizados a través del aumento efectivo de la sección de sus conductos, sólo aumentando el régimen de funcionamiento del motor se podrá obtener mayor potencia. Es aún alto número de revoluciones cuando la mezcla requiere de secciones de paso grandes para no frenarse ni perjudicar el llenado del cilindro. El corte de encendido de este motor se producía a 10.000 rpm (revoluciones por minuto del cigüeñal). Hasta la Segunda Guerra Mundial era extraño pasar de las 6.000 en motores comerciales, y su potencia prácticamente se ha triplicado. Si a esto se añade la indudable mejora en fiabilidad y la reducción del mantenimiento requerido, se puede concluir que los motores de hoy en día hubieran colmado las aspiraciones de los técnicos y aficionados de hace tan sólo unos años. El balance de este recorrido por la historia del cuatro tiempos no puede ser, por tanto, más satisfactorio.

Ya sea por motivos de economía, o por el puro placer de diseñar máquinas cada vez más exuberantes, el resultado ha sido que, de las mesas de las oficinas técnicas de las múltiples fábricas, no han dejado de salir diseños nuevos año tras año.

Dejando un lado consideraciones sobre la suavidad y regularidad de marcha o arranque, y otras similares que se comentarán después, se puede afirmar que, salvo excepciones, siempre que se ha aumentado el número de cilindros ha sido en busca de mayor potencia. Esto es así, porque en cualquier motor sólo existen dos maneras de incrementarla con facilidad, que son aumentar la cilindrada, o elevar el régimen de funcionamiento. Si se tiende a elevar la cilindrada, el aumento del tamaño del pistón multiplica las fuerzas de inercia al hacerlo la masa del mismo proporcionalmente. Es fácil entender que un pistón mayor es más pesado, y esto obliga al resto de los elementos a reforzarse, simplemente para conseguir pararlo en los puntos muertos. Si se

eleva el régimen, las fuerzas se incrementan de forma todavía mayor que aumentando el peso, ya que crecen con el cuadrado de la velocidad.

Es evidente que el mejor camino es dividir el trabajo entre varios cilindros. Éstos, al ser más pequeños, disponen de una masa menor que permita aumentar el régimen, de modo que eleva el número de explosiones en un mismo tiempo. Esto compensa la menor cilindrada, y mantiene las sollicitaciones sobre la biela y demás elementos a un mismo nivel, de modo que la fiabilidad del motor queda inalterada. Por tanto, a igualdad de cilindrada, se aumenta la potencia del motor sin perjuicio para la fiabilidad mecánica. Incluso, en muchos casos, el rendimiento es mayor, ya que la hacienda unitaria (la década civil individualmente) obtenida resulta más equilibrada.

El principal inconveniente de los motores de varios cilindros es, sin lugar a duda, la elevación de los costos de fabricación, principalmente por la multiplicación del número de elementos y por la mayor complicación del diseño. Asimismo, y de cara a la conducción, el aumento de peso del motor puede hacer que una moto de más cilindros sea más difícil de pilotar. Por lo demás, pueden presentarse problemas para ubicarlo en el chasis, e incluso dificultades notables en la accesibilidad a la hora de realizar operaciones de mantenimiento, llegando a convertirse en un auténtico engorro. En cuanto a las ventajas, son numerosas. En primer lugar, hay que destacar la mayor potencia para igual cilindrada; además, mayor finura o regularidad de funcionamiento, junto una mejora en la facilidad de arranque, e incluso de mantenimiento de regímenes de ralentí. También la disminución notable del nivel de vibraciones, sobre todo motores de muchos cilindros. Hoy en día se puede afirmar que, salvo los grandes monocilíndricos, con un segmento de mercado bien definido en las modalidades campestres, donde la ligereza, el coste y el tamaño son fundamentales, la cilindrada unitaria (de cada cilindro) de los motores no suele sobrepasar los 250 cm³, sobre todo en modelos de carretera con unas mínimas pretensiones deportivas. Siempre hay excepciones y marcas que, por distintos motivos, se especializan en motores concretos, por ejemplo Ducati, que con sus bicilíndricos ha conseguido batir en muchas ocasiones a los motores de cuatro cilindros, pero, en general, es una aproximación bastante exacta. Tampoco se cumplirá esto en ciertas motocicletas cuyo diseño pueda depender, no ya de factores técnicos, sino de otros de naturaleza estética, por ejemplo motos tipo custom, motos urbanas, etc...

2.2 Motores bicilíndricos

Los motores bicilíndricos son los más utilizados en motos de hasta media cilindrada, si bien en los últimos tiempos, se ha extendido su uso a las grandes cilindradas. Ello está motivado, en gran medida, por el éxito obtenido en competición por los fabricantes que tradicionalmente han empleado esta disposición, así como la reglamentación de los campeonatos de Superbikes, en los que gozan de alguna ventaja en cuanto a cilindrada sobre los modelos de cuatro cilindros.

Pueden disponer los cilindros en línea, en cuyo caso el cigüeñal va colocado transversalmente respecto al sentido de marcha del vehículo. Cuando se emplea la configuración bóxer (cilindros horizontales opuestos), el cigüeñal se coloca longitudinalmente respecto al sentido de marcha. Cuando los cilindros se disponen en "V", el cigüeñal se puede colocar tanto transversal como longitudinalmente.

La disposición más empleada, que no la única, consiste en disponer los cilindros en "V", con un ángulo que oscila entre los 45° y los 90°, con el cigüeñal dispuesto transversalmente, para así favorecer la estrechez de la moto. Muchos de ellos alcanzan cifras de potencia que superan los 160 CV, disponiendo de refrigeración líquida, distribución multiválvulas e inyección electrónica conjuntada con el encendido, por lo que son motores a la última, tecnológicamente hablando. En muchos de los casos, se aplican a modelos de neto corte deportivo, si bien también se emplean en modelos más turísticos, disponiendo de la misma base mecánica, pero con la termodinámica adaptada a las nuevas condiciones de uso, disminuyéndose la cifra de potencia máxima, en beneficio de un funcionamiento más suave abajo y medio régimen, con mayores cifras de par. Es también la disposición más empleada en modelos custom.

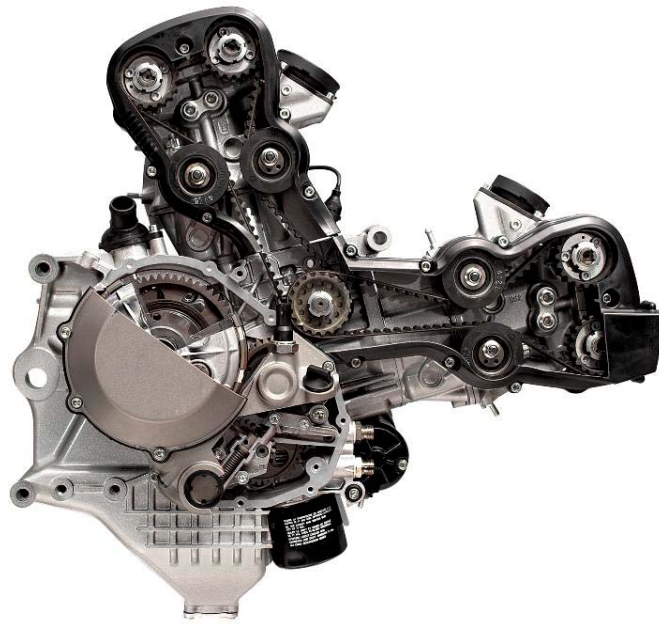


Figura 9. Moderno motor bicilíndrico en "V" de la marca Ducati.



Figura 10. Motor bicilíndrico en "línea" de la marca BMW.

La figura 10 nos muestra un moderno motor bicilíndrico con el cigüeñal situado transversalmente, caracterizado por que los ejes de ambos cilindros son paralelos y el plano que los contiene está colocado en dirección transversal a la marcha. Las ventajas de este tipo de disposición son varias. En primer lugar, la compacidad del conjunto y su relativo bajo coste, ya que, al estar contenido el motor en un solo bloque, hay menos piezas que construir. Otras ventajas son su buena refrigeración y la pequeña longitud de motor.

Como detalles que confirman su moderno diseño están las cuatro válvulas por cilindro, o la inclusión de un eje de equilibrado que debe girar a velocidad doble de la del cigüeñal, con objeto de eliminar vibraciones. Dos árboles de levas accionan sus ocho válvulas. Esta disposición es actualmente muy empleada, ya que es característica de los fabricantes japoneses. También las firmas inglesas lo emplearon en su día con profusión, de modo que existen ejemplos en marcas como Norton, BSA, Matchless, en las cuatro japonesas, BMW, y, en general, prácticamente todas las marcas de renombre.

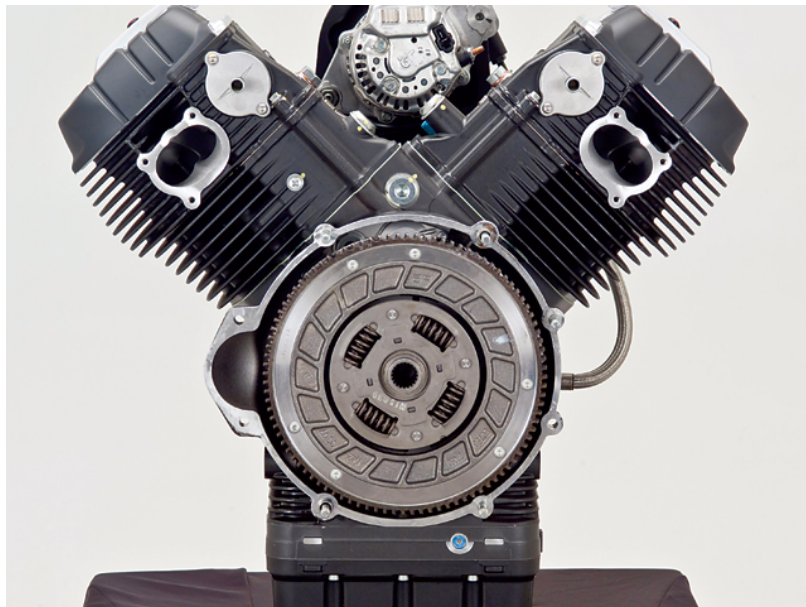


Figura 10. Motor bicilíndrico en "V" de la marca Guzzi.

El motor de la anterior figura es el más antiguo de los aquí estudiados. Como puede apreciarse, se trata de una visión frontal de un bicilíndrico en "V". Se denomina así porque los ejes de sus dos cilindros se cortan formando esta letra imaginaria, cuyo ángulo interior es en este caso de 90°. Va colocado de manera que la dirección del cigüeñal coincide con la de la marcha, denominándose "cigüeñal longitudinal", o "motor en V transversa marcha". El desplazamiento de cada pistón es elevado: más de 400 cm³. El mismo motor se fabricaba en versiones de 1 litro de cilindrada total.

Los pistones son bombeados o de alta compresión, característicos de los motores antiguos de elevadas prestaciones. Las bielas están partidas para facilitar su desmontaje. En su parte trasera se sitúa el embrague bidisco en seco de origen automovilístico y, tras éste, la caja de cambios y la transmisión por cardan. La refrigeración se confía al aire de la marcha, que evacúa el calor de las numerosas aletas distribuidas por los cilindros, culatas y cárter inferior. En algunas versiones también había un radiador destinado a enfriar el aceite. Este motor se distingue por su sencillez de mantenimiento y agradable

accesibilidad, así como por sus prestaciones nada despreciables, junto con una cierta rudeza que un entusiasta de las clásicas llamaría "carácter".

Las ventajas de esta disposición en "V" son varias respecto a los tradicionales cilindros en paralelo. Por una parte, el motor mantiene un giro más equilibrado, de modo que las vibraciones son menores. De hecho, este motor no dispone de eje de equilibrado. La refrigeración de los cilindros es muy buena, ya que al tener los cilindros orientados hacia el exterior, el aire incide en ellos con fuerza. Además, el motor es muy estrecho su parte inferior, lo que permite situarlo muy bajo, sin peligro de que roce en el suelo en inclinaciones pronunciadas.

En su contra, tiene un coste más alto, ya que hay que fabricar dos cilindros independientes con sus correspondientes órganos de distribución. También es un motor largo, ya que la disposición del cigüeñal obliga a tener todos los ejes de motor en la misma orientación y, al estar situados detrás, aumentan la distancia.

La marca tradicional en el empleo de este tipo de motores ha sido Moto Guzzi, pero otras firmas también lo han usado, como por ejemplo Honda.

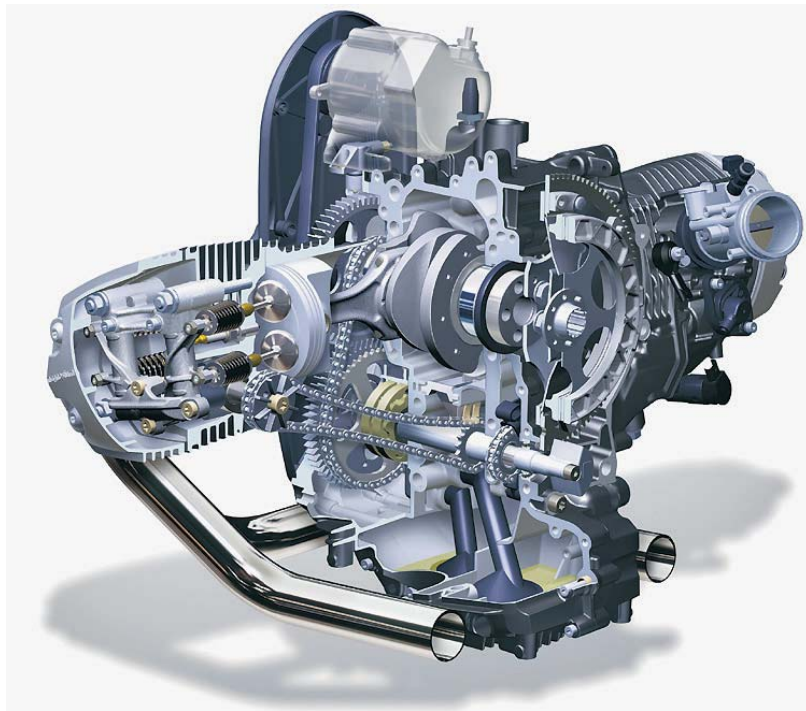


Figura 11. Motor bicilíndrico en configuración "bóxer" de la marca BMW.

El motor de la figura anterior va a ser el último de los aquí estudiados y a la vez uno de los más modernos. Ofrece un conjunto de interesantes soluciones para tratar de convertir un propulsor de estas características en plenamente competitivo. La figura muestra una perspectiva de un corte del mismo (motor bóxer).

En primer lugar, hay que destacar que este conjunto es parte activa del bastidor, ya que todo el grupo delantero y el subchasis trasero van anclados a él, así como también el cardan. La estructura que adopta se denomina "bóxer" o de "cilindros opuestos", en este caso situados transversalmente a la marcha. Éstos van colocados de tal manera que sus

ejes están aproximadamente uno a continuación del otro, con el cigüeñal en el espacio que queda entre ambos. Justamente debajo contemplamos un eje intermedio que, movido por el anterior a través de una cadena, acciona su vez otros cuatro elementos: dos bombas de engrase su parte delantera y los dos árboles de levas a través de dos cadenas que toman su fuerza en sendas coronas talladas en el mismo. En cuanto a las bombas, una suministra presión a los rodamientos y las superficies interiores del motor, y la otra a las culatas a través de los cilindros. Con este motor, BMW quería disponer de soluciones actuales tales como las cuatro válvulas por cilindro, pero sin renunciar a la compacidad de modelos anteriores. Esto se consiguió desechando la idea de situar los árboles sobre las válvulas, pues daría un ancho total excesivo que perjudicaría el ángulo de inclinación en curva; la solución fue situar la culata a media altura, acabando de cerrar el camino con dos varillas y dos balancines desdoblados. Este motor incorpora un sistema de alimentación por inyección electrónica multipunto Bosch Motronic. Su microprocesador recoge información a través de diversos sensores de la apertura del acelerador, la velocidad de giro, la masa del aire aspirado y la temperatura del aceite, y da como respuesta al inyector una señal eléctrica que determina la cantidad de gasolina suministrada, al controlar el tiempo que éste permanece abierto. Además, va provisto de un catalizador de los gases de escape con objeto de reducir las emisiones contaminantes. En la parte más alta del cárter incorpora un potente alternador, movido por una correa trapezoidal que une su polea con otra situada en el extremo delantero del cigüeñal.

Las ventajas de esta disposición son sobre todo la excelente refrigeración de los cilindros y la situación del peso del motor en una zona muy baja. Los inconvenientes vuelven a ser los costes, y ahora, además, la anchura del conjunto, que obliga a una situación algo elevada del motor para evitar roces de las culatas en las curvas. Esta disposición ha sido la clásica de BMW a lo largo de 70 años, pero también ha sido empleada por otras marcas en la historia. Algunos ejemplos pueden ser modelos de Zundapp o de Velocette.

Ha habido algunas otras disposiciones de motores de dos cilindros, pero mucho más marginales que las anteriores: cilindros opuestos longitudinales a la marcha, cilindros en paralelo colocados paralelos al suelo y cilindros paralelos longitudinales a la marcha, pero ambos en modelos concretos y sin ninguna continuidad.

2.3 Motores tricilíndricos

Son los motores menos fabricados, siendo una solución intermedia entre los bicilíndricos más sencillos y los tetracilíndricos más costosos. Un ejemplo puede ser la ya desaparecida BMW K75. Los cilindros están dispuestos horizontalmente mirando hacia un lado y el cigüeñal en la dirección de la marcha, para evitar tener que utilizar un par de piñones cónicos para accionar el cardan.

Las principales ventajas de los motores de tres cilindros vienen dadas por la posibilidad de realizar propulsores suaves, menos pesados que los de cuatro cilindros, pero con buenas prestaciones. No son habituales, aunque firmas como BSA, Triumph, y Laverda han realizado bastantes motos con esta disposición. En la actualidad, como motor de serie sólo se emplea en ciertos modelos de la renacida fábrica inglesa Triumph, existiendo no obstante alguna marca de presencia marginal como Benelli y algún motor de competición empleado por Aprilia en MotoGP.

Estos motores, los tricilíndricos, son de mantenimiento moderado y muy buenas prestaciones, con potencias elevadas y un par también alto, mientras que sus curvas de potencia y par son suaves, sin sobresaltos y con una entrega gradual. Tienen un coste de fabricación intermedio entre los de dos y cuatro cilindros y una mayor estrechez como ventaja constructiva.

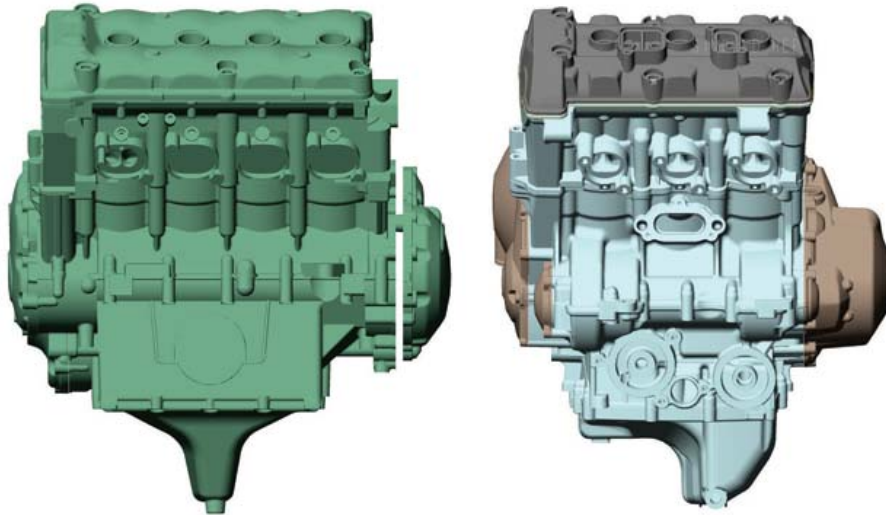


Figura 12. Motor tricilíndrico en línea Triumph (más estrecho que el cuatro cilindros anterior).

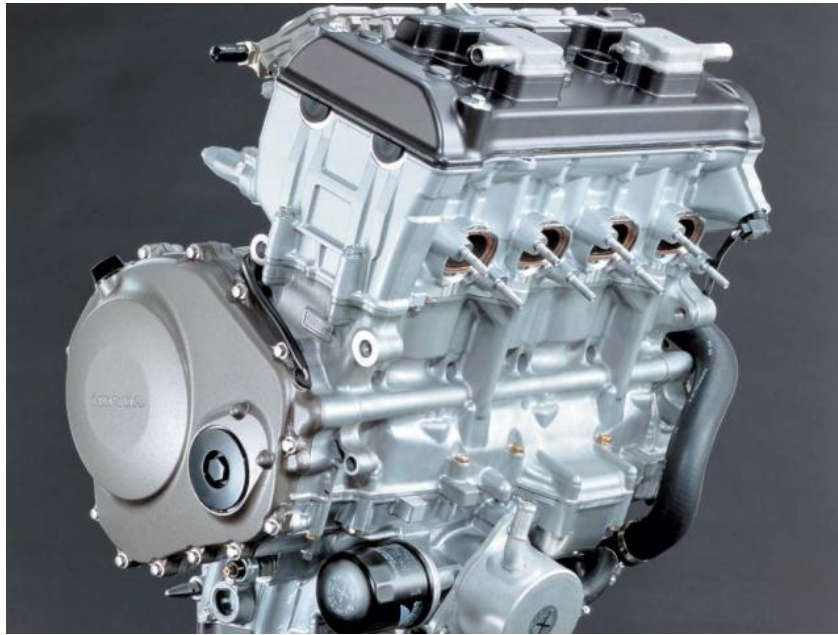
2.4 Motores tetracilíndricos

Existen motores de cuatro cilindros de 250 centímetros cúbicos. Piezas de relojería, casi. Hoy en día empiezan desde las 400 del exclusivo mercado japonés hasta cilindradas muy altas. Dentro de ellos, los transversales parecen perfilarse como los más habituales por la variedad de sus aplicaciones.

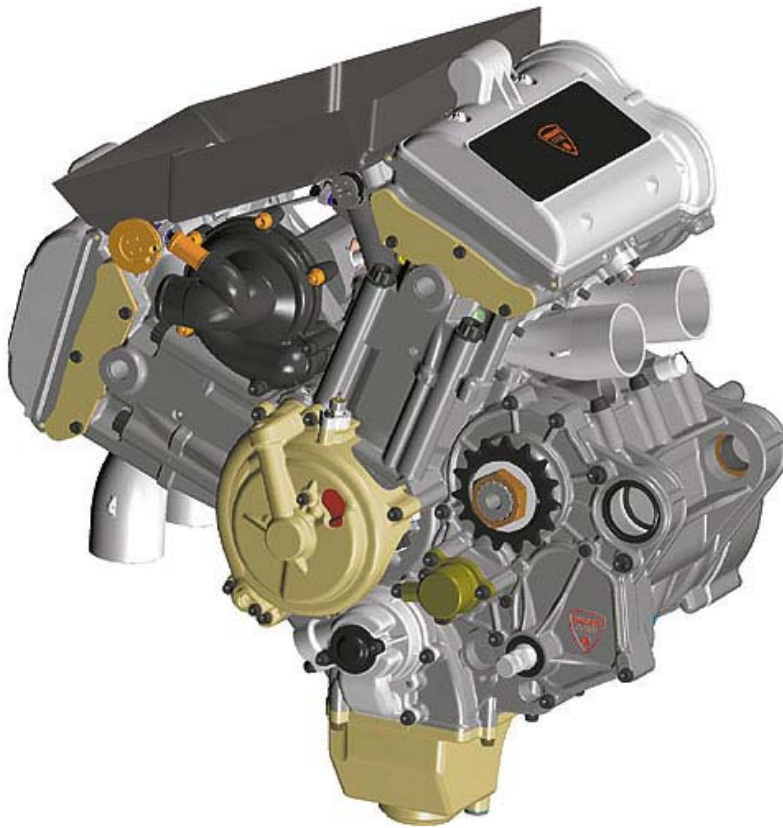
Son motores que aportaron innumerables soluciones tecnológicas que en algunos casos eran más ingeniosas que complicadas. Extensamente desarrollados en un amplísimo abanico de cilindradas con una relación peso/potencia muy baja (desarrollan mucha potencia para el peso que tienen). Refinados, con ralentí estable, suelen ser pobres en altos y se desenvuelven bien en regímenes de revoluciones muy altos. La forma del cigüeñal proporciona una explosión cada media vuelta, es decir, cuatro regularmente repartidas en las dos que contienen un ciclo. En algunos casos, son bloques motor enormes debido a que utilizan refrigeración por aire, sobresaliendo y destacando sus líneas sobre las del resto de la moto.

La profusión de este tipo de motores es debida principalmente a los fabricantes japoneses, aunque previamente fueron utilizados en motocicletas de altas prestaciones europeas como las famosas MV Agusta y multitud de máquinas de competición, sobre todo italianas, se ha debido a su relativa economía de fabricación a causa de los pocos elementos necesarios para realizar el propulsor y a la gran compacidad y sencillez del diseño comparada con un motor en “V”. Otras ventajas claras son su fácil refrigeración

y su pequeña longitud, similar a la de un tricilíndrico de la misma disposición. La anchura es un problema fundamental, sobre todo cuando se incorporan elementos accesorios en los extremos del cigüeñal, a los lados de la moto.



13. Motor tetracilíndrico en línea de la firma Honda.



14. Motor tetracilíndrico en "V" Ducati "Desmosedici".

Otra disposición famosa de un motor tetracilíndrico es en “V”, cuatro cilindros dispuestos en dos “Vs” paralelas y el cigüeñal transversal al sentido de la marcha. Un claro exponente es la VFR de Honda, que ha recibido recientemente un aumento considerable de cilindrada desde los 750 hasta los 1200 centímetros cúbicos y una serie de aportes tecnológicos que puede abrir las puertas de par en par a un nuevo estilo de conducción y disfrute de la moto. Su principal virtud es la estrechez del conjunto, similar a la de un tricilíndrico, que repercute no sólo en la manejabilidad de la motocicleta, sino también el mejor factor de penetración aerodinámica, que a alta velocidad equivale a un buen número de caballos. También es destacable el bajo centro de gravedad que consigue, solamente superado por un bóxer. Como inconvenientes, la accesibilidad mejorable y una regularidad de funcionamiento ligeramente peor que la de su homónimo en línea. Una señal identificativa de este motor es que los balancines de la culata son accionados por el cigüeñal a través de una cascada de piñones, lo que reduce a cero el mantenimiento que en otro caso se le encarga a la cadena de transmisión primaria. Pese a ser una solución costosa, fue la escogida por Honda para su VFR.

Este tipo de motores es bastante caro de fabricar, y por ello su producción no alcanza los niveles de los motores en línea, los reyes de la categoría de cuatro cilindros. La multiplicación de los sistemas y la dificultad para realizar algunos de sus componentes son la razón principal. Además de Honda, otros fabricantes han utilizado este tipo de motores en motos de altas prestaciones y prestigio, así como en motos de gran peso y capacidad de carga.



15. Motor tetracilíndrico tipo “bóxer”.

Como último ejemplo de este tipo de motores, tenemos en cuenta los bóxer de cuatro cilindros, dotados de dos bloques de dos cilindros enfrentados cada uno y entre los que se sitúa un breve cigüeñal. Este propulsor de inspiración automovilística (Volkswagen y Porsche) tuvo que incorporarse a una motocicleta de clara vocación turística, y que fue la precursora de lo que actualmente se ha dado en llamar “Supertourers”: la Honda Goldwing de finales de los setenta. Desde entonces, se ha mantenido tal cual, salvo ligeras modificaciones. Estas motos están tan equipadas y por tanto son tan pesadas, que es importante mantener lo más bajo posible el centro de gravedad, y esto lo consigue a la perfección todo bóxer.

Dos válvulas por cilindro parecen suficientes para un motor de más de un litro de cilindrada, y además le dan un carácter muy civilizado. Dos árboles de levas y cuatro

ejes para los balancines, dotados estos últimos de reglajes por tornillo y contratuerca, completan las culatas, y dos correas dentadas de neopreno sirven para comunicar el movimiento desde el cigüeñal hasta ellas. Estos motores están sobrados de todo, de par en bajos y altos, y de potencia a cualquier régimen. Son extremadamente costosos y no presentan grandes ventajas. Una disposición algo similar, el cuatro cilindros en “V” transversal a la marcha, ha sido más empleada debido a su menor anchura, con ejemplos claros en las antiguas Brough Superior y más actualmente en Honda, en su modelo Paneuropean.

2.5 Motores de seis cilindros

En cuanto a los motores de seis cilindros, son casi marginales. Fue en su día una auténtica revolución presentado en la Honda CBX 1000, pues su impresionante aspecto, junto al hecho de haber sido el primer motor de serie en declarar una potencia superior al centenar de caballos, lo rodearon de una aureola casi mágica. Y no es para menos. Sin embargo, los elevadísimos costes de producción y que ninguna de las dos soluciones desarrolladas logró eliminar los problemas de suspensión trasera, hicieron de este modelo uno meteórico no por lo alto que llegó, si no por lo fugaz que fue. Además de este motor han habido otros dos ejemplos ilustres: la Benelli Sei y la Kawasaki Z 1300. Otro caso de motor de seis cilindros es la Honda GL 1800.



15. Motor de seis cilindros de 750 cm³ Benelli “Sei”.