

RESUMEN

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TERMODINÁMICO DE UNA MOTOCICLETA Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA UN ÓPTIMO RENDIMIENTO EN COMPETICIÓN

Sergio Barat Vizcaí

Se proporciona un marco teórico conceptual basado en el estudio del sistema de refrigeración de motocicletas. Se contextualiza el estudio y se detalla cada una de las partes que conforman un sistema de refrigeración con el fin de optimizar la refrigeración del motor KTM RC 250 dentro de una competición (MotoStudent). Se analizan los problemas térmicos a los que se enfrentan este motor si se usa un alto grado de exigencia y se presentan posibles optimizaciones. Atendiendo a la normativa vigente de la competición se procede a la selección de mejoras. El trabajo incluye el diseño en un ordenador de dos radiadores, el presupuesto de implementación de las mejoras y como conclusión una extracción de conclusiones.

RESUM

ANÀLISI DEL COMPORTAMENT TERMODINÀMIC DE UNA MOTOCILETA
Y OPTIMIZACIÓ DEL PTIM RENDIMENT EN LA COMPETICIÓ
MOTOSTUDENT

Sergio Barat Vizcaí

Es proporciona una base conceptual marc teòric en l'estudi del sistema de refrigeració de motocicletes. Es contextualitza el estudi i es detalla cada una de les parts que conformen un sistema de refrigeració d'una moto amb la fi d'optimitzar la refrigeració del motor KTM RC 250 dins d'una competició (MotoStudent). S'analitzen els problemes tèrmics als que s'enfronta aquest motor si s'usa a un alt grau d'exigència i es presenten les possibles optimitzacions. Atenent a la normativa vigente de la competició se seleccionen les millores. El treball inclueix el diseny a ordinador de dos radiadors, el presupuesto de implementació de les millores y com a conclusió una extracció de conclusion

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE THERMODYNAMIC BEHAVIOR OF A MOTORCYCLE
AND OPTIMIZATION OF THE COOLING SYSTEM FOR OPTIMAL
COMPETITION PERFORMANCE

Sergio Barat Vizcaí

A conceptual theoretical framework based on the study of the motorcycle cooling system is provided. The study is contextualized and each of the parts that make up a cooling system is detailed in order to optimize the cooling of the KTM RC 250 engine within a competition (MotoStudent). The thermal problems that this engine faces if it is used to a high degree of demand are analyzed and possible optimizations are presented. Following the current regulations of the competition, we proceed to the selection of improvements. The work includes the computer design of two radiators, the budget for the implementation of the improvements and as a conclusion a drawing of conclusions.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERIA
INDUSTRIAL VALÈNCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TERMODINÁMICO DE UNA MOTOCICLETA Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA UN ÓPTIMO RENDIMIENTO EN COMPETICIÓN

AUTOR: Sergio Barat Vizcaí

TUTOR: Pablo Olmeda

Curso Académico: 2020-2021

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1. Objetivo del estudio
- 1.2. Histórico del estudio
- 1.3. Alcance del estudio

2. MOTORES DE COMBUSTION INTERNA EN MOTOCICLETAS

- 2.1. Ciclo de transformación de energía en un motor de combustión interna
- 2.2. Contexto y futuro del motor de combustión interna y su uso en competición
- 2.3. Tipos de motores de combustión interna.
- 2.4. Parámetros geométricos de los motores de combustión interna.
- 2.5. Límites de la eficiencia térmica de los motores de gasolina

3. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN GENERAL DE MOTOCICLETAS

- 3.1. Refrigeración general de motocicletas
 - 3.1.1. Refrigeración por aire
 - 3.1.2. Refrigeración por agua
 - 3.1.3. Refrigeración del aceite
- 3.2. Sistema de refrigeración por agua en motocicletas
 - 3.2.1. Líquido refrigerante
 - 3.2.2. Bomba de agua
 - 3.2.3. Termostato
 - 3.2.4. Radiador
 - 3.2.5. Vaso de expansión.
 - 3.2.6. Tapón de presión
 - 3.2.7. Manguitos

4. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN EL MOTOR KTM 250cc 4T

- 4.1. Especificaciones del motor KTM RC 250
- 4.2. Cargas térmicas consideradas

5. OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL MOTOR KTM 250cc 4T

- 5.1. Sistema actual de refrigeración
- 5.2. Posibles mejoras del sistema de refrigeración
- 5.3. Selección de las mejoras
- 5.4. Dimensionado del panel del radiador
- 5.5. Diseño a ordenador de los radiadores propuestos
- 5.6. Presupuesto de la implementación de mejoras
 - 5.6.1. Presupuesto fabricación rodete
 - 5.6.2. Presupuesto instalación con radiador principal completa
 - 5.6.3. Presupuesto instalación con radiador suplementario completa
- 5.7. Conclusiones

6. BIBLIOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

1.1. **Objetivo del estudio**

El propósito de este trabajo es proporcionar un marco teórico conceptual basado en el estudio del sistema de refrigeración de una KTM RC 250 de serie. De modo que la tesis central sea mejorarlo y diseñarlo para que sea válido en un prototipo de moto 3 dónde las exigencias son mayores.

Este proyecto de investigación tratará de mejorar la potencia del KTM 250cc 4T, analizando cada aspecto de su sistema de refrigeración y optimizándolo para mantener el motor por debajo de la temperatura máxima de funcionamiento.

1.2. **Histórico del estudio**

Sadi Carnot publicó en 1824 la teoría termodinámica de los motores térmicos y sirviéndose del estudio del físico francés, Jean Joseph Étienne Lenoir construyó el primer motor de combustión interna en 1860, el cual trabajaba sin compresión, y generaba un rendimiento aproximado del 3%.

Sin embargo, fue Alphonse Beau de Rochas quién dos años después propuso al detalle el ciclo teórico del motor de cuatro tiempos con necesidad de compresión previa, descubrió que si la mezcla de aire y combustible se comprime antes de la ignición, se mejoran las eficiencias de combustión. El ciclo de cuatro tiempos, ideado y descrito por este ingeniero francés, prevé 2 carreras del pistón (compresión y expansión), durante las cuales se cumple el ciclo termodinámico, y otras 2 (escape y admisión) de bombeo, en las que la máquina efectúa un barrido casi completo. Por consiguiente, son necesarias cuatro variaciones de volumen para volver a poner la máquina en las condiciones iniciales; todo esto es válido para cualquier construcción mecánica alternativa o no.

Pero no será hasta el año 1867 cuando los alemanes Nicolas August Otto, en conjunto con sus socios Eugene Langen, Gottlieb Daimler y Wilhelm Maybach quienes construyeron y comenzaron la fabricación general del primer motor de combustión interna alternativo de cuatro tiempos con compresión previa.

Desde este primer modelo, todos sus sucesores tienen un denominador común y es la necesidad de expulsar el calor generado principalmente en la cámara de combustión. Por lo que las máquinas térmicas a analizar y refrigerar en este artículo son máquinas con más de un siglo de optimización por parte de miles de ingenieros.

1.3. Alcance del estudio

De acuerdo con la investigación que se va a realizar se asume la interdisciplinariedad. Se combinarán ideas de áreas distintas tales como conceptos de transferencia de calor, optimización aerodinámica y de peso, diseño a ordenador además de conocimientos de materiales e industrialización.

En este documento se encuentran numerosas referencias al mundo de la velocidad, en concreto a las motocicletas petrol de MotoStudent. Estos prototipos son creados, por universidades, específicamente para esta competición que tiene lugar cada dos años en Alcañiz; Aragón, en el circuito mundialista de Motorland. Cada apartado de este documento tratará asuntos térmicos en reciente desarrollo y mantendrá su objetivo de diseñar y estudiar la viabilidad del mejor sistema de refrigeración posible.

2. MOTORES DE COMUSTIÓN INTERNA EN MOTOCICLETAS

2.1. **Ciclo de transformación de energía en un motor de combustión interna**

El diagrama de volumen de presión (diagrama PV) que modela los cambios que experimenta la mezcla de aire y combustible en presión y volumen en un motor de combustión interna se llama diagrama indicador. Al tratarse de motores térmicos, los cambios en volumen y presión crearán calor y usarán este calor para mover la motocicleta. Podemos representar el ciclo Otto en el diagrama indicador

El componente de cualquier motor que utilice este ciclo tendrá un pistón para cambiar el volumen y la presión de la mezcla de aire y combustible. El pistón gana movimiento al quemar el combustible y mediante un proceso cíclico se acaba transmitiendo potencia a la transmisión

A continuación, se describe lo que ocurre durante cada paso del diagrama PV, en el que la combustión del fluido de trabajo: combustible y aire (oxígeno) cambia el movimiento del pistón:

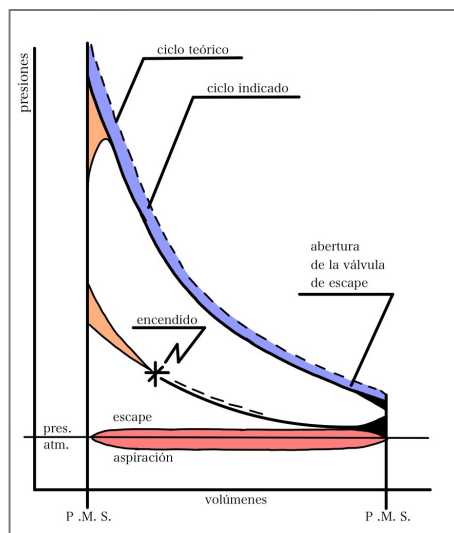


Ilustración 1. Gráfico del diagrama indicador, Presión-Volumen

Se definen las fases de operación del ciclo Otto y son las siguientes:

En la denominada fase de admisión o aspiración, el pistón se desplaza hacia la parte inferior para permitir que el volumen en la cámara aumente y aspirar una mezcla de aire y combustible. En términos de termodinámica, esto se conoce como proceso isobárico ya que al estar la admisión abierta la presión es igual a la exterior.

La segunda fase del ciclo se denomina compresión. Una vez la mezcla está dentro del cilindro el pistón se levanta y comprime la mezcla aire-combustible que ingresó a la cámara. La compresión hace que la mezcla aumente ligeramente la presión y la temperatura. En términos de termodinámica, esto se conoce como un proceso adiabático ya que dada la alta velocidad del proceso se supone que la mezcla no tiene posibilidad de intercambiar calor con el ambiente. En el ciclo teórico se modela como una curva adiabática reversible. Cuando el ciclo llega al punto de encendido reflejado en la Ilustración 1, es cuando salta la chispa de la bujía.

Seguidamente a la compresión es donde ocurre la combustión debido a la ignición del combustible por la bujía. La combustión del gas se completa con el pistón en P.M.S. (Punto Muerto Superior), el punto de máxima presión del ciclo y lo que da como resultado una cámara altamente presurizada que tiene mucho calor (energía térmica). En términos de termodinámica ideal, esto se conoce como proceso isocórico, aunque este paso también es claramente irreversible.

En el siguiente tiempo, el de expansión, la alta temperatura y presión del gas empuja el pistón hacia abajo, aumentando el volumen de la cámara. Esto también se conoce como alimentación de energía porque es cuando la energía térmica se convierte en movimiento para impulsar la máquina o el vehículo. Al igual que el anterior tiempo se entiende que por ser un proceso muy rápido se aproxima a un adiabático.

En la última fase la válvula de escape se abre y todo el calor residual es expulsado de la cámara del motor, siendo sustituido por la misma cantidad de mezcla fría en la siguiente admisión. A medida que el calor abandona el gas, las moléculas pierden energía cinética provocando la disminución de la presión. Luego, la fase de escape ocurre cuando la mezcla restante en la cámara es comprimida por el pistón para ser "agotada", sin cambiar la presión.

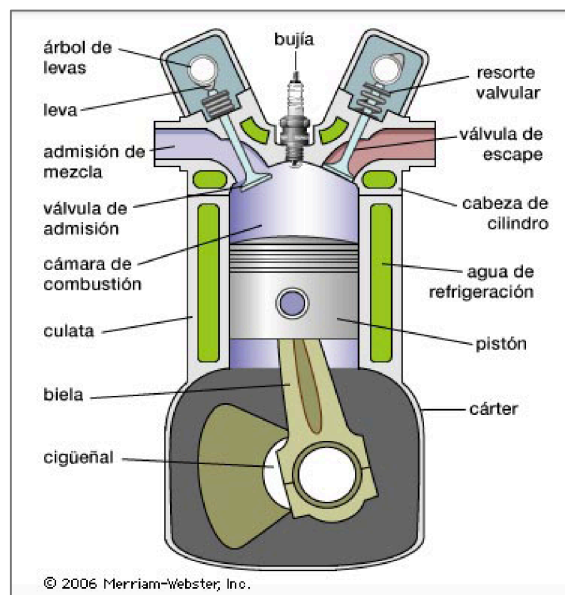


Ilustración 2. Partes de un motor de combustión interna alternativo

2.2 Contexto y futuro del motor de combustión

La evolución del proyecto de los motores de pistones se ha dirigido constantemente hacia la obtención de modelos de potencia específica elevada de dimensiones reducidas; solamente a partir de los años setenta se ha producido un esfuerzo notable hacia la limitación del consumo y de la contaminación. En cuanto a su construcción no se han producido variaciones importantes, fuera de las dictadas por la evolución de la tecnología y por la difusión del empleo de los metales ligeros.

Debido a los problemas medioambientales provocados por la quema de combustibles fósiles, en el estudio del sector del automóvil cobra cada día mayor importancia la sostenibilidad del mismo. De otra parte, las máquinas eléctricas están ganando terreno. No solo consiguen unas emisiones nulas, sino que, triplican en eficiencia a los motores de combustión interna alternativos. Además, el par máximo que ofrece un motor eléctrico siempre será mayor que el que desarrolla un motor convencional y solo transmitirá calor al ambiente. Analizando la larga vida de esta máquina y los competidores que tiene, es evidente que en un futuro los motores de combustión, se irán viendo reemplazados por motores eléctricos en la medida que se logren desarrollar nuevos transformadores, controladores y baterías que permitan crear vehículos sostenibles y asequibles. El principal problema actual de las baterías, junto a su duración es su calentamiento, por lo que en su próximo desarrollo también precisarán sistemas de refrigeración complejos si se quieren implementar en la automoción y más en la competición.

Sin embargo, quedan décadas de utilización y desarrollo de nuevas tecnologías en lo referente a los motores de combustión interna y particularmente a los alternativos. Su fácil disposición constructiva y su amplia frecuencia de potencias hacen que no nos podamos de olvidar de estas máquinas hasta dentro de muchas décadas. Por ello la innovación en el diseño de MCIAs sigue siendo constante, tanto para disminuir sus emisiones como para conseguir un mayor rendimiento térmico obtenido al quemar combustibles de tan alto poder calorífico.

El motor de combustión interna ha conservado hasta el día de hoy sus características fundamentales, sin embargo, ha obtenido enormes avances, incorporando sofisticados sistemas de control, los cuales principalmente han sido utilizados para aprovechar al máximo el combustible y reducir de la mayor forma posible las emisiones contaminantes.

2.3 Tipos de motores de combustión interna y su uso en competición

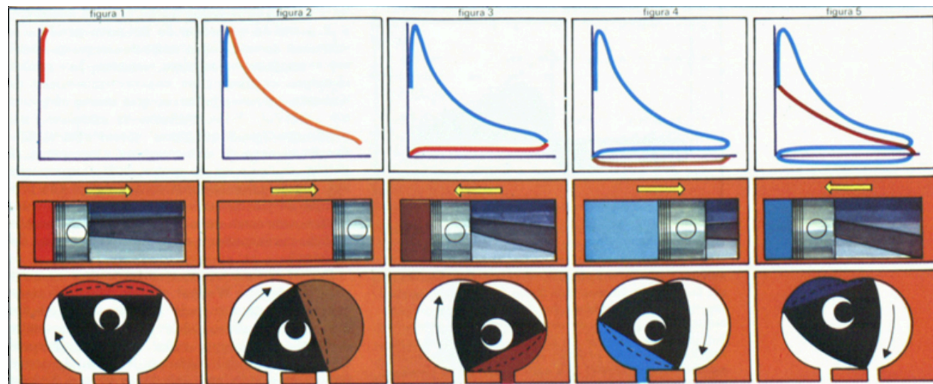


Ilustración 3. Ciclo de funcionamiento de un motor de combustión interna volumétrico a cuatro tiempos

La mayoría de los vehículos modernos de combustión interna son alternativos, concretamente de 4 tiempos, propulsados por gasolina o diésel.

Durante el funcionamiento del motor de 4T, los pistones pasan por 4 tiempos (etapas) para lograr cada ciclo de potencia. La definición de un tiempo es un movimiento de pistón hacia arriba o hacia abajo. Una vez completados los 4 tiempos, el ciclo está completo y listo para comenzar de nuevo.

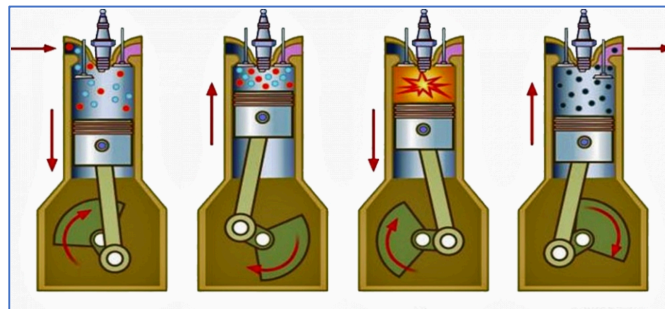


Ilustración 4. Ciclo funcionamiento de un motor 4 tiempos de gasolina

Los motores de 4 tiempos ofrecen un buen equilibrio entre potencia, fiabilidad y eficiencia. Cuando se trata de emisiones, los 4 tiempos separan cada evento mecánicamente, lo que reduce las emisiones de combustible no quemado. También separa el aceite del combustible, lo que reduce significativamente las emisiones de monóxido de carbono. Esta combinación de características deseables le ha valido al 4 tiempos el primer lugar en los vehículos de pasajeros en la actualidad.

Las válvulas se abren y cierran en momentos predeterminados en relación con la posición lo que permite una generación de energía confiable y eficiente. Las configuraciones del motor y del tren de válvulas varían, pero el objetivo sigue siendo constante: un árbol de levas está sincronizado con precisión con el cigüeñal y trabajan juntos para administrar el funcionamiento mecánico del motor.

Los motores de 2 tiempos también son comunes y actualmente se encuentran en motores pequeños, como motos de cross, motos de iniciación, scooters y ciclomotores, etc o en motores muy grandes como los de los buques. Un motor de 2 tiempos sigue siendo un motor de combustión interna que se diferencia de los de 4 tiempos en su diseño.

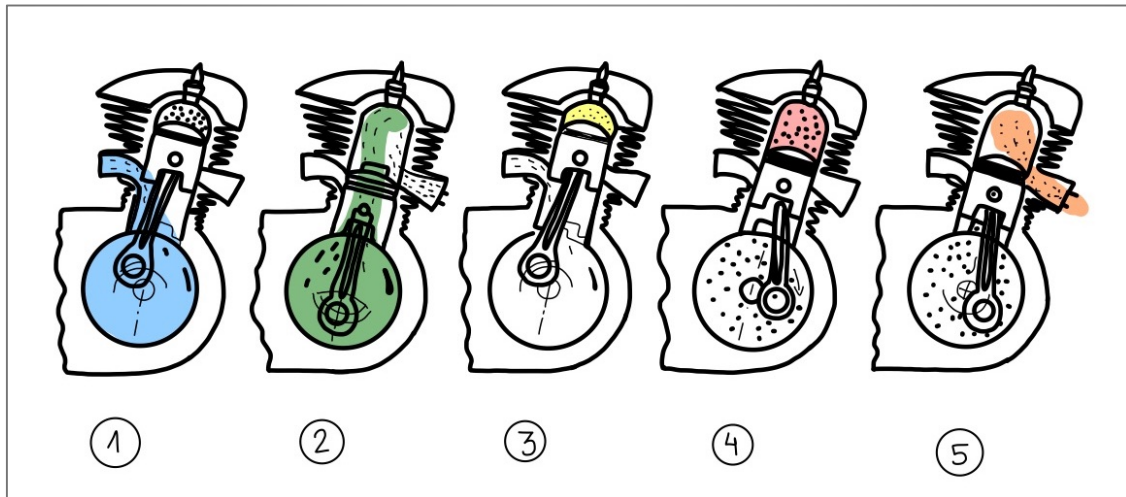


Ilustración 5. Ciclo funcionamiento de un motor 2 tiempos

La principal característica diferenciadora final de un motor de 2 tiempos es su capacidad para completar cada ciclo del motor y tener un pulso de potencia con el doble de frecuencia que el de 4 tiempos.

El aire y el combustible ingresan al cilindro a través de la válvula de admisión, y los gases de escape gastados salen a través de la válvula de escape. El uso de válvulas es una de las principales características diferenciadoras de un motor de 4 tiempos en comparación con el de 2 tiempos. El número total de válvulas por cilindro variará según el diseño del motor pero cada válvula solo puede ser una admisión o un escape. Los 2 tiempos hacen fluir aire, combustible y escape a través del motor sin el uso de válvulas. Más bien, usan lumbreras. Los 2 tiempos también aprovechan el espacio debajo del pistón. Cada carrera del pistón presuriza y actúa sobre 2 cámaras simultáneamente. Además, no se requiere un árbol de levas para abrir o cerrar las válvulas; menos piezas significa que los motores de 2 tiempos son más livianos y más compactos que los motores de 4 tiempos.

Por último, encontramos otro tipo de motor, la máquina rotativa de tipo Wankel. “El ciclo de cuatro tiempos, realizado por cada uno de los 3 lóbulos del rotor, es desarrollado durante una vuelta completa del propio rotor, al que corresponden 3 vueltas del cigüeñal. Por consiguiente, por cada pistón rotativo se producen 3 ciclos completos en 3 vueltas del cigüeñal.

Actualmente la inmensa mayoría de vehículos de carreras utilizan motores de 4 tiempos. En la modalidad de velocidad no queda ninguna categoría oficial propulsada por motores 2t a excepción de las carreras de karts, las categorías de MX1 y MX2 de motocross y los campeonatos de iniciación de Supermotard en su versión de 65cc y 85cc. El motor de dos tiempos ha desaparecido de escena, pero no por eso han dejado

de ser la mecánica más explosiva de la historia. La invención del 2 tiempos moderno llega con el desarrollo de componentes como la válvula de escape y el tubo de escape, estos avances permitieron multiplicar exponencialmente el rendimiento de este tipo de motores hasta llegar a desarrollar potencias de más de 200cv con apenas medio litro de cilindrada. Es decir, generaban la friolera de 400cv de potencia específica.

Los motivos de la desaparición de los motores 2 tiempos en el mundo de los automóviles y motocicletas de competición son varios. Por un lado, el auge de la inyección, por otro lado, el auge de la electrónica permitió que se experimentaran nuevos métodos para ir rápido en circuito, un ejemplo es el control de tracción. Además, la entrada en vigor de las restricciones a las emisiones contaminantes mediante estándares internacionales, a comienzos del siglo XXI, propiciaron que la mayoría de fabricantes renunciasen a su fabricación, por lo que hoy en día su comercialización resulta prácticamente residual.

Los motores Wankel rotativos nunca han estado muy extendidos en competición debido a su baja fiabilidad, pero sí que ha habido en la historia automóviles campeones que utilizaban este tipo de motor. En 1991 la marca japonesa Mazda ganó el mítico campeonato de las 24h de Le Mans con un coche propulsado con el motor R26B de cuatro rotores y que producía más de 700cv con un sonido único.

Respecto al combustible empleado en competición, cabe recalcar que la totalidad de los vehículos de carreras utilizan gasolina. La respuesta de por qué no encontramos motores en velocidad que funcionen a diésel es sencilla. En este tipo de prototipos es fundamental mantener acotada la relación peso-potencia. Los motores de explosión por compresión pesan más que los de encendido provocado, sus componentes son más robustos además de caros. La potencia específica también es menor al enfrentarlo a un motor gasolina de la misma cilindrada. Asimismo, el motor de gasoil sube menos de revoluciones, algo que no conviene en competición, ya que quita nervio y agilidad al asunto. En menor medida también es importante valorar que los motores diésel generan muchas más vibraciones y requieren un mayor mantenimiento.

En el mundo del automóvil todavía podemos encontrar alguna excepción, en cambio, en el campo del motociclismo de competición ningún prototipo actual funciona con gasoil. Es por eso que lo que resta de documento se centrará en motores de combustión interna de encendido provocado mediante la chispa de la bujía.

2.4 Parámetros geométricos de los motores de combustión interna alternativos

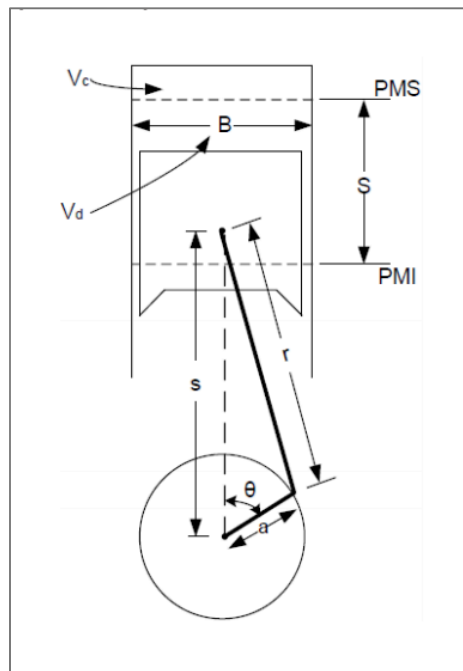


Ilustración 6. Parámetros geométricos de un motor de combustión interna alternativo

En la ilustración 6 se ilustran los parámetros geométricos del motor. El máximo volumen que puede acoger la cámara de combustión es el Volumen desplazado (V_d). Al dar media vuelta el cigüeñal ($\theta = 180^\circ$), la mezcla se comprime hasta alcanzar el Volumen de cámara de combustión (V_c). La distancia que recorre el pistón entre estos dos puntos de funcionamiento se expresa en unidades de longitud y se denomina Carrera (S). Mediante una simple operación teniendo el Volumen desplazado y la Carrera se obtiene el diámetro del pistón (B).

$$V_D = \pi \cdot \frac{B^2}{2} \cdot S$$

El diámetro del cigüeñal (a) y el largo de la biela (r) son los últimos por definir en cuanto a parámetros geométricos.

2.5 Límites de la eficiencia térmica de los motores de gasolina

Los motores de combustión tienen una tendencia irremediable a desperdiciar la mayor parte de la energía proporcionada por la quema de combustible en forma de calor. Pese a que pueda sonar contradictorio la tecnología en plena evolución tan solo podrá disminuir en pocos puntos porcentuales la cantidad de energía que se desperdicia en este tipo de motores. Las leyes físicas que definen su funcionamiento limitan de forma rotunda que se pueda aprovechar más de un 30% de la energía liberada en la cámara de combustión. El motor definido en el apartado 2.4 de este documento ya no debe estar muy lejos de su confín termodinámico, es decir, de su máxima eficiencia o rendimiento térmico.

Si entendemos la eficiencia como el trabajo obtenido por cada unidad de energía consumida ya se está asumiendo que en ningún caso será mayor que un 100%, ya que, se estaría incumpliendo el primer principio de la termodinámica de la conservación de la energía. Por lo que cualquier valor inferior implica energía inútil que se transforma en calor.

La máxima eficiencia de cualquier máquina térmica tiene un límite teórico que solo sería alcanzable en una máquina perfecta y cuyo proceso sea reversible. Se llama ciclo de Carnot al ciclo en el que la eficiencia solo depende de las temperaturas mínima y máxima entre las que opera un motor. En el caso de los motores a gasolina, la temperatura máxima se obtiene en la cámara de combustión donde los hidrocarburos arden hasta una temperatura de 2.000°C. La temperatura mínima se correspondería con la temperatura ambiente y este ciclo teórico podría ofrecer rendimientos de hasta un 80%. Es decir, ni el motor más desarrollado y perfecto podría dejar de desperdiciar un 20% de la energía que se le aporta.

Ha habido intentos de aplicar el ciclo reversible de Carnot al funcionamiento de motores. “La eficiencia máxima de un motor teórico perfecto de gasolina con relación de compresión 8:1 es de un 56,5%”¹. Este rendimiento, que queda por debajo del máximo absoluto de Carnot, se asociaría a motores ideales por lo que ni el motor más perfecto jamás inventado lograría aprovechar más de un 57% de la energía. Supondría además procesos instantáneos de combustión, apertura y cierre de válvulas inmediato, procesos lentos de expansión y compresión, pérdidas nulas por bombeo y un aislamiento térmico ideal. En otras palabras, es imposible que un motor se acerque a este porcentaje de eficiencia.

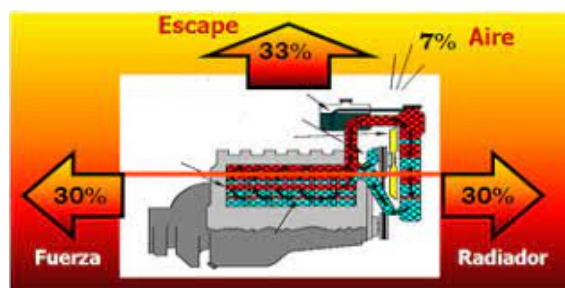


Ilustración 7. Pérdidas en forma de calor de un motor de gasolina²

El calor generado por energía inútil en los motores reales actuales supone, como mínimo, un 70% de la energía química de la gasolina. Supone una eficiencia menor al 30% lo que significa un malgasto energético pero que como ha quedado expuesto es irremediable.

¹ (Universidad de Sevilla, 2015)

² (WIDMAN INTERNATIONAL SRL, 2015)

3. REFRIGERACIÓN GENERAL DE MOTOCICLETAS

3.1. Tipos de refrigeración de un motor de motocicleta

Es bien sabido que la eficiencia de cualquier motor térmico está directamente relacionada con una correcta gestión del calor que se genera. Especialmente si hablamos de vehículos de competición, es de vital importancia que el motor se mantenga en un rango de temperaturas constante y óptimo. Es decir, acercarse a un comportamiento adiabático aprovecharía al máximo la energía que se aporta en forma de calor para transformarla en trabajo útil del motor. Y ese es uno de los quebraderos de cabeza al que se enfrentan los ingenieros de motores de competición. Las dimensiones de los motores son cada vez menores, sin embargo, cada vez cuentan con más componentes y se complica el problema de disipar la enorme cantidad de calor generado. El reto de refrigerar el compartimento del motor supone una labor cada vez más complicada.

El sistema de refrigeración sirve para disminuir el calor generado y no transformado en energía mecánica. Es la única manera de mantener todos los componentes dentro del rango de temperaturas de diseño del motor evitando deformaciones y agarrotamientos.

La capacidad de un motor de deshacerse del calor que genera incide directamente en la potencia que desarrolla. Las motos de competición trabajan a temperaturas límite, forzando los motores al máximo, por lo que es vital disponer de un sistema de refrigeración que permita al motor no sobrepasar temperaturas peligrosas para sus componentes o que comprometan la potencia del motor. Es por ello que este apartado, a fin de conocer los diferentes sistemas de refrigeración en una moto, se enfoca hacia el mundo de la competición ya que el presupuesto con el que se cuenta para la fabricación de estos prototipos es muy alto y los sistemas de refrigeración que emplean son de las mejores referencias que se pueden encontrar.

Desde la primera carrera en circuito en 1907 hasta nuestros días se han utilizado motores refrigerados para correr en motocicletas. En las siguientes figuras se observan a modo de ejemplo diferentes motores de competición, cada uno emplea una configuración diferente, pero todos tienen algo en común, precisan de algún fluido que les arrebatte el calor que generan.

3.1.1 Refrigeración por aire

El motor de 2 tiempos que se muestra en la Figura 6, compuesto por un único cilindro de 500 centímetros cúbicos, está refrigerados por aire.



Ilustración 8. Motor Indian 1915 refrigerado por aire

El fluido impacta con las aletas radiales que rodean la pared exterior del cilindro, que como luego se expone es el componente que más calor necesita liberar. Este tipo de refrigeración se caracteriza por su simplicidad constructiva. En el sector de las motocicletas este tipo de enfriamiento estaba muy extendido gracias a la facilidad de estos vehículos de aprovechar la circulación directa de aire. Sin embargo, cuenta con algunas desventajas que hicieron que a partir de la década de los 80 se haya reducido el uso de este sistema. Tienen una capacidad de refrigeración reducida debido a las propiedades caloríficas del aire, además, el motor queda sujeto a cambios bruscos de temperatura al ser difícil de controlar. Actualmente este tipo de refrigeración todavía se usa en motocicletas de baja cilindrada de 2 tiempos o en los motores más económicos de 4 tiempos. El mantenimiento de este sistema, a parte de eliminar los depósitos de suciedad entre las aletas, es totalmente nulo por lo que es el método más económico de implementar y mantener.

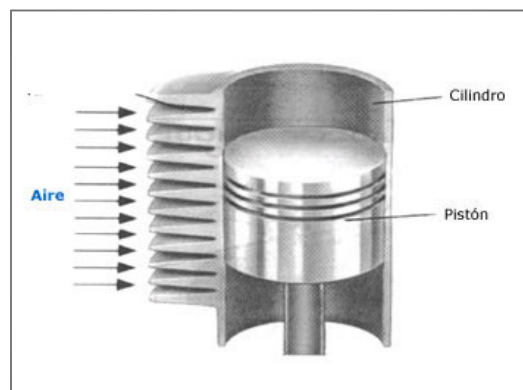


Ilustración 9. Detalle de la refrigeración por aire de un cilindro

3.1.2 Refrigeración por agua



Ilustración 10. Motor Honda NSR500 2t refrigerado por agua

En la ilustración 10 se muestra un motor dos tiempos refrigerado por agua. La firma nipona competía en los Grandes Premios de velocidad con un motor de 2 tiempos con cuatro cilindros en V, dos a dos, refrigerados por agua. Se trata de una de las mejores máquinas térmicas 2 tiempos que se han montado nunca en un vehículo.

No se observan aletas sino dos salidas de refrigerante por la parte superior de los cilindros, en las culatas, y una entrada común que permite la salida del líquido hacia el radiador. Se trata de un sistema de refrigeración líquida. Los cilindros están rodeados de una camisa con cavidades internas por las que circula líquido refrigerante. Con este sistema el líquido recoge el calor del conjunto culatas-cilindros y lo lleva al radiador. La ventaja principal es la posibilidad de funcionar con seguridad en un abanico más amplio de condiciones y su principal desventaja es el aumento de peso que implica este sistema.

3.1.3 Refrigeración por aceite

Este sistema de refrigeración se basa en impulsar el lubricante del motor a través de una bomba accionada por el movimiento del cigüeñal, que lo empuja por los conductos y manguitos de lubricación hasta el radiador de aceite dónde intercambia calor con el aire que lo atraviesa.

Para su correcto funcionamiento este sistema cuenta con dos sensores: el de temperatura y el de elevación de llenado. Un ejemplo de moto deportiva refrigerada por aceite a la vez que también por agua es la Suzuki SV (ilustración 11).

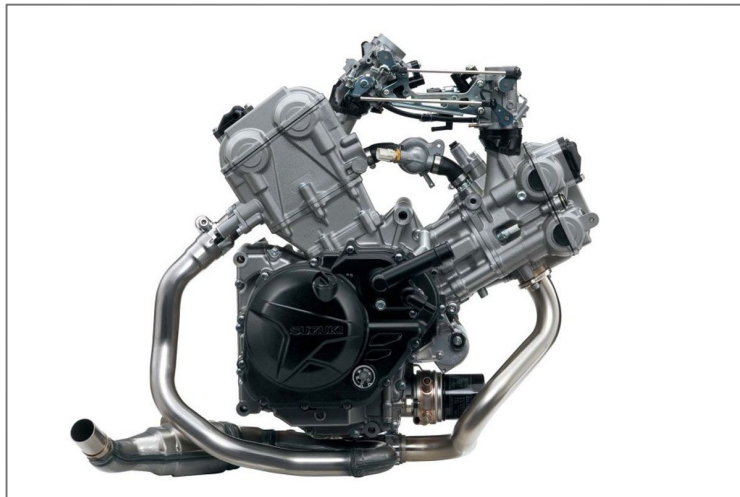


Ilustración 11. Motor Suzuki SV 650 refrigerado por agua y aceite

Esta moto prescinde de la refrigeración por aire. Su modo de extraer el calor del motor es mediante dos radiadores. El principal y más grande es el radiador de líquido refrigerante (componente 2 de la ilustración 12) y el radiador más pequeño (componente 1 de la ilustración 12) es el encargado de refrigerar el aceite lubricante del motor.

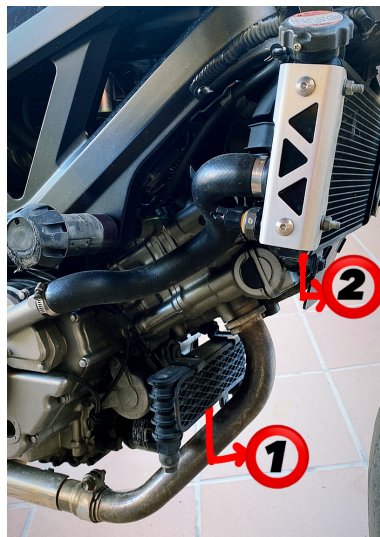


Ilustración 12. Radiadores de la Suzuki SV 650

En el radiador de aceite (componente 1 de la Figura 12 y 13) se enfría el lubricante procedente del cárter del motor (componente 3 de la Figura 11). Una vez enfriado, se impulsa el aceite hacia los conductos internos de lubricación (componente 2 de la ilustración 13) hasta llegar a los árboles de levas que es la parte más alta del motor.

Una vez aquí el fluido absorbe el calor a la vez que lubrica y vuelve a caer al cárter tal y como indican las flechas amarillas de la ilustración 13.

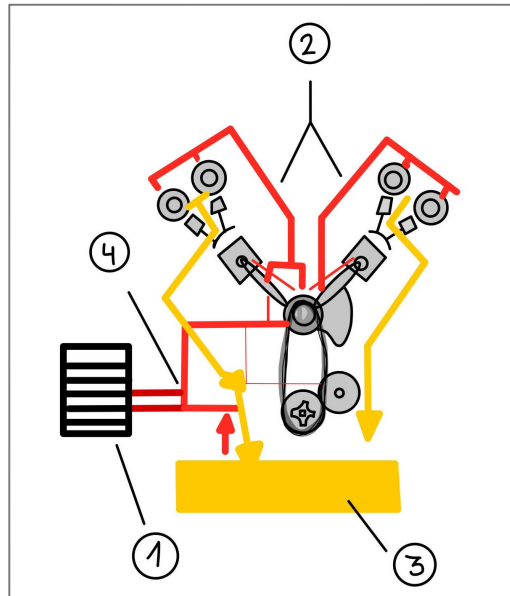


Ilustración 13. Esquema de circulación del aceite de la Suzuki SV 650

A parte de refrigerar, este sistema mantiene la densidad del aceite en un rango constante que asegura una viscosidad adecuada para lubricar las diferentes partes del motor. Los fluidos se vuelven más espesos con el aumento de la densidad y una consecuencia de ello es que las partículas disueltas tardarán más tiempo en decantar.

3.2. Sistemas de refrigeración por agua en motocicletas

En este apartado se va a estudiar y definir al detalle cada una de las partes del sistema de refrigeración por agua de cualquier motocicleta. El artículo se centra en este método ya que es el sistema que enfría el motor KTM RC 250 de origen, es decir, el sistema a optimizar.

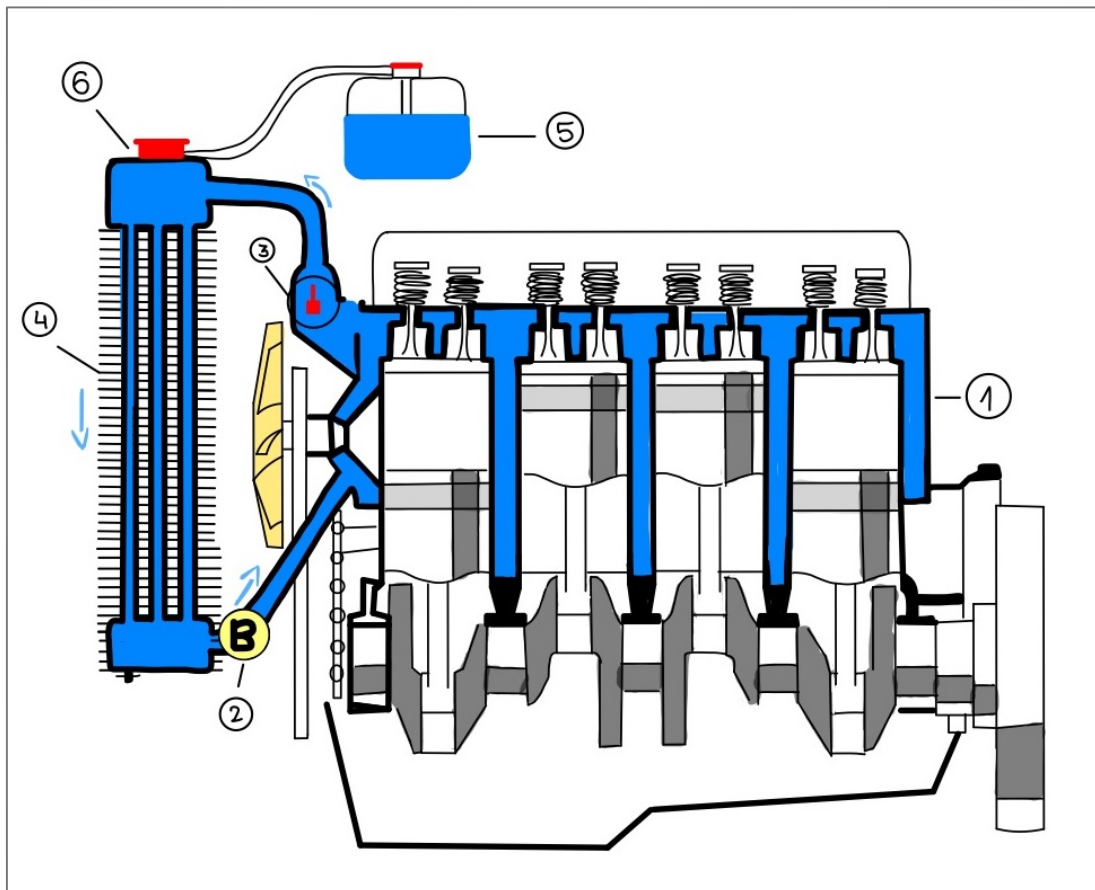


Ilustración 14. Esquema del sistema de refrigeración líquida de un motor de 4 cilindros en línea

Para acabar disipando energía térmica a través de la acción del radiador un equipo intercambiador utiliza propiedades termodinámicas y principio de la mecánica de fluidos, transfiere energía térmica desde una fuente a alta temperatura hacia un fluido a baja temperatura.

En un ciclo del circuito de refrigeración se realizan dos transferencias de calor: la primera por contacto indirecto a través de una pared que separa la fuente de calor y el líquido refrigerante, el segundo intercambio térmico es entre el aire ambiente y el líquido en los tubos del radiador.

Para comprender como funciona este sistema es necesario conocer la trayectoria que sigue el refrigerante. A través de pasajes en el interior del bloque motor (elemento 1 de la Figura 12), dónde se acumula el calor producido por los cilindros, circula el líquido que fluye hacia la cabeza del cilindro dónde acaba de recoger el calor de las cámaras de combustión antes de salir hacia el radiador (elemento 4 de la ilustración 14). El refrigerante discurre por los tubos delgados aplanados del radiador y es enfriado por el flujo de aire que lo atraviesa, en este momento el líquido se enfría y vuelve a la bomba (elemento 2 de la ilustración 14) que lo redirige al bloque para seguir enfriando el motor. El sistema de refrigeración de una motocicleta está constituido además por un termostato (elemento 3 de la ilustración 14) que funciona como válvula, un depósito de expansión (elemento 5 de la ilustración 14) que albergará el líquido sobrante y un tapón de presión (elemento 6 de la ilustración 14) que hace estanco el radiador.

Se analizarán a continuación cada una de las piezas al detalle para una posterior optimización completa y justificada.

3.2.1. Líquido refrigerante

Todo circuito de refrigeración líquida necesita un fluido que circule por el circuito cerrado de refrigeración. El líquido es impulsado por la bomba al circuito interno del motor y va absorbiendo el calor generado por la fuente hasta salir por la parte superior de la culata. El fluido caliente desciende por los tubos del radiador hasta que es recogido por el manguito inferior para volver a entrar a la bomba y repetir el circuito.

Existen varios fluidos que se pueden usar a modo de refrigerante:

El más sencillo podría ser el agua corriente. Posee una alta capacidad calorífica, sin embargo, es muy corrosiva y oxidaría demasiado las partes metálicas del sistema de refrigeración. Es por ello que no se usa agua corriente sino agua destilada como refrigerante más básico.

Es muy común encontrar aditivos en el agua destilada en proporciones de cincuenta-cincuenta normalmente, los líquidos refrigerantes. Favorecen su fluidez, aumentan su poder calorífico y mantienen limpio el circuito de refrigeración. Por definición cualquier sustancia que agregada al agua rebaja su punto de congelación se denomina anticongelante y ésta es una propiedad implícita en los líquidos refrigerantes comerciales. El aditivo más utilizado es el etilenglicol.

Optimización termodinámica del prototipo Motostudent 2020

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA Y DE ALGUNAS SUSTANCIAS ANTICONGELANTES					
Características	Agua	Alcohol metílico	Alcohol etílico	Glicerina	Etilenglicol
Peso molecular	18,016	32,04	46,07	92,09	62,07
Peso específico a 20/20 °C	1,00	0,7924	0,7905	1,2636	1,1155
Calor específico a 25 °C, en cal/g °C	0,9976	0,604	0,581	0,577	0,574
Punto de congelación de: Substancia pura, °C	0	-97,7	-177,3	17,0	-13,3
Solución acuosa al 50 % en volumen, °C	0	-44,5	-30,6	-22,0	-36,6
Punto de ebullición, °C	100	64,5	78,4	290	197,3
Presión de vapor a 20 °C, en mm Hg	17,53	96,1	44,1	0,00035	0,12
Punto de inflamación, °C	—	15,6	18,9	176,7	115,6
Viscosidad a 20 °C, en cPs	1,01	0,59	1,19	1,499	20,9

Tabla 1. Propiedades físicas del agua y de algunas sustancias anticongelantes

En condiciones normales el agua se congela a los 0°C por lo que si se va a utilizar a una temperatura ambiente muy inferior se puede usar etilenglicol concentrado en mayor proporción diluido (hasta 75%) en agua destilada. Este fluido puede alcanzar los -30°C en estado líquido por lo que soluciona el problema de la solidificación del circuito en situaciones extremas. Es curioso observar que, al contrario que los alcoholes metílico y etílico, el metil-englicol no posee de por sí una temperatura de congelación muy baja (-13.3°C). La eficacia de este anticongelante se manifiesta al diluirlo en agua hasta el 60% de volumen ya que el punto de congelación de la mezcla desciende aproximadamente hasta los -13°C.

El campo de aplicación de los anticongelantes está cada vez más extendido y su uso principal sigue siendo el de la refrigeración de los motores de explosión. A día de hoy, debido a las crecientes exigencias de la industria automovilística, los anticongelantes se han ido mejorando cada vez más incorporándoles aditivos que los convierten en protectores multifuncionales.

La protección contra la corrosión se obtiene añadiendo sustancias como benzoato sódico, bórax, fosfatos alcalinos, etc en su conveniente dosis. Con esto se consigue un pH alcalino comprendido entre 7 y 11 que es el idóneo para neutralizar los compuestos ácidos que llegar a contaminar el anticongelante.

La mayoría de botellas de líquido anticongelante en envase comercial son translúcidas por lo que se puede observar con claridad el color del fluido. En ningún caso este color implica una diferencia en la efectividad, cada fabricante utiliza un código de colores diferente por lo que son simples estrategias de marketing entre marcas.

3.2.2. Bomba de agua

La bomba de agua es un elemento clave dentro del sistema de refrigeración. Se encarga de mover el líquido refrigerante entre los diferentes componentes y está considerada como el corazón del circuito.

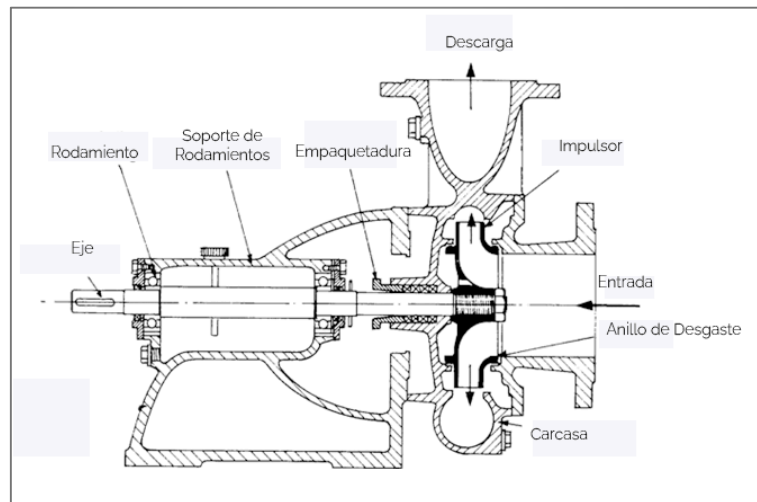


Ilustración 15. Bomba de agua seccionada

Su accionamiento en motocicletas se produce mediante engranajes conectados al cigüeñal por lo que, siempre que el motor esté arrancado, la bomba estará funcionando.

Las bombas de agua en motocicletas son de tipo centrífugo y sus partes, mostradas en la ilustración 15 son las siguientes:

- Eje
- Rodamiento de bolas
- Retén prensaestopas que evita fugas de líquido o Empaquetadura
- Anillo de Desgaste
- Impulsor centrífugo de aspas o Rodete
- Carcasa

El eje que gira sobre los rodamientos de bolas, tiene en su extremo las aspas impulsoras en el cuerpo de la bomba. Estas aspas utilizan la fuerza centrífuga para impulsar el refrigerante a presión en el bloque motor. Aunque en la imagen no se ve reflejado, hay una junta que sella la bomba al bloque motor y evita que fugue refrigerante.

Las bombas hidráulicas son equipos que sufren con los cambios de presión y densidad del fluido, entre los problemas que pueden ser causados están:

- Aumento de la propensión de cavitación en el orificio de succión
- Aumento de la potencia consumida para el bombeo
- Aumento del estrés de los componentes de bombeo

- Compromiso de la capacidad de bombeo debido a la elevación de la inercia del fluido.
- Aumenta el potencial erosivo del fluido

Es decir, a medida que se alteran dichos parámetros, ocurre la pérdida de la eficiencia de bombeo.

Se encuentra ubicada en el lado de la distribución del bloque motor y por norma general no está a la vista, sino tapada con una carcasa de aleación ligera (normalmente hierro o aluminio fundidos)

Cabe destacar la existencia de bombas de agua electrónicas. Son simples motores eléctricos que normalmente funcionan a 12 Voltios para poder ser conectados a una batería corriente de motocicleta. Su funcionamiento es el mismo, solo cambia el elemento accionador y la necesidad de energía eléctrica para su puesta en marcha.

3.2.3. Termostato

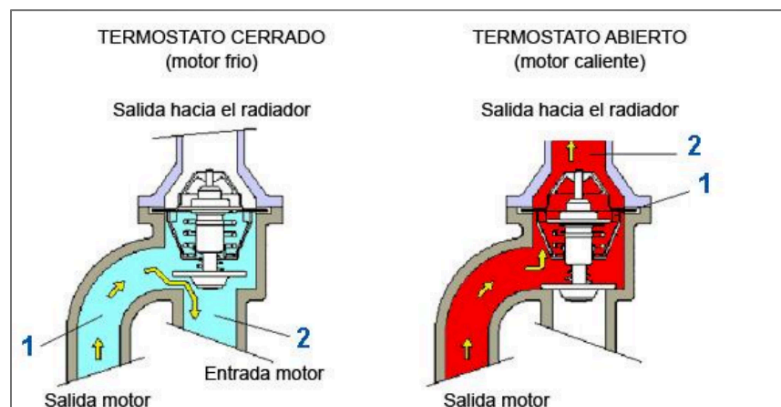


Ilustración 16. Termostato cerrado y termostato abierto seccionados

Ha quedado latente que el motor necesita trabajar en un rango óptimo de temperaturas pero esto no significa que siempre se necesite enfriar sus componentes. Hay un caso en el que no conviene que el circuito de refrigeración actúe y es cuando el motor aún no ha alcanzado la temperatura mínima de funcionamiento.

El termostato es un dispositivo sensible a la temperatura que se emplea para la regulación del circuito de refrigeración. Se implementa como válvula que mide la temperatura del refrigerante y determina si es óptimo que circule o no por el radiador, cuando la temperatura objetivo alcanza un valor predefinido, la válvula se abre y deja pasar el fluido. En motocicletas, este componente va intercalado en el conducto que va del motor al radiador.

En cualquier tipo de termostato el refrigerante proviene del motor, tal y como se observa en la ilustración 16 y según la temperatura del agua se le da salida hacia el radiador o de nuevo hacia el motor.

Podemos diferenciar 3 tipos según el accionamiento de la válvula:

-Termostato de fuelle o pulmón. Aprovechan la facilidad de evaporación de líquidos especiales contenidos en una espiral o en un fuelle metálico. Cuando la temperatura alcanza el valor deseado, el fuelle se dilata haciendo girar una mariposa o abriendo una válvula.

- Termostatos de cera. Se basan en las propiedades de ceras especiales que poseen un alto coeficiente de dilatación. La dilatación de la cera contenida en una cápsula provoca el desplazamiento al de un pistón que, a su vez, acciona una válvula.

- Termostatos de lámina bimetálica. Poseen muelles formados por dos láminas de materiales con coeficientes de dilatación distintos, los cuales se deforman con el calor.

El más extendido es el termostato de cera aunque todos tienen en común que deben estar provistos de un pequeño orificio para las burbujas de aire que permanezca siempre abierto.

Durante los primeros instantes del arranque el motor éste está frío y el líquido refrigerante también. En este caso el termostato permite que el refrigerante vuelva directamente al motor, bloqueando el flujo al radiador y mandándolo por un sistema de derivación. De este modo, el motor puede alcanzar la temperatura de funcionamiento antes incluso en los días más fríos. Al entender esta implementación se asume que todas las cámaras de los termostatos se hallan en comunicación con la bomba de agua a través de un by-pass que se encuentra activo cuando la válvula del termostato está cerrada.

3.2.4. Radiador

El radiador es el elemento principal dentro del circuito de refrigeración de una motocicleta, se trata de una máquina térmica que intercambia calor de la siguiente manera: el refrigerante caliente procedente del motor entrega el calor a la corriente de aire que atraviesa el panel.

En el mundo de la automoción existen numerosos tipos de radiadores diferentes, pero la mayoría tienen un tipo de intercambiador de calor en común; son radiadores de tubos entre depósitos donde el fluido que arrebató calor es el aire ambiente.

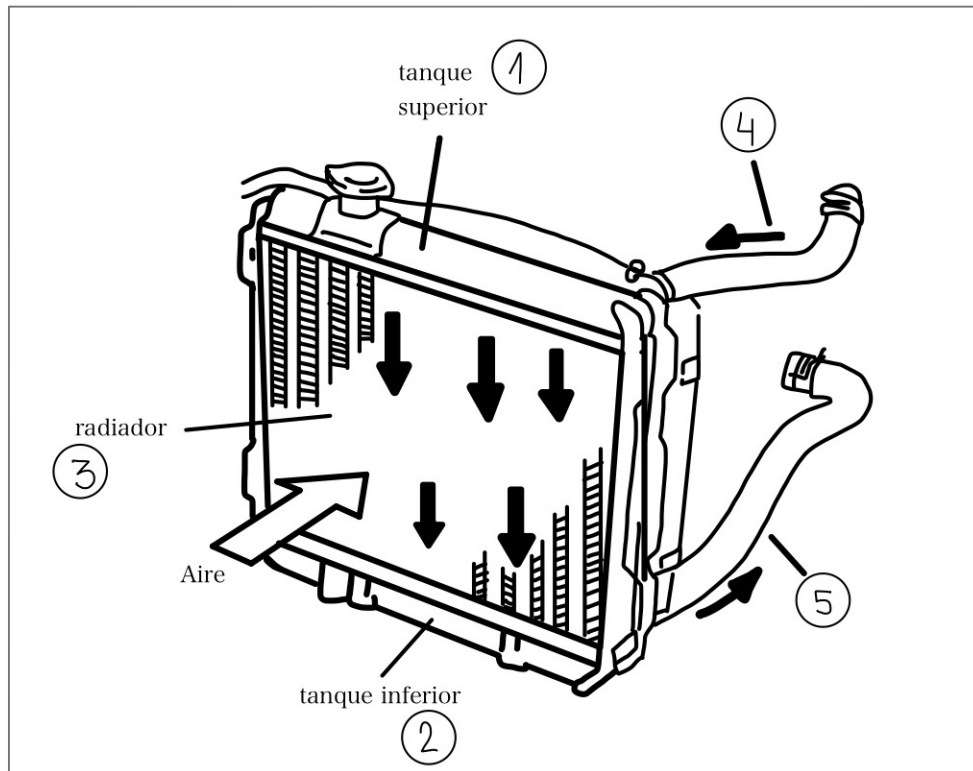


Ilustración 17. Esquema de un radiador de tubos y aletas

El radiador de tubos y aletas es un componente con varias partes diferenciadas. La parte central se compone de tubos planos paralelos que desembocan cada extremo en una de las tapas o tanques (componentes 1 y 2 de la Ilustración 17). En cada una de ellas es dónde se disponen los orificios de salida y entrada al intercambiador, ambos con cuello y conexión de manguera grande (componentes 4 y 5 de la Ilustración 17). En la parte más alta de los tanques encontramos el orificio de llenado seguido por un cuello y el tapón, que una vez colocado en el radiador en realidad es una válvula de presión.

Un conducto saliente del cuello hace la función de expeler, permitir la salida al líquido refrigerante excedente cuando la temperatura del motor sube provocando una presión predeterminada.

Según la disposición de las tapas en el radiador se distinguen radiadores de flujo horizontal y de flujo vertical. En el caso de estos últimos se disponen dos depósitos, uno superior por donde se produce la entrada del fluido caliente y otro inferior donde se encuentra la salida del fluido ya enfriado.

Por otro lado, en el caso del flujo horizontal los depósitos se encuentran paralelos a la misma altura estando entrada y salida del fluido a diferentes alturas

Las tapas pueden ser de material plástico: radiador de tanque de plástico, o en metal. El sistema más producido actualmente en el mundo automovilístico es la combinación aluminio-plástico con juntas entre el alma de aluminio y las tapas de plástico para

Optimización termodinámica del prototipo Motostudent 2020

sellar el sistema. Sin embargo, la parte central ha de ser fabricada siempre en material metálico por ser la zona principal de intercambio de calor. Es por ello que en la inmensa mayoría de radiadores modernos los tubos son de aluminio o cobre y cuentan con aletas de muy fino espesor entre ellos. Estas aletas están dispuestas en forma de sierra y no son más que una fina tira metálica en forma de zigzag entre tubo y tubo.

Debido a las exigencias de espacio a la hora de fabricar una moto, la disposición del radiador está siempre encarada a una fuente de aire de modo que le permita aprovechar al máximo el elevado coeficiente de convección producido por el aire que entra a gran velocidad por el frontal del vehículo. Se sitúa normalmente justo detrás de la horquilla delantera ya que es la zona viable de mayor impacto frontal de aire. De no ser suficiente la corriente de aire para cumplir las condiciones deseadas la mayoría de sistemas de refrigeración cuentan con un electroventilador enfocado hacia los tubos. Es especialmente útil para vehículos que circulan a baja velocidad en ambientes muy calurosos, en el momento el sistema detecta un aumento irregular de temperatura se activa el electroventilador y genera una corriente de aire forzada hacia los tubos.



Ilustración 18. Detalle de las aletas del radiador



Ilustración 19. Radiador comercial de motocicleta de flujo vertical

Es importante conocer cómo se fabrica y ensambla un radiador de motocicleta. Los tubos se hacen con láminas de aluminio de medio milímetro de espesor, unos rodillos le dan forma de tubo plano. En el caso de radiadores con aletas de cobre, los tubos se someten a un baño en una cuba plomo hirviendo. Cuando el tubo sale de la cuba se sumerge en agua fría que temple el baño de plomo. Mientras tanto una máquina moldea una lámina de aluminio o cobre de menos de un milímetro de grosor y crea las aletas de refrigeración. La máquina dobla la tira como si fuera un abanico, a continuación, la perfora creando pequeños respiraderos. Cuando el líquido caliente atraviese los tubos, éstas aletas transferirán el calor al aire que fluye a través del radiador. Los operarios apilan a mano los tubos y las aletas en un molde autoalineador.

A continuación, se comprime todo el pack de componentes y se ata con una correa. En el caso de radiadores de cobre se mete el pack en un horno a 315 grados centígrados y en tan solo un par de minutos quedan unidos los tubos a las aletas de refrigeración. En el caso de radiadores de aluminio estas soldaduras del radiador se realizan con flux mediante un proceso de soldadura de arco eléctrico que utiliza el arco formado entre un electrodo y el charco de soldadura. Posteriormente el pack se seca en un horno.

En otra zona se fabrican cada uno de los tanques y se troquelan las ranuras para los tubos del radiador. Usando un mazo se insertan los cabeceros de los tanques en los extremos de los tubos y usando un rodillo especial se reabren los tubos para asegurar que ninguno quede taponado por los golpes. Llegados a este punto si el radiador es de cobre se sueldan los tubos a las carcasas con un baño de plomo hirviendo. Si el radiador es entero de aluminio se procede con soldadura flux y horno.

Por último, solo queda soldar el cuello de llenado junto al tapón y los tubos de entrada y salida de agua.

3.2.5. Vaso de expansión

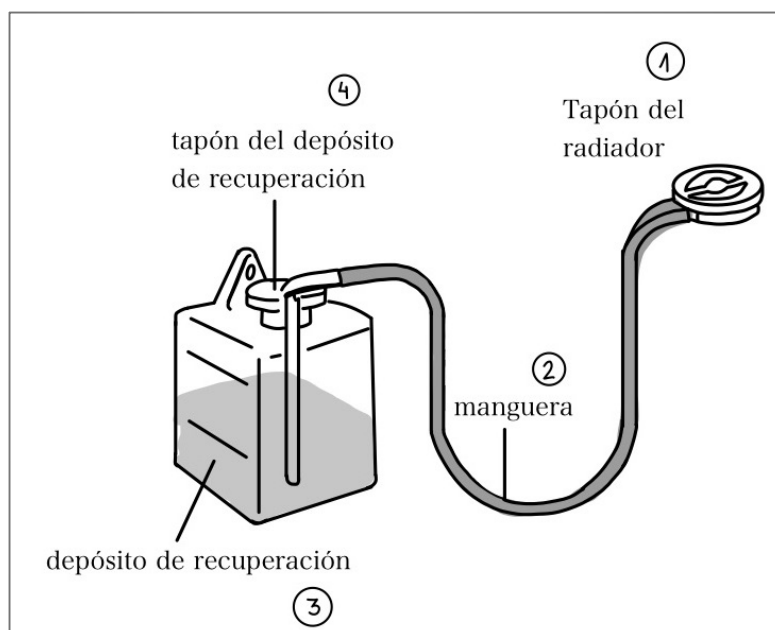


Ilustración 20. Esquema del sistema de expansión

Hay puntos de trabajo en el motor en los cuales el sistema de refrigeración alcanza temperaturas en los que se debe purgar una pequeña cantidad de refrigerante para disminuir la presión. Este refrigerante liberado va a parar al vaso de expansión o depósito de recuperación (componente 3 de la ilustración 20).

Este componente no es más que un recipiente normalmente de plástico sin presurizar por el que descende una manguera fina (componente 2 de la ilustración 20) proveniente del cuello del tapón del radiador (componente 1 de la ilustración 20).. La clave es que el vaso de expansión este siempre algo lleno de modo que la manguera quede sumergida. Así cuando el circuito refrigerante pierde presión, el vacío que se genera absorbe el refrigerante para volver a mandarlo al radiador mediante la manguera.

3.2.6. Tapón de presión

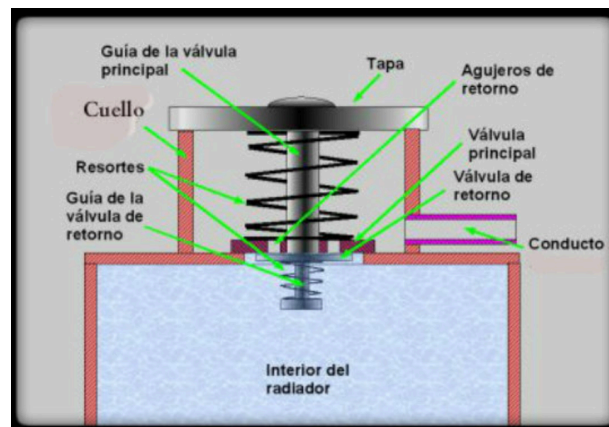


Ilustración 21. Detalle del tapón de presión de un radiador

El tapón del radiador es un componente muy importante de la instalación puesto que sirve para mantener el sistema cerrado y presurizado para evitar que el refrigerante hierba si el motor se calienta a temperaturas por encima de los 100 grados Celsius. Además, la dilatación del fluido al calentarse levanta la válvula principal del tapón para permitir una entrada de presión atmosférica en el circuito.

Cumple con varias funciones; permite llenar el sistema de líquido refrigerante, permite la salida del refrigerante debido a la expansión del líquido al calentarse, mantiene la presión del sistema a un valor adecuado para evitar la ebullición del líquido sin sobrepresiones y sirve como válvula de seguridad en los sobrecalentamientos. Es una especie de fusible del sistema refrigerante

La presión límite de apertura depende del tarado del muelle de la válvula principal, si esta está tarada erróneamente pueden ocurrir dos fallos:

Si el muelle permite más presión que la deseada se producirán sobrepresiones que probablemente generen pérdidas por juntas y racores, con peligro de que el líquido refrigerante a alta temperatura fugue por la zona más débil del circuito. Sin embargo,

si el muelle está tarado erróneamente a la baja, cede y abre la válvula principal se corre el riesgo de disminución del nivel de refrigerante por evaporaciones rápidas del agua.

Tras analizar el líquido refrigerante, el tapón de presión y el circuito del vaso expensor, es sencillo comprender que un anticongelante en un vehículo de altas prestaciones pueda llegar con seguridad a temperaturas de más de 250 grados. Este punto de ebullición tan alto es debido a que la disolución de etilenglicol comienza a hervir a más temperatura que el agua y que el tapón presuriza el sistema impidiendo al anticongelante hervir.

3.2.7. Manguitos



Ilustración 22. Manguitos o mangueras del sistema de refrigeración

Estas mangueras son las encargadas de guiar al refrigerante entre los diferentes componentes de la instalación y son tubos diseñados para soportar presión portando un líquido en su interior.

Existen tanto manguitos metálicos como de caucho. Estos últimos destacan debido a su ligero juego a la hora del montaje al ser un material plástico, su bajo peso y su menor precio. Además, debido a la configuración del sistema, los manguitos deben pasar a veces cerca del cableado o componentes delicados por lo que no es común colocar en estos sitios manguitos metálicos que transmitirían calor a una ubicación no deseada.

La unión entre los manguitos y las tomas se realiza mediante bridas metálicas, siendo siempre los manguitos de mayor diámetro que las tomas se garantiza la estanqueidad de los empalmes

4. OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN EL MOTOR KTM RC 250

4.1 Especificaciones técnicas del motor KTM RC 250

En este apartado definimos la fuente principal de calor que, cómo no podía ser de otra forma se trata de un motor de combustión interna alternativo. El KTM RC250 Official Engine se trata de un motor de combustión interna alternativo monocilíndrico que desarrolla un ciclo completo cada 2 revoluciones de cigüeñal. El ciclo completo consta de 4 procesos inmediatamente consecutivos: Admisión, Compresión, Combustión-Expansión y Escape. La inyección de combustible al motor es indirecta y cuenta con un inyector donde el fluido operante es una mezcla de aire y combustible.

En la siguiente tabla se muestran sus especificaciones técnicas:

KTM RC 250 ENGINE - TECHNICAL SPECS

GENERAL SPECS

Type	4-stroke single cylinder
Distribution	Twin overhead camshafts DOHC, 4 valves
Cooling	Liquid-cooled, permanent circulation by water pump
Engine Displacement	248.8 cm ³
Bore x stroke	72 x 61.1 mm
Compression ratio	12.5:1
Lubricating type	Wet sump
Intake valve diameter	29 mm
Exhaust valve diam.	24 mm

PERFORMANCE

Max Power output	30,87 Hp / 9000rpm
Max. Torque	24Nm / 7250rpm

TRANSMISION

Gearbox	6 speed transmission
Clutch configuration	Slipper clutch. Wet multiplate with coil springs
Clutch command	Mechanically operated
Gear selection	1 N 2 3 4 5 6
Primary transmission	30:80
Trans. Ratio 1 st gear	12:32
Trans. Ratio 2 nd gear	14:26
Trans. Ratio 3 rd gear	19:27
Trans. Ratio 4 th gear	21:24
Trans. Ratio 5 th gear	23:22
Trans. Ratio 6 th gear	25:21

Tabla 2. Especificaciones técnicas del KTM RC 250 (I)

IGNITION, FUEL SYSTEM AND ELECTRONICS

Start	Electric starter
Ignition system	Contactless ignition, controlled fully electronic
Ignition adjustment	Digital ignition timing adjustment
Fuel injection	Electronic fuel injection (stock)
Alternator	12V, 296 W
Recommended Batt.	12V/8Ah
Idle Speed	1,450 - 1,550 rpm
Engine speed limit	10,500 rpm

GENERAL INFORMATION

Intake duct diameter	48 mm (rubber piece)
Exhaust duct diam.	50 mm
Engine weight	37,2 Kg
Engine oil capacity	1.7 L
Engine oil type	SAE 15W/50 (stock recommended)

Tabla 3. Especificaciones técnicas del KTM RC 250 (II)



Ilustración 23. Motor KTM RC 250

Este motor da nombre a la motocicleta que lo monta. La moto **KTM RC 250** del año 2018 fue creada por la empresa austriaca y entra en la serie de **KTM RC** que comprende modelos deportivos de diferentes cilindradas. Se muestran las especificaciones técnicas más considerables de cara al objeto de estudio:

Peso en Vacío	147 kg
Relación Peso / Potencia	0,2109

Es importante no confundir el KTM RC 250 con el KTM RC 250R que es el que montan los prototipos del campeonato del mundo de motociclismo en la categoría de moto 3. El motor objeto de este estudio se trata de un motor comercial, en cambio el model Racing es exclusivo para competición. Este último, pese a tener la misma cilindrada y la misma relación de compresión, lo supera en potencia en más de 20cv. Las claves de esta diferencia drástica son: una doble inyección electrónica con cuerpo oval a 50 milímetros de diámetro, una gestión del motor mediante mapas de inyección optimizados y una construcción en aleaciones de mayor calidad que, junto a una carrera más corta, permiten a este monocilíndrico girar a más de 14.000 revoluciones por minuto. El precio de este motor es de 16.000€.

4.2. Cargas térmicas consideradas

Como en cualquier motor térmico, el KTM RC250 tiene lugar una transformación energética. Para conocer cómo se distribuye la potencia disponible en el combustible se realiza un balance térmico. Dicha energía deberá repartirse tanto en potencia efectiva en el eje de salida del motor (30,87Hp según fabricante) como en pérdidas.

En menor medida el motor genera las pérdidas siguientes:

Potencia de accionamiento de auxiliares (bomba de agua, correa distribución);
Potencia calorífica cedida al aceite;

Optimización termodinámica del prototipo Motostudent 2020

Pérdidas por combustión incompleta
Pérdidas de intercambio de calor con el ambiente.

Este conjunto representa aproximadamente un 10% de la energía disponible. La potencia efectiva del motor son 23 kW, y representa entre un 25% y un 30% de la potencia total del combustible, por lo que tenemos una potencia almacenada en el combustible de 92 kW.

El bajo rendimiento de este tipo de motores es causado por el término pérdidas y la potencia calorífica cedida al refrigerante se corresponde con un 30% de la almacenada en el combustible en forma de entalpía

$$Q_r = 0.3 * N_f = 27.6 \text{ kW}$$

5. OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL MOTOR KTM RC 250

5.1. Sistema actual de refrigeración

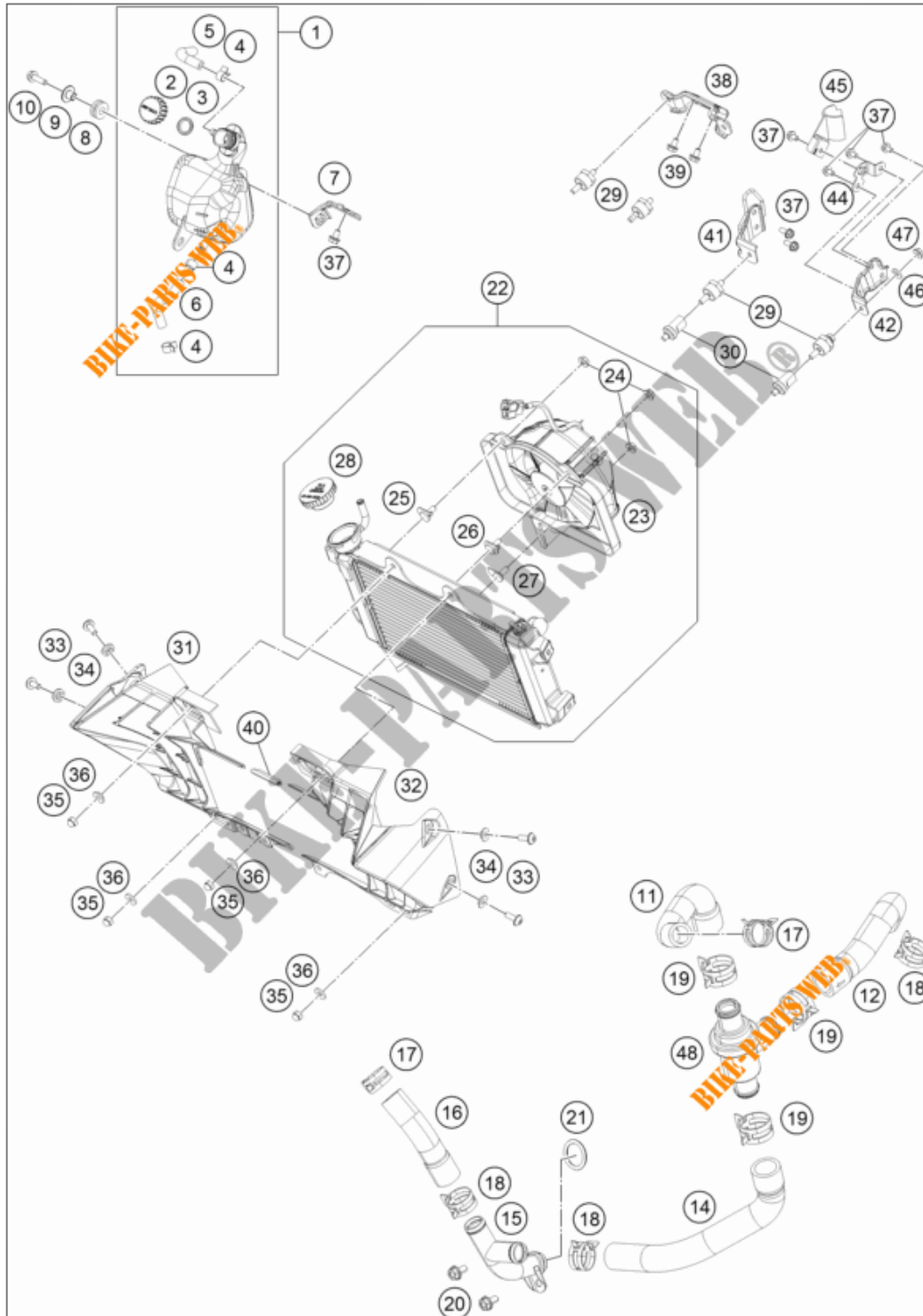


Ilustración 24. Esquema del sistema de refrigeración completo de la KTM RC 250

³ (BIKE-PARTS-WEB, 2018)

5.2. Posibles mejoras del sistema de refrigeración

LÍQUIDO REFRIGERANTE

Las posibilidades de líquido enfriador en motores de motocicleta son las siguientes:

En primer lugar, no se puede dejar de lado el agua destilada, pese a no ser anticongelante ni tener aditivos protectores ante la corrosión su alto poder calorífico y su bajo precio la hacen una opción a valorar.

De entre los líquidos refrigerantes podemos diferenciar entre orgánicos e inorgánicos. Los orgánicos no utilizan silicatos, recurren a aditivos de protección más versátiles y contaminan menos al ser biodegradables. Además, los aditivos de estos refrigerantes protegen de una forma más efectiva materiales como plástico o aluminio. En cambio, el anticongelante inorgánico contiene silicatos, benzoatos, fosfatos y boratos por lo que genera más depósitos.

Una tercera opción de solución que aumenta la capacidad calorífica del agua destilada son los aditivos comerciales de marcas reconocidas como Bradol o Motul con su producto MoCOOL, aseguran poder disminuir la temperatura del agua en hasta 10 grados centígrados.

MOTUL

MOCOOL

Aditivo para refrigeración del motor
Reduce la temperatura del motor hasta 15°C (30°F)
Mejora el intercambio térmico
Fluido de refrigeración concentrado

APLICACIONES

Todos los circuitos refrigerantes de motos, vehículos, quads... en los casos de sobrecalentamiento o para competición reduciendo la temperatura de funcionamiento del motor.

ATENCIÓN:

- Para ciertas competiciones, el reglamento exige utilizar agua pura, en caso de duda, verificar con la organización oficial del evento antes de usar MoCool. Motul no puede estar involucrado en casos de descalificaciones debido a la utilización inapropiada de MoCool.
- MoCool no protege contra la congelación

PRESTACIONES

PRESTACIONES ASRA Approved (American Sport Bike Racing Association), WERA Approved - Motorcycle Road Racing

Los motores trabajan hasta 15°C (30°F) más fríos: Mejora el intercambio térmico y la eficacia del circuito de refrigeración. Protección óptima del circuito de refrigeración contra la corrosión. Recomendado para los cárteres de aleaciones de magnesio, aluminio, para bloques de fundición así como para piezas de latón, cobre o bronce. Protección de la bomba de agua, evita la cavitación. Propiedades Anti-corrosión resistente a elevadas temperaturas y al paso del tiempo, Bajo consumo de inhibidores de corrosión. Compatible con las juntas, manguitos y componentes de plástico.

RECOMENDACIONES

MOTUL MoCool es un fluido refrigerante concentrado para ser mezclado con agua destilada para un uso inmediato.

Mezcla: 5% (20:1) de MoCool en 95% de agua destilada.

No utilizar el producto puro.

Puede ser mezclada con la mayoría de líquidos refrigerantes a base de mono etilenglicol.

Motul Ibérica, S.A. Se reserva el derecho de modificar las características generales que aparecen en esta ficha hasta el momento en que el cliente formula su pedido, sometido a nuestras condiciones generales de venta y garantía.

Motul Ibérica S.A. - Diputación, 303, 4ª planta - 08009 - Barcelona - 900.82.78.72 - sat@es.motul.com - 11/19

motul.com

Motul 1/2 FICHA TÉCNICA

Ilustración 25. Ficha Técnica del aditivo para refrigerar MOCOOL motul ⁴

⁴ (MOTUL, 2020)

Sin embargo la valoración de las propiedades anticorrosivas se debería efectuar con ensayos de laboratorio o en el banco de pruebas, y expresarla en pérdida de peso (mg/cm²) observada en una serie de plaquitas metálicas constituidas precisamente por los metales existentes en el sistema de refrigeración (acero, fundición, latón, cobre, aleación para soldar, aluminio y sus respectivas aleaciones). Es la única manera que tiene un equipo de comprobar si un líquido es mejor que otro ya que estas compañías no muestran los porcentajes de contenidos en sus envases.

BOMBA DE AGUA

La bomba de agua del motor analizado va accionada directamente con el movimiento del cigüeñal por lo que estará funcionando siempre que el motor está en marcha. A diferencia de las bombas de velocidad variable, en este motor la velocidad de giro de la bomba será siempre proporcional a la velocidad angular del cigüeñal. Mediante transformaciones por engranajes se obtiene una relación constante de velocidades angulares entre el cigüeñal y la bomba.

En la IMAGEN se observa a modo de esquema la bomba de agua de un KTM RC 250

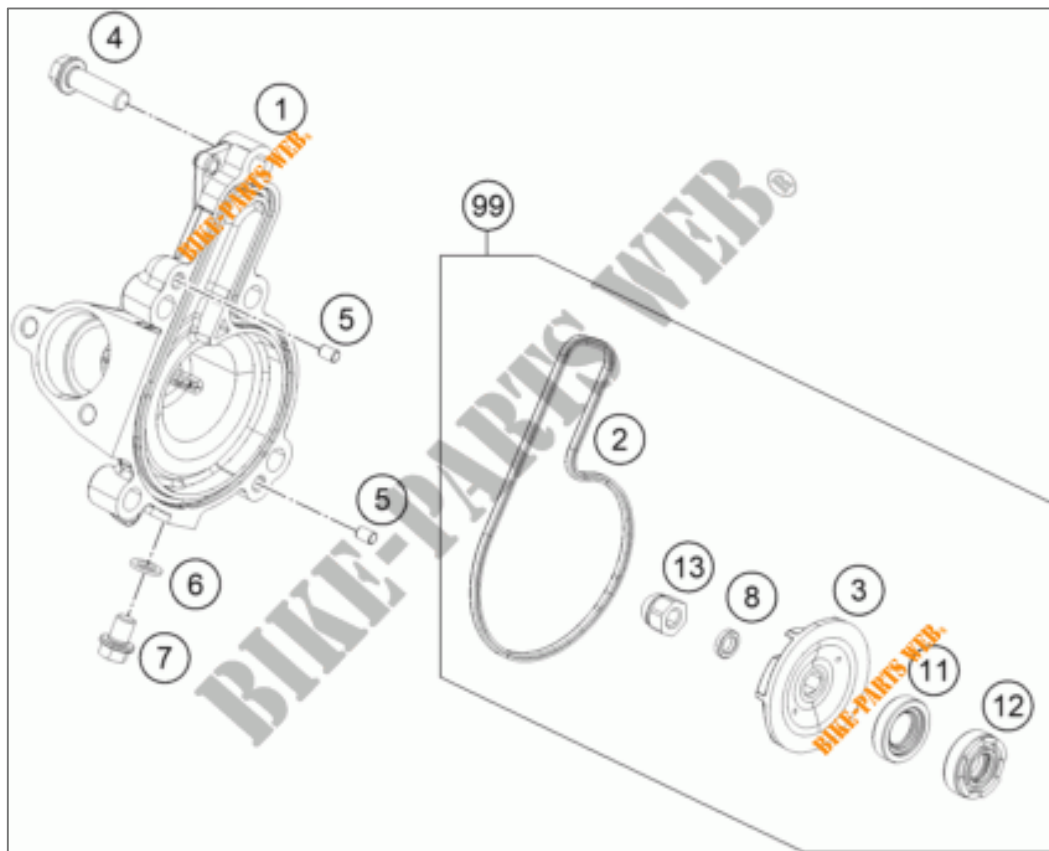


Ilustración 26. Esquema de la bomba de agua del motor KTM RC 250⁵

⁵ (BIKE-PARTS-WEB, 2021)

- #1 Tapa o Carcasa
- #2 Junta de la Tapa
- #3 Rodete
- #4 Tornillo Hexagonal M6X20
- #5 Pin paralelo
- #6 Junta de cobre
- #7 Tornillo M6X10
- #8 Arandela Espaciadora
- #11 Anillo de sellado eje 12x24x5, 5
- #12 Anillo reten eje 12x24x6
- #13 Anillo reten eje 12x24x6
- #99 KIT REPARACIÓN BOMBA DE AGUA

Este motor monocilíndrico no está diseñado para trabajar a altas revoluciones en la motocicleta de serie. Además en un vehículo de calle se entiende que deba enfrentarse a situaciones de un largo periodo de tiempo a baja velocidad, es decir, bajo régimen de giro del cigüeñal y por tanto de la bomba. Un ejemplo de esto son los semáforos o el tráfico en ciudad.

En cambio, en competición el motor gira a máximo rendimiento la mayor parte del tiempo moviéndose en un rango de revoluciones óptimo; desde que el par es máximo hasta que la potencia alcanza su pico, entre 7500 rpm y 10.000 rpm. Es decir, la bomba trabaja a una velocidad media mayor que la de diseño. Es por eso que se abre la opción de rediseñar el rodete impulsor de modo que aproveche mejor la velocidad angular que el cigüeñal le suministra y se logre aumentar el caudal impulsado. De este modo más agua circula por los tubos del radiador en menos tiempo y se aumenta la eficiencia de refrigeración.

Para lograr un mayor caudal se proponen tres opciones de mejora:

Aprovechando el alto régimen de giro, la primera es el estudio y modificación de la geometría del rodete. La segunda consiste en aumentar el tamaño de los álabes curvados en dirección contraria al movimiento manteniendo su forma. La tercera manera es incorporar una bomba de agua eléctrica que suplemente o sustituya a la bomba mecánica y suponga un caudal circulante mayor.

Esta última modificación es aplicable a motocicletas de competición que utilicen motores de serie potenciados. Por ejemplo, en el campeonato del mundo de Superbikes o de resistencia, esta modificación se implementa para reducir la temperatura del refrigerante en condiciones de calor extremas.

TERMOSTATO

El termostato que utiliza la KTM RC 250 de origen es de cera y la válvula se abre a partir de una temperatura del agua de 60 grados aproximadamente. Una vez estudiada su función en apartados anteriores se analiza si tiene alguna posibilidad de mejora.

El termostato como tal es un dispositivo casi imposible de mejorar, es ligero y su funcionamiento como válvula es más que correcto.

Sin embargo, a efectos prácticos el motor de competición solamente necesita calentarse antes de salir a pista, en adelante se debe obviar que siempre será necesario tener un flujo constante de agua circulando a través del motor y del radiador.

Encontramos pues 2 soluciones posibles que nos ayudarán a reducir el peso del sistema. La primera sería prescindir del termostato y por tanto del sistema by-pass. La segunda es en caso de querer conservar el termostato, aligerar el sistema de recirculación de agua.

RADIADOR

En los últimos diseños de automóviles de competición destacan las entradas frontales de aire que se sirven de las altas velocidades para el beneficio de los vehículos. Principalmente los diseños tienen un carácter aerodinámico para mantener los neumáticos en el suelo, pero a la vez, aprovechan el aire para enfriar ciertas partes que lo necesitan. Una de ellas es el radiador.

Al ser este el elemento principal del sistema de refrigeración es el elemento que más puede mejorar el comportamiento termodinámico del motor. Es por ello que se va a estudiar a fondo en este apartado con el fin de definir las mejores opciones.

El primer paso es analizar el radiador instalado en la motocicleta homologada para calle:



Ilustración 27. Radiador original de la KTM RC 250⁶

⁶ (boonstraparts.com, s.f.)

Optimización termodinámica del prototipo Motostudent 2020

Nombre del Modelo: RC 250
Nombre de la Marca: KTM
Altura del elemento: 110 mm
Anchura del elemento: 30 mm
Longitud del elemento: 250 mm
Material: Aluminio
Peso del elemento: 1.65 kg

Se trata de un intercambiador de carcasas verticales y flujo horizontal. Las carcasas cuentan con 3 orificios: en una de ellas se encuentra el tapón y el orificio de salida del refrigerante. En la otra se dispone el agujero que absorbe el líquido caliente proveniente del motor. Es suficiente como para refrigerar una KTM RC 250 en un uso habitual, pero no en competición.

El apartado de diseño que más libertades ofrece al ingeniero por lo que a parte de la geometría existen dos opciones a la hora de mejorar un intercambiador compacto: diseñar y fabricar un radiador específico que sustituya al de origen o, suplementar el radiador de serie con un radiador inferior más pequeño.

La eficacia que pueden lograr ambos métodos puede ser la misma, sin embargo, el hecho de diseñar un radiador compacto de cero implica menos peso y mayor facilidad de montaje. Se reduce masa en material y se reducen manguitos de conexión entre radiadores. Por otro lado, resulta más caro y en competición es habitual que en las caídas estos elementos se deban reemplazar a menudo.



Ilustración 28. Radiador suplementado de una Yamaha R3 de competición

A parte de decidir si fabricar un radiador completo o un suplementario se deben valorar los radiadores curvos como una de las novedades geométricas de los últimos años:

Los radiadores planos son los más comunes en el campo del motociclismo. A parte de ser más económicos, el hecho de ser tubos planos rectos hace un radiador más ligero

y fácil de sustituir en caso de caída. Últimamente, ha habido un interés creciente en radiadores curvos y están cada vez más instituidos como elementos necesarios en la competición de motocicletas. Por lo que se debe valorar esta geometría que es una de las novedades de los últimos años.



Ilustración 29. Radiador compacto curvo de una Honda CBR 900RR

Ocupan el mismo espacio frontal que los planos pero consiguen aumentar el área de contacto con el aire. El poder refrigerador aumenta a la vez que también aumenta el volumen de líquido que albergan.

En los últimos años se han ido viendo cada vez más en los circuitos radiadores con formas poco comunes como el de la figura 30.



Ilustración 30. Radiador de motocicleta de competición con aletas

El único objetivo de estos peculiares radiadores es aprovechar al máximo la carga aerodinámica del aire debido a las altas velocidades que alcanzan las motocicletas. No existen diseños universales sino que cada radiador está hecho al detalle para el prototipo en el que va a ser montado

VASO DE EXPANSIÓN Y TAPÓN DE PRESIÓN

Estos elementos son difícilmente mejorables y a diferencia del termostato son totalmente imprescindibles para el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración. Por lo tanto, las opciones a barajar son la utilización de un vaso de expansión correcto de un plástico de bajo peso y sin estar sobredimensionado.

Respecto al tapón de presión, el radiador del KTM RC 250 cuenta con un tapón de presión común de 0.9 bar,

Existen diferentes tapones de radiador en el mercado y se muestran en las siguientes imágenes a modo de valorar su implementación: tapones con aliviador, tapones con termómetro, tapones de alta presión.



Ilustración 31. Tapón de radiador con aliviador de presión ⁷



Ilustración 32. Tapón de radiador con termómetro ⁸



Ilustración 33. Tapón de radiador de alta presión ⁹

⁷ (GT2i.com, s.f.)

⁸ (motocrosscenter, 2021)

⁹ (Tunersanddrifters.com, s.f.)

MANGUITOS

En el combinado de manguitos existen dos aspectos clave a mejorar. El primero es el peso que estos suponen y el segundo son las pérdidas de carga que generan sus codos y uniones.

Respecto al peso se valoran los materiales a utilizar y se estudian sus propiedades. A fin de optimizar el peso, se debe intentar que los manguitos sean lo más cortos posible y de un material que resista las altas temperaturas pero no se exceda en el peso.

Las pérdidas de carga en los manguitos son una pérdida en el poder de refrigeración del sistema y pueden llegar a suponer un sobreesfuerzo de la bomba de agua y un mayor desgaste de los álabes del rodete. Otra forma de disminuir las pérdidas de carga es aumentar el diámetro interior de las mangueras.

No se puede despreciar que, desde que el líquido sale por la manguera conectada a la culata hasta que vuelve a entrar por la bomba de agua, interactuará con el ambiente intercambiando calor. Es en el radiador donde se liberará el 90% del calor del refrigerante, sin embargo, los propios manguitos se calentarán y también emitirán parte del calor del refrigerante al ambiente por convección. Una vez entendido esto se abre la posibilidad de incorporar aletas refrigeradoras a los manguitos tal y como muestra la siguiente figura:



Ilustración 34. Tramos de manguitos de aluminio con aletas refrigeradoras

5.3 Selección de mejoras

LÍQUIDO REFRIGERANTE

Respecto al fluido que será impulsado por el circuito refrigerador se valoran todas las opciones detalladas en el apartado anterior.

Para satisfacer una exigencia máxima del motor se precisa un fluido que fluya por los conductos con la menor resistencia y que a su vez esté previsto de las propiedades adecuadas para que no se formen espumas o que si se producen desaparezcan al instante.

Resulta evidente que el mejor líquido enfriador desde el punto de vista termodinámico será la mezcla de agua pura con aditivos orgánicos.

La decisión se basa en que el radiador se va a fabricar en aluminio. Mientras que el refrigerante inorgánico funciona mejor con acero y hierro, los refrigerantes orgánicos funcionan mejor con aluminio. Además, son más estables con el paso del tiempo y son biodegradables.

Pese a parecer estar la decisión tomada, hemos de atender al fin y al uso que se le va a dar al sistema a diseñar. Este líquido circulará para enfriar un motor KTM RC 250 en una competición que se disputa dentro del marco legislativo de la organización. En el apartado D.12.3 Sistemas de refrigeración líquida de la Moto Engineering Foundation disponen dos artículos;

D.12.3.1 Sólo se podrá utilizar agua destilada como líquido refrigerante.

D.12.3.2 Está prohibida la utilización de aditivos en el agua destilada.

Por lo que queda las opciones de elección quedan limitadas a un solo líquido: agua destilada.

Esta normativa está implementada con objetivo de implementar la seguridad. En el caso de que se derramase líquido anticongelante en la trazada la película de líquido haría que el asfalto perdería sus propiedades de “grip” con las gomas de los neumáticos y la pista se convertiría en una pista de patinaje. Estas situaciones resultan de alto riesgo para los pilotos que vienen rodando detrás. Existen soluciones a este problema y se basan en no utilizar glicol pero manteniendo los aditivos anti-corrosión en agua destilada. Un ejemplo muy usado por aficionados y en competiciones amateur es el On Track Coolant de Ceroil.

	ADITIVO REFRIGERANTE PARA COMPETICIÓN EN ASFALTO – ON TRACK COOLANT 5L
	Aditivo Refrigerante para Competición desarrollado especialmente para su uso sobre asfalto. Fluido incoloro, refrigerante, formulado sin glicol y con aditivos anti-corrosión con base H2O desmineralizada.
	Protección de 0 a 112°C. NO RESBALA SOBRE EL ASFALTO Y DISMINUYE LA TEMPERATURA DEL MOTOR HASTA EN 5°C.
	También disponible en 1L
	31,73€ 26,22€

Ilustración 35. Aditivo refrigerante para competición en asfalto

Este refrigerante asegura un contenido en agua ultra pura desmineralizada, no contiene ningún tipo de Glicol ni aditivo graso. Cuenta con un calor específico de más de 4.000 J/kg. °C a 90 grados centígrados asegurando un máximo poder refrigerante y con protección anti-corrosiva. En nuestro caso, en competición no es necesario un líquido con baja temperatura de congelación por lo que este líquido no está preparado para trabajar a temperaturas bajo cero. La organización no considera esta opción segura para los pilotos por lo que el líquido elegido debe ser agua destilada pura.

BOMBA DE AGUA

Como se observa en la ilustración 37, se trata de un rodete centrífugo de impulsor semiabierto.



Ilustración 36. Fotografía de la bomba de agua original del KTM RC 250 con carcasa



Ilustración 37. Fotografía de la bomba de agua original del KTM RC 250 sin carcasa

Se valoran las opciones comentadas en el apartado anterior a modo de encontrar la mejor solución para el KTM RC 250

Las bombas de funcionamiento eléctrico están ampliamente extendidas en la fabricación de automóviles de alto rendimiento. Sin embargo, en el mundo del motociclismo no se suelen implementar este tipo de dispositivos. El principal motivo es que los motores utilizados en competición son diseñados al detalle, se prescinde de este sistema para reducir peso y se compensa con una velocidad de bomba y diseño de rodete óptimos. En menor medida se siguen usando en algunas competiciones de SuperBike que utilizan motores de origen en motos de carreras, en estos casos y en situaciones extremas puede ser necesario un extra de caudal para refrigerar el motor. Por ejemplo, en el circuito de Losail en Qatar, se han llegado a alcanzar temperaturas de 60 grados centígrados a la altura del motor. En estos casos la única solución para refrigerar, desde el punto de vista del bombeo, es aumentar el caudal y el método más rápido y efectivo es la suplementación del circuito de bombeo con un motor eléctrico. Sin embargo en nuestro caso se descarta ya que las condiciones a las que se va a enfrentar el motor son conocidas y se prescinde de este sistema para ahorrar peso.

La bomba de agua de origen se trata de un rodete centrífugo de impulsor semiabierto. Y la mejora que se escoge es la modificación del tamaño los álabes curvados, de modo que aprovechando el alto régimen de giro sean capaces de impulsar mayor caudal de fluido. Se observa que el espacio que deja la tapa de la bomba es suficiente para implementar esta mejora y su montaje resulta sumamente sencillo. Se descarta la modificación de la forma de los álabes ya que resultaría mucho más complicado extraer conclusiones de si se ha mejorado el caudal con esa configuración.

Se diseña por tanto el mismo rodete, pero escalado y aumentado de tamaño un 25%.

Una vez diseñado el prototipo se fabrican en impresión 3D. Se debe utilizar un filamento que soporte altas temperaturas y mantenga su resistencia mecánica.

Una opción es utilizar PEAK (poliarletercetona). Este plástico semicristalino tiene una temperatura de extrusión de 250 ° centígrados y en cortos periodos de tiempo puede aguantar temperaturas de hasta 350 grados centígrados. El ULTEM es un filamento

más asequible que el PEAK, pero tiene una resistencia al impacto más baja, ha llegado incluso a recibir certificaciones aeroespaciales que lo han convertido en el material de referencia cuando se trata de imprimir en 3D piezas de plástico con alto rendimiento. El PEEK destaca por tener una mayor resistencia al impacto y una mayor temperatura límite de exposición que el ULTEM, pero también es más caro que el ULTEM. Por lo tanto, cuando la resistencia mecánica o la resistencia a la temperatura no es absolutamente crítica, el ULTEM puede ser la opción más rentable, de modo que las aplicaciones de los materiales a menudo se superponen.

A efectos prácticos se va a realizar el rodete en ULTEM por los siguientes motivos: Tiene una alta resistencia específica que es comparable a ciertos tipos de aluminio y en la industria aeronáutica pese a no utilizarse en partes críticas, se utiliza como sustitución de plásticos más pesados y aluminios. Cuenta con numerosas certificaciones de distintas administraciones y agencias gubernamentales, sobre todo en EE.UU. Además de su menor precio y su facilidad de impresión.

No resultaría mucho más caro el filamento de PEEK, sin embargo supone un desafío imprimir con este material. No reacciona bien ante las fluctuaciones de temperatura y no absorbe tanta humedad en comparación con otros materiales. Además precisa de una cámara de calor cerrada donde utilizar la impresora, de la cual no se dispone.

TERMOSTATO

De entre las dos opciones expuestas en apartados anteriores se escogerá la opción de prescindir del termostato

En consecuencia, deja de ser necesario un sistema de by-pass por lo que se reduce el peso de la instalación de refrigeración, se prescinde de tramos de manguitos y del termostato en sí. Se reducen además posibles fugas por las diferentes conexiones de mangueras así como pérdidas de carga en el circuito.

20 minutos antes de que la motocicleta empiece a rodar los ingenieros de pista se encargan de calentarla a relentí hasta que el agua alcanza la temperatura óptima de funcionamiento. En caso de necesitar acelerar este proceso existen dos formas: recurrir a tapar la entrada de aire al radiador con cinta americana o proporcionar a los tubos del intercambiador aire caliente con un secador industrial.

TAPÓN DE PRESIÓN

“El tapón del radiador tiene dos puntos de sellado que deben quedar bien posicionados sin tener que forzar al colocarlos. El estado de las gomas del tapón debe ser óptimo, si no, queda inutilizada la función de este elemento ya que estas juntas son las encargadas de bloquear el paso del líquido”¹⁰. Por lo que la única mejora que se va a aplicar, a parte de colocar un tapón de presión límite algo mayor al de origen, es asegurar un buen mantenimiento. Se escoge un tapón de 1.3 bar, es decir, aguantará una presión en el circuito de 1.3 bares y empezará a descargar presión cuando abra a partir de presiones más elevadas.

¹⁰ (<https://fierrosclasicos.com/la-tapa-del-radiador/>, s.f.)

MANGUITOS

El material elegido para tener unos manguitos de bajo peso es el caucho de silicona. Es un material ampliamente utilizado en la fabricación de aislantes, es repelente al agua y soporta altas temperaturas sin deformarse a largo plazo (hasta 250° centígrados). Tiene excelentes propiedades al envejecimiento. No resiste aceites pero este aspecto es irrelevante ya que en ningún caso circulan aceites por este circuito. En cambio es el que mejor resultado proporciona en presencia de agua caliente. Tal y como indica se indica en <https://www.lekun.es/tipos-de-caucho>

Con el fin de disminuir al mínimo las pérdidas de carga se va a implementar un circuito que cuente con la mayoría de manguitos rectos o en su defecto con el ángulo más llano posible. De este modo a parte de reducir pérdidas de carga se reduce peso evitando curvas innecesarias. Se deben evitar a toda costa los pinzamientos de manguito ya que estos pueden provocar cavitación en el sistema. Es evidente que todas estas mejoras deben ser viables a aplicar en el prototipo y a veces por disposición de los distintos elementos es imposible evitar algún codo pronunciado o algún manguito más largo de lo que debería. En el caso que nos ocupa, no existirá este problema ya que, al diseñar un radiador desde cero, tanto la salida como entrada del agua se diseñan enfocadas en dirección correcta a las tomas de manguera.

Se van a incorporar al circuito dos tramos de manguitos con aletas a fin de mejorar aún más la refrigeración. Estos se colocan antes de la entrada del radiador y después de la salida e intercambiarán calor con el aire ambiente. El material de estos tramos no será de caucho, sino de aluminio, tanto el tubo como las aletas. Existen modelos comerciales que cumplen con estas especificaciones. En la siguiente figura se muestra el elegido, proporcionado por la tienda Comercial Martinez:

Características técnicas:

- Longitud total 103mm
- Diámetro de las aletas: 30mm
- Longitud de las aletas refrigeradoras: 57mm
- Diámetro interior de boquilla 17mm
- Diámetro exterior de boquilla 20mm



Ilustración 38. Tramo de manguito de aluminio con aletas refrigeradoras de Comercial Martinez

OTRAS MEJORAS

A parte de mejorar los componentes ya existentes se podría valorar la implementación de refrigeración por aceite al motor del prototipo del mismo modo que lo hace la Suzuki SV 650 (ilustración 11). Pese a la gran mejora que supondría la normativa de competición no permite hacer modificaciones en el cárter por lo que no se puede valorar esta opción.

Otra mejora que se va a implementar a la hora de acelerar el proceso de montaje del radiador es utilizar tornillos de cabeza hexagonal para el anclaje del sistema. Este tipo de tornillos se aprietan o aflojan con la misma herramienta con la que se desmonta gran parte de la tornillería de la motocicleta. La facilidad de sustituir componentes es un detalle muy importante a la hora de cualquier imprevisto y cualquier ingeniero de diseño debería tenerlo en cuenta.

En el circuito el asfalto está lleno de goma que van dejando los neumáticos en forma de pequeñas pelotas. Estos residuos suelen acabar entre las aletas del radiador. Existen modelos comerciales de rejillas protectoras para evitar esto. Sin embargo, se decide no implementarlo para reducir costes y peso. Se sustituye este componente por un correcto mantenimiento del radiador cada vez que sale de pista. Ya sea desmontándolo y lavándolo para eliminar residuos o limpiando los restos de goma con una pistola de aire a presión.

Otra opción que se descarta por motivos de fabricación es la de reducir los codos de las boquillas del radiador tal y como se muestra en la ilustración 39. Esto reduciría en gran medida las pérdidas de carga del circuito pero como se verá en el apartado 5.4.2 no es posible su fabricación



Ilustración 39. Radiador de competición sin codos en las boquillas

RADIADOR

Se valoran ambas ideas en el taller con el prototipo delante y modelado en 3D en un ordenador a modo de tomar una decisión. Se observa que al trazar un plano paralelo y coincidente con la disposición teórica del radiador queda al límite con el tubo de escape por donde circulan gases a alta temperatura. Estos colectores o tubos están diseñados para soportar temperaturas de más de 1.000 grados centígrados y son una fuente de calor que se debe alejar del radiador. Debido a esta limitación de diseño resulta muy complicado implementar un radiador curvo. Además, este radiador se diseña para ser fabricado por lo que se debe estudiar la viabilidad.

La fabricación de un radiador es un proceso complejo tal y como se ha explicado en el apartado 3.2.4. Radiador. Se contacta con dos empresas para la fabricación del mismo: Radiadores Sanjos Delegación Levante (Valencia) y Radiadores Taleo Tecnoracing (Madrid).

Ambas empresas estaban dispuestas a estudiar los planos obtenidos en este estudio y fabricar el radiador. Sin embargo, una vez hechos los planos desde Radiadores Taleo Tecnoracing se comunica que sus talleres van con retraso con otros pedidos y no son capaces de fabricar el intercambiador antes de la competición. La empresa elegida para la fabricación es Radiadores Sanjos Delegación Levante, 40 años como especialistas en el sector los avalan y los sitúan como referente a nivel nacional en la refrigeración aplicada a la automoción en todas sus vertientes. Esta empresa, por norma general, no trabaja con paneles curvos y se comenta con ellos la idea de implementar uno. Para ellos resulta excesivamente caro fabricar un radiador curvo, además el ángulo de curvatura del que se puede disponer en el prototipo es muy limitado por lo que no vale la pena fabricar cada uno de los tubos y tiras de aletas con una pequeña curvatura ya que la ganancia de superficie de contacto va a ser mínima.

Respecto al material a utilizar en la fabricación se ha elegido el aluminio. Existen modelos comerciales muy efectivos elaborados en cobre ya que las aletas de este material disipan mejor el calor. El descarte del cobre se debe principalmente a que su densidad es mayor que tres veces la del aluminio, motivo suficiente para que se haya extinguido su uso en competición.

Se decide optar por paneles planos por lo que en el siguiente apartado se van a diseñar las dos opciones mencionadas en paneles intercambiadores de tubos planos de aluminio. El primer intercambiador será un radiador compacto de aluminio que sustituirá al de origen. El segundo, será un radiador suplementario que se montará debajo del radiador de origen y se anclará directamente a este mediante pletinas de aluminio.

Se utilizará el radiador principal en la competición, sin embargo, en caso de caída se dispondrá de un segundo sistema de radiadores. En el apartado de presupuesto se desdibujará la diferencia de precios y luego se valorará si es rentable el ahorro de peso.

5.4. Dimensionado del panel del radiador

Para los siguientes cálculos de dimensionado, se toma la siguiente geometría base: Un radiador de panel rectangular y flujo horizontal. El objetivo de este apartado es conseguir optimizar la geometría del radiador para que sea capaz de refrigerar al motor KTM RC 250 en un circuito de carreras. Se va a modelar la geometría de la ilustración 39 para su posterior cálculo numérico con las recomendaciones del fabricante

5.4.1. Modelado del radiador

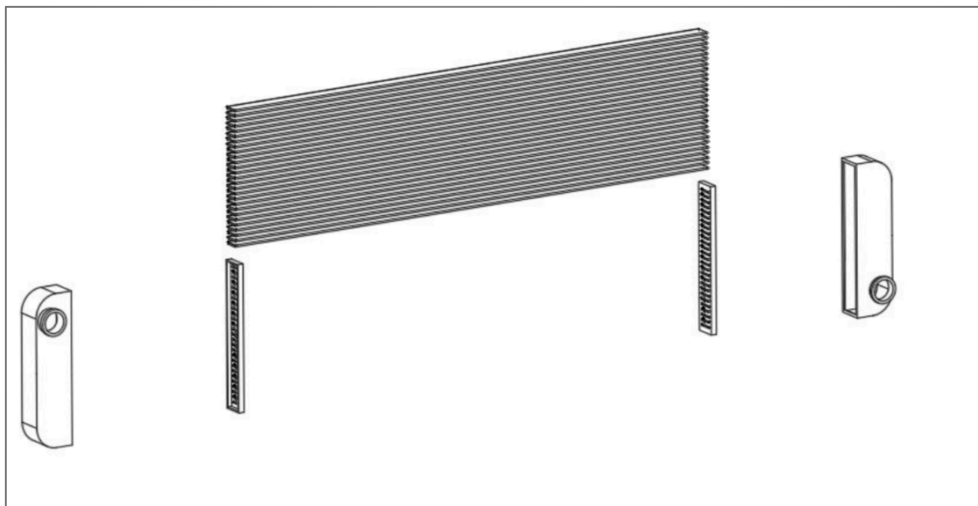


Ilustración 40. Geometría base del radiador

Se quiere mejorar el sistema de refrigeración minimizando su peso pero cumpliendo los requisitos termodinámicos más extremos. Por tanto, una función a optimizar es:

$$\text{Masa}_{\text{total}} = \text{masa}_{\text{tubos}} + \text{masa}_{\text{aletas}} + \text{masa}_{\text{carcasa}}$$

Optimización termodinámica del prototipo Motostudent 2020

Ecuación 1. Ecuación masa total

El radiador está siendo diseñado para ser utilizado en Alcañiz, en la estación más calurosa del año dónde en el mes de julio se alcanzan temperaturas de hasta 36 grados centígrados¹¹. Se toma esta temperatura del aire ambiente para el estudio ya que es la más crítica. Si refrigera lo suficiente a esa temperatura, todo serán ventajas en cuanto sea menor.

Se indican pues las condiciones de entrada de los fluidos al intercambiador:

En el caso del aire:

El circuito de Motorland se encuentra a 375 metros sobre el nivel del mar¹². A esta altitud se puede hallar la presión atmosférica con la fórmula siguiente:

$$P(\text{mbar}) = 1013.25 \cdot (1 - 0,0000225577 \cdot H)^{5,2559} \quad 13$$

Ecuación 2. Hallar la presión atmosférica

Una humedad relativa crítica en esta estación del año es como mínimo del 50%. Con este dato y la presión atmosférica se halla la densidad más desfavorable del aire del circuito en el mes de julio que es de $1,129 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$P_{\text{aire}} = 0,95 \text{ atm}$$

$$T_{\text{aire}} = 36^\circ\text{C}$$

$$Cp_{\text{aire}} = 1 \text{ KJ} / (\text{Kg} \cdot \text{K})$$

Para el agua destilada:

Al incorporar un tapón de presión de 1,3 bar, conocemos la presión del refrigerante.

$$P_{\text{refrigerante}} = 1,283 \text{ atm}$$

La temperatura de salida del agua del motor se determina en base a la máxima temperatura que se registró en el circuito de Cheste, Valencia en los meses de agosto del pasado año utilizando el radiador de serie: 95 ° centígrados

$$T_{\text{refrigerante}} = 95^\circ\text{C}$$

$$Cp_{\text{refrigerante a } 95^\circ\text{C}} = 4,2 \text{ KJ} / (\text{Kg} \cdot \text{K})$$

¹¹ (IAEST, 2019)

¹² (MOTORLANDARAGON, 2015)

¹³ (A. Picard, 2008)

Conociendo la geometría mostrando en la Ilustración 39 la expresión para el caudal de aire será:

$$\dot{m}_{\text{aire}} = \rho_{\text{aire}} \cdot v_{\text{aire}} \cdot \text{Sección}_{\text{paso}}$$

Ecuación 3. Caudal de un fluido a partir de su densidad, velocidad y sección de paso

- v_{aire} : La velocidad del aire es, en primera aproximación, la que lleva la moto en un determinado punto de estudio.
- ρ_{aire} : La densidad del aire ha sido hallada mediante la ecuación 1.
- $\text{Sección}_{\text{paso}}$: La sección de paso depende de la longitud y altura del panel del radiador.

Una vez analizados los fluidos antes de la entrada del radiador se escoge el método NTU¹⁴. Esta metodología está correctamente empleada en intercambiadores de calor para determinar las temperaturas finales de los fluidos de trabajo cuando se conoce su superficie de contacto, como sucede cuando se quiere seleccionar, para un determinado uso, un intercambiador entre varios disponibles.

Para el método NTU necesitamos el término $\frac{1}{(U \cdot A)}$ el cual contiene el coeficiente U y área A de transferencia global. Debemos conocer para ello los coeficientes de película hc de ambos fluidos, así como sus superficies de paso y la resistencia térmica total R_{total} , incluyendo las pérdidas por ensuciamiento, $R_{\text{ensuciamiento}}$

Para obtener los coeficientes de película de ambos fluidos es necesario obtener los diámetros hidráulicos D_h de estos, así como sus números de Nusselt.

GEOMETRÍA FLUIDO REFRIGERANTE

De la definición del coeficiente de película se desprende la siguiente ecuación:

$$h_{\text{refrigerante}} = \frac{\text{Nusselt}_{\text{refrigerante}}}{D_{h_{\text{refrigerante}}} \cdot K_{\text{refrigerante}}}$$

Ecuación 4. Cálculo del coeficiente de película del refrigerante

El número de Nusselt del refrigerante será obtenido mediante la correlación Dittus – Boelter, la más recomendable para nuestros intervalos de temperatura y tipo de refrigeración.

¹⁴ Método del Número de Unidades de Transferencia

Optimización termodinámica del prototipo Motostudent 2020

$$Nusselt_{refrigerante} = 0,023 \cdot (Re_{refrigerante}^{0,8} \cdot Pr_{refrigerante}^{0,3})$$

Ecuación 5. Número de Nusselt del refrigerante para fluidos que se enfrían en régimen turbulento durante conducción turbulenta

$$Re_{refrigerante} = \left(Sección_{paso\ refrigerante} \cdot m_{refrigerante} \cdot \frac{D_{h\ refrigerante}}{Viscosidad} \right) \cdot N_{tubos}$$

Ecuación 6. Número de Reynolds del refrigerante

El diámetro hidráulico dependerá directamente de la relación entre la sección de paso y el perímetro mojado por el líquido refrigerante.

$$D_{h\ refrigerante} = 4 \cdot \left(\frac{Sección_{paso\ refrigerante}}{Perímetro_{mojado\ refrigerante}} \right)$$

Ecuación 7. Diámetro hidráulico del refrigerante

Respecto a la circulación del agua destilada por el radiador, conocemos que el flujo viaja a través de tubos aplanados con radio de acuerdo interior R_i separados por filas de aletas. Como se observa en la Ilustración 40, el ancho del tubo se corresponde con el ancho de aleta. Esto no debe ser precisamente así, el ancho de aleta podría ser menor que el ancho del tubo. Sin embargo, esta configuración no es para nada óptima ya que el ahorro de peso no sería relevante frente a la pérdida de capacidad de intercambio de calor.

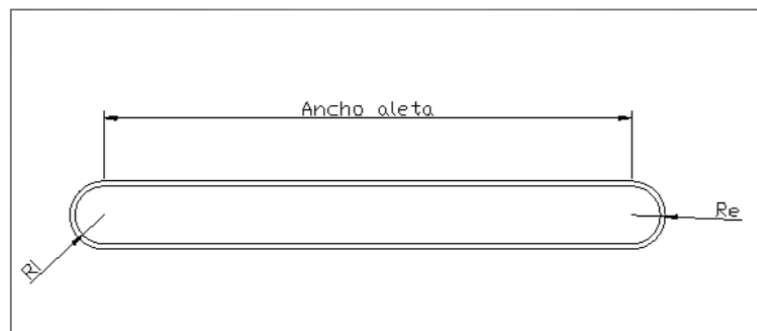


Ilustración 41. Dimensiones del tubo de aluminio ¹⁵

Con estas dimensiones establecidas se pueden enunciar las fórmulas geométricas para obtener el perímetro que moja el refrigerante y que sección de paso recorre.

$$Perímetro_{mojado\ refrigerante} = 2 \cdot \pi \cdot Ri + Ancho_{aleta} \cdot 2$$

Ecuación 8. Perímetro mojado de refrigerante

¹⁵ (Carvajal, 2017)

$$\text{Sección}_{\text{refrigerante}}^{\text{paso}} = \left(\frac{2\pi \cdot R_i^2}{4} \right) + 2 \cdot R_i \cdot \text{Ancho}_{\text{aleta}}$$

Ecuación 9. Sección de paso del refrigerante

Una vez resueltas las ecuaciones 7 y 8 se conocen todas las variables de la ecuación 6 y, por tanto, se puede obtener el diámetro hidráulico del refrigerante. Si se desea saber el área total de contacto de los tubos de aluminio con el refrigerante se utiliza la ecuación 9:

$$\text{Area}_{\text{refrigerante}}^{\text{total contacto}} = N_{\text{tubos}} \cdot \text{Perimetro}_{\text{refrigerante}}^{\text{mojado}} \cdot \text{Largo}_{\text{tubos}}$$

Ecuación 10. Área de contacto del refrigerante con la totalidad de los tubos

A modo de obtener una relación entre el número de tubos y la distancia entre ellos, se utiliza uno de los parámetros principales a calcular; el alto del radiador.

$$N_{\text{tubos}} = \frac{\text{Alto}_{\text{radiador}}}{\text{distancia}_{\text{tubos}}}$$

Ecuación 11. Cálculo del número de tubos

$$\text{distancia}_{\text{entre tubos}} = \text{Altura}_{\text{aleta}} + 2 \cdot R_e + \text{espesor}_{\text{aleta}}$$

Ecuación 12. Relación geométrica de la distancia entre tubos

Por parte del refrigerante el problema ha quedado modelado con las siguientes variables:

Ancho_{aleta}

R_i

R_e

espesor_{aleta}

altura_{radiador}

GEOMETRÍA ALETAS

Respecto a la geometría de las aletas consideraremos que éstas tendrán el aspecto de sierra triangular. Es muy buena aproximación pese a no presentar la forma exacta de la ilustración 42.

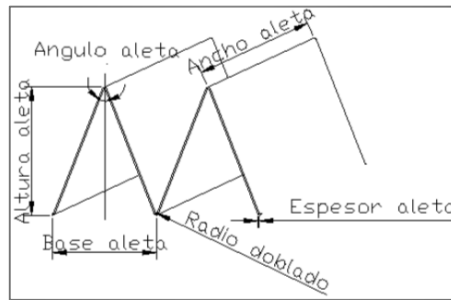


Ilustración 42. Aproximación teórica de las aletas comerciales¹⁶

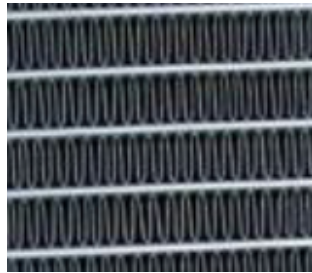


Ilustración 43. Aletas comerciales de Radiadores Sanjos Delegación Levante

Se procede de la misma manera que se ha modelado la parte de líquido refrigerante. En primer lugar, se enuncia la ecuación del coeficiente de película para el lado del aire.

$$hc_{\text{aire}} = \frac{Nusselt_{\text{aire}}}{Dh_{\text{aire}} \cdot K_{\text{aire}}}$$

Ecuación 13. Cálculo del coeficiente de película del refrigerante

Para obtener el número de Nusselt del aire en este caso se aproximará el flujo de aire a través de las aletas a la correlación de flujo externo sobre placa plana:

$$Nusselt_{\text{aire}} = 0,664 \cdot (Re_{\text{aire}}^{0,5}) \cdot \left(Pr_{\text{aire}}^{\frac{1}{3}} \right)$$

Ecuación 14. Número de Nusselt del aire que fluye sobre las aletas

De manera análoga al caso del refrigerante dimensionaremos el medio por el cual circulará el fluido enfriador a modo de conocer el número de Reynolds y Prandtl.

$$Re_{\text{aire}} = \left(\text{Sección}_{\text{paso aire}} \cdot m_{\text{aire}} \cdot \frac{Dh_{\text{aire}}}{\text{Viscosidad}} \right) \cdot N_{\text{tubos}}$$

Ecuación 15. Fórmula del número de Reynolds para el aire

¹⁶ (Carvajal, 2017)

En la ilustración 41 se puede observar que cada aleta tiene también un perímetro mojado y una sección de paso de aire. Se va a tomar la forma de la aleta triangular ya que de no hacerlo así habría que tener en cuenta el espesor de aleta para la correlación geométrica. Al ser el espesor de esta tan pequeño la distancia entre tubos no variará, esta suposición es correcta y no alterará apenas el resultado final. Por lo que toma el mismo valor la altura de la aleta que la separación entre tubos.

$$\text{Perímetro}_{\text{mojado aire}} = 2 \cdot \frac{\text{Altura}_{\text{aleta}}}{\cos\left(\frac{\text{Ángulo Aleta}}{2}\right)}$$

Ecuación 16. Correlación geométrica del perímetro mojado de aire

$$\text{Sección}_{\text{paso aire}} = \text{Base}_{\text{aleta}} \cdot \frac{\text{Altura}_{\text{aleta}}}{2}$$

Ecuación 17. Correlación geométrica de la sección de paso de aire

El diámetro hidráulico del aire tiene la misma fórmula que el del refrigerante (ecuación 6):

$$D_{h \text{ aire}} = 4 \cdot \left(\frac{\text{Sección}_{\text{paso aire}}}{\text{Perímetro}_{\text{mojado aire}}} \right)$$

Ecuación 18. Diámetro hidráulico del aire

$$\text{Area total}_{\text{aire}} = 2 \cdot N_{\text{filas}} \cdot N_{\text{aletas}} \cdot \text{Perímetro}_{\text{mojado aire}} \cdot \text{Ancho}_{\text{aleta}}$$

Ecuación 19. Área de contacto del aire con la totalidad de aletas

De este modo, queda fijado también el problema del intercambiador por parte del aire. Una vez modelados los conductos por los que circularán los fluidos ya podemos obtener ambos coeficientes de película: hc_{aire} y $hc_{\text{refrigerante}}$.

Finalmente, faltaría considerar la transmisión por conducción del propio aluminio al aire, conducción tanto de las aletas R_{aletas} (correlación de placa plana) como de los tubos R_{tubos} (correlación de tubo); sin olvidar el factor de ensuciamiento o mantenimiento. Sin embargo, estos factores son despreciables por diversos motivos justificados. Este radiador va a ser implementado en una motocicleta de competición, y por tanto su velocidad va a permitir al radiador aprovechar un generoso caudal de aire que retirará más del 95% del calor evacuado por convección. El aire es un mal conductor de calor, tiene baja transmisividad y absortividad del mismo. No absorbe ni transmite calor, sino que, permite que el calor escape cambiando su densidad o temperatura. Además, el dimensionado de radiadores entra dentro del tipo de

problemas iterativos. Numerosas ecuaciones y correlaciones geométricas relacionan el comportamiento de los fluidos con el entorno por el que circulan, es por eso que añadir la transmisión por conducción aplicando porcentajes de área resulta demasiado complejo a no ser que se cuente con un algoritmo o un programa específico. Con todo esto ya estamos en disposición de completar la ecuación buscada desde un inicio.

$$\frac{1}{(U \cdot A)} = \left(\frac{1}{h_{c_{\text{refrigerante}}} \cdot \text{Area total contacto refrigerante}} \right) + \left(\frac{1}{h_{c_{\text{aire}}} \cdot \text{Area total contacto aire}} \right)$$

Ecuación 20. Ecuación del método NTU aplicada al intercambiador sometido a estudio

Antes de comenzar con los cálculos numéricos, se retoma la ecuación 1 y se expresa como obtener el valor de sus factores a partir de relaciones geométricas.

$$Masa_{total} = masa_{tubos} + masa_{aletas} + masa_{carcasa}$$

$$masa_{aletas} = \rho_{aluminio} \cdot Ancho_{aleta} \cdot N_{filas\ aletas} \cdot (\text{Perímetro}_{aleta} \cdot espesor_{aleta} \cdot N_{aletas\ por\ fila})$$

Ecuación 21. Fórmula obtención de la masa de las aletas

$$masa_{tubos} = \rho_{aluminio} \cdot Largo_{tubos} \cdot N_{tubos} \cdot [\pi \cdot (R_e^2 - R_i^2) + 2 \cdot (R_e - R_i) \cdot Ancho_{aleta}]$$

Ecuación 22. Fórmula obtención de la masa de los tubos

$$masa_{carcasa} = espesor_{carcasa} \cdot [(\text{Alto}_{carcasa} \cdot 1,3 \cdot Ancho_{aleta}) + (2 \cdot Ancho_{carcasa} \cdot \text{Alto}_{carcasa})]$$

Ecuación 23. Fórmula obtención de la masa de la carcasa

5.4.2. Cálculos de la geometría del radiador

Antes de proceder con los cálculos numéricos, se visita al fabricante para mostrarle el proyecto y que proporcione cierta información clave para que la fabricación del radiador sea viable. Desde Radiadores Sanjos se proporciona la siguiente información:

- Valor aconsejado para el caudal de refrigerante del sistema en cuestión: $\dot{m}_{refrigerante} = 0.81 \text{ kg / s}$
- El factor escalar 1,3 de la Ecuación 22 se debe a que las carcasas laterales deben poder envolver el ancho de aleta. Es para asegurar su fabricación.
- El alto de la carcasa se puede aproximar al alto del radiador

$$Alto_{carcasa} = Alto_{radiador} = N_{tubos} \cdot (R_e \cdot 2 + Altura_{Aletas} + Espesor_{Aletas})$$

- El número de tubos se corresponde con el número de filas de aletas
- El catálogo de elección geométrica actual a fin de que el radiador llegue a la competición está limitado a los siguientes valores:

Espesor aletas aluminio	0,01 mm
Ancho aleta	33,5 mm
Altura aleta	9,00 mm
Radio interior de los tubos	0,90 mm
Radio exterior de los tubos	1,10 mm
Espesor carcasa	1,50 mm

- Desde la empresa hacen hincapié en que los planos de fabricación tengan todas las dimensiones acotadas claramente con cotas no necesarias a modo de facilitar a los operarios la fabricación.
- Tanto la salida como la entrada al radiador deben estar provistas de boquillas tubulares y en ningún caso como las implementadas en la ilustración 39.

Una vez conocidas las limitaciones de fabricación introducimos todas las correlaciones del apartado anterior en una hoja Excel que será la encargada de proporcionar los valores clave para el dimensionado: El número de tubos y la longitud de los mismos.

Las incógnitas que quedan para obtener el coeficiente de película del aire son: el caudal de aire que atraviesa el radiador y el ángulo de aleta que se obtiene a partir del ancho y la altura de las mismas. El número de Prandtl para el aire a la temperatura de entrada es de 0,71.

Se procede del mismo modo con el coeficiente de película del refrigerante en la hoja Excel y las únicas incógnitas en estos términos son ahora el número de tubos.

Al completar la ecuación 20 con los valores conocidos, aparece como nueva incógnita el largo de los tubos. Esta incógnita se encuentra en la ecuación 10 del área total de contacto del refrigerante con el aluminio de los tubos.

Para el término $\frac{1}{(U \cdot A)}$;

La condición fundamental es igualar el calor de refrigeración requerido por la máquina, al calor absorbido por el aire Q_1 y al calor cedido por el líquido refrigerante Q_2 . Tal y como se ha comentado en apartados anteriores el calor que debe ceder el motor representa un 305 del poder calorífico de la gasolina y por lo tanto: $Q_r = 22,92Kw$

$$Q_1 = \dot{m}_{\text{aire}} \cdot C_{p\text{aire}} \cdot (T_{\text{entrada}} - T_{\text{salida}})$$

Ecuación 24. Calor absorbido por el aire

$$Q_2 = \dot{m}_{\text{refrigerante}} \cdot C_{p\text{refrigerante}} \cdot (T_{\text{entrada}} - T_{\text{salida}})$$

Ecuación 25. Calor cedido por el líquido refrigerante

Las últimas ecuaciones que faltan para completar el sistema son las propias del método NTU:

$$\varepsilon = 1 - e^{\left(\frac{NTU^{0.22}}{C} \cdot (e^{-C \cdot NTU^{0.78}} - 1)\right)}$$

Ecuación 26. Fórmula de la efectividad NTU

Una vez medidas todas las ecuaciones en el Excel, la hoja arroja el resultado siguiente:

Número de tubos: 21,3 mm

Longitud de tubos: 275,2 mm

Además se obtiene a su vez la superficie de panel necesaria : 0,063 metros cuadrados

5.5. Diseño a ordenador de los radiadores

Para el diseño de los dos radiadores se han utilizado dos programas de ordenador diferentes. Para el radiador principal se ha utilizado el Autodesk Inventor Professional, mientras que para el radiador suplementario se ha utilizado el programa Solid Works Education.

Radiador principal

Se diseña en consecuencia de los datos obtenidos en el apartado anterior, 22 tubos de longitud 275 milímetros. (PLANO 1)

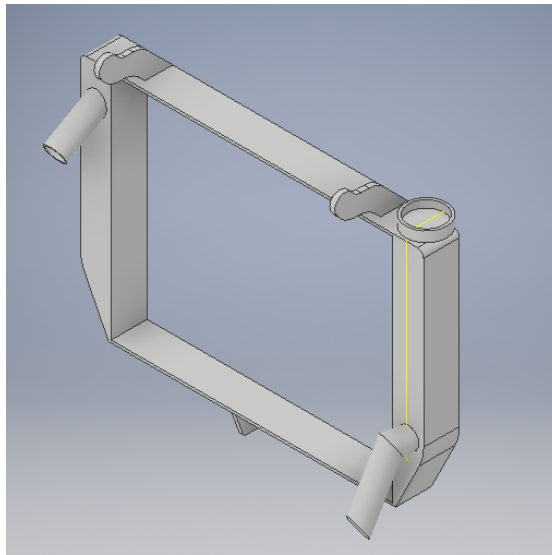


Ilustración 44. Radiador principal en modelado 3D

Radiador suplementario

Para el diseño de este radiador suplementario se aumenta la superficie conjunta de panel por diversas razones:

Este sistema solo constará de un manguito refrigerador con aletas en vez de dos. La implementación de 2 radiadores implica la pérdida de carga en 3 codos que no existen en la primera configuración. Y por último el radiador de serie tiene menor ancho de aleta que los diseñados. (PLANO 2)

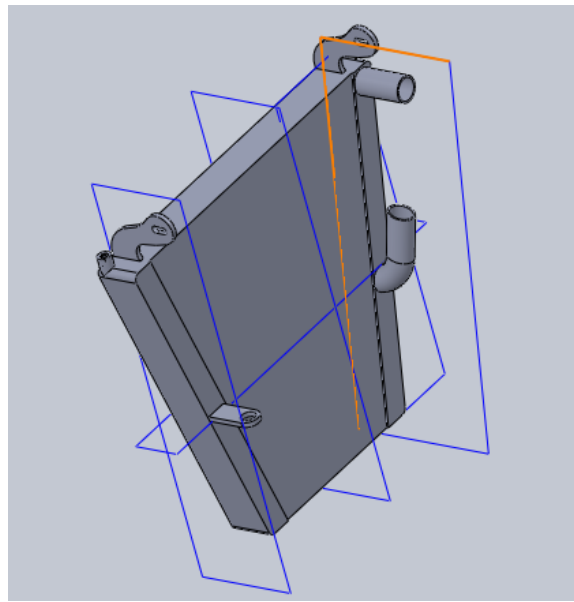


Ilustración 45. Radiador suplementario en modelado 3D

5.5. Presupuesto

En el mundo de las carreras, ganar unas décimas o unos pocos caballos de potencia puede salir muy caro para los equipos. El aspecto económico es el que delimita en mayor parte las posibilidades de mejora de cualquier prototipo. En el caso que hemos analizado, el sistema solución no se va a comercializar por lo que la utilidad de obtener el coste es estudiar la viabilidad de fabricación y no la viabilidad de comercialización. Es por ello que se va a presupuestar el sistema de refrigeración optimizado en sus dos vertientes:

5.6.1 Presupuesto fabricación Rodete en 3D

Zortax M200 Plus, impresora 3D de alto rendimiento		Coste de fabricación por pieza impresa	
Coste del plástico. [€/kg]	290	Masa de la pieza [kg]	0,1
Coste luz [€/kWh]	0,15	Tiempo de impresión [h]	6
Consumo medio [kW]	0,5		
Coste por hora de luz [€/h]	0,075	Coste del material	
Coste de impresora [€]	2500	Plástico ULTEM	29,00 €
Tiempo de amortización [años]	2	Electricidad	0,45 €
Días activa al año	200	Coste operario	
Horas por día [h]	6	Preparación	6,00 €
Coste de amortización [€/h]	1,04	Postproducción	6,00 €
Tasa de fallos	10%	Coste amortización	4,16 €
Coste por hora del operador [€/h]	20	Coste fallos	4,56 €
Tiempo preparación [h]	0,3		
Tiempo postproducción [h]	0,3	Coste pieza	50,17 €

Tabla 4. Presupuesto fabricación del nuevo rodete en 3D

5.6.2 Presupuesto instalación principal completa

Nº	Ud	Descripción	Medición
1.1	Ud	Agua destilada, garrafa de 5L	Total Ud.....: 1
1.2	Ud	Rodete sobredimensionado impreso en ULTEM en 3D	Total Ud.....: 1
1.3	Ud	Tapon Radiador de agua KSX 1.3 bar	Total Ud.....: 1
1.4	Ud	Radiador principal. Intercambiador de calor de carcasa y tubos con aletas. Fabricado en Aluminio.	Total Ud.....: 1
1.5	Ud	Refrigerador manguito disipador de calor cuadrado de aluminio. Longitud total: 103mm. Diámetro de aletas 30mm. Longitud de las aletas refrigeradoras 57mm. Para manguitos de 18mm de diámetro interior	Total Ud.....: 2
1.6	Ud	Manguito de caucho de silicona recto. Longitud: 180mm. Radio interior: 21mm. Radio exterior 23mm.	Total Ud.....: 1
1.7	Ud	Manguito de caucho de silicona con doble codo. Longitud: 290mm. Radio interior: 21mm. Radio exterior 23mm. Ángulo de codos 110°	Total Ud.....: 1
1.8	Ud	Manguito fino de caucho de silicona conexión con depósito de expansión. Longitud: 17mm Radio interior: 4mm Radio exterior: 6mm	Total Ud.....: 1
1.9	Ud	Abrazadera metálica de acero galvanizado bicromatado con apretura fijo, para la fijación de tuberías en cualquier instalación técnica 13/24 mm de diámetro max-min.	Total Ud.....: 4
1.10	Ud	Abrazadera metálica de acero 5/7 mm de diámetro max-min	Total Ud.....: 1
1.11	Ud	Tornillo de acero de acabado cincado con huella del cabezal hexagonal. Longitud: 20mm. Métrica 5. Paso: 0.8 Montaje con llave hexagonal macho	Total Ud.....: 3
1.12	Ud	Tuerca de acero de acabado cincado hexagonal. Métrica 5. Paso: 0,8	Total Ud.....: 3
1.13	Ud	Arandelas de caucho troqueladas en plancha. Diámetro exterior: 11mm Diámetro interior: 6mm	Total Ud.....: 3
1.14	Ud	Depósito de expansión de plástico termoestable con tapon perforado a 6mm	Total Ud.....: 1
1.11	h	Mano de obra diseño	Total Ud.....: 6
1.12	h	Mano de obra montaje	Total Ud.....: 1

Tabla 5. Tabla de mediciones instalación principal

Optimización termodinámica del prototipo Motostudent 2020

SISTEMA PRINCIPAL	Coste Unitario (€/Ud)	Coste
Capítulo 1 : Líquido refrigerante	3,41	3,41 €
Capítulo 2 : Rodete de la bomba	50,17	50,17 €
Capítulo 3 : Tapón del radiador	15,73	15,73 €
Capítulo 4 : Radiador		806,35€
Capítulo 5 : Manguitos		54,18 €
Capítulo 5.1: Manguitos de aluminio con aletas	22,34	44,68 €
Capítulo 5.2: Manguitos de caucho rectos	1,55	1,55 €
Capítulo 5.3: Manguitos de caucho con doble codo a 110°	7,45	7,45 €
Capítulo 5.4 : Manguito fino de caucho	0,50	0,50 €
Capítulo 6 : Abrazaderas metálicas		0,70 €
Capítulo 6.1 : Abrazadera metálica 13/24mm	0,15	0,60 €
Capítulo 6.2 : Abrazadera metálica 5/7mm	0,10	0,10 €
Capítulo 7 : Tornillería		0,63 €
Capítulo 7.1 : Tornillos de acero	0,08	0,24 €
Capítulo 7.2 : Tuercas de acero	0,05	0,15 €
Capítulo 7.3 : Arandelas de caucho	0,08	0,24 €
Capítulo 8 : Depósito de Expansión	1,00	1,00 €
Capítulo 9 : Mano de obra		136,00 €
Capítulo 9.1 : Mano de obra diseñador	20,00	120,00 €
Capítulo 9.2 : Mano de obra mecánico	16,00	16,00 €
	<i>COSTE TOTAL</i>	<i>1.068,17 €</i>

Tabla 6. Tabla de costes instalación principal

5.6.3 Presupuesto instalación con radiador suplementario

Nº	Ud	Descripción	Medición
2.1	Ud	Agua destilada, garrafa de 5L	Total Ud.....: 1
2.2	Ud	Rodete sobredimensionado impreso en ULTEM en 3D	Total Ud.....: 1
2.3	Ud	Tapon Radiador de agua KSX 1.3 bar	Total Ud.....: 1
2.4	Ud	Radiador Suplementario. Intercambiador de calor de carcasa y tubos con aletas. Fabricado en Aluminio.	1
2.5	Ud	Radiador Original KTM RC 250	Total Ud.....: 1
2.6	Ud	Refrigerador manguito disipador de calor cuadrado de aluminio. Longitud total: 103mm. Diámetro de aletas 30mm. Longitud de las aletas refrigeradoras 57mm. Para manguitos de 18mm de diámetro interior	Total Ud.....: 1
2.7	Ud	Manguito de caucho de silicona con codo unión radiadores. Longitud: 140mm. Radio interior: 21mm Radio exterior 23mm. Ángulo de codo 90°	Total Ud.....: 1
2.8	Ud	Manguito de caucho de silicona con doble codo unión radiador bomba. Longitud: 230mm. Radio interior: 21mm. Radio exterior 23mm. Ángulo de codos 90°	Total Ud.....: 1
2.9	Ud	Manguito de caucho de silicona con doble codo. Longitud: 290mm. Radio interior: 21mm. Radio exterior 23mm. Ángulo de codos 110°	Total Ud.....: 1
2.10	Ud	Manguito fino de caucho de silicona conexión con depósito de expansión. Longitud: 17mm Radio interior: 4mm Radio exterior: 6mm	Total Ud.....: 1
2.11	Ud	Manguito fino de caucho de silicona conexión con depósito de expansión. Longitud: 17mm Radio interior: 4mm Radio exterior: 6mm	Total Ud.....: 1
2.12	Ud	Abrazadera metálica de acero galvanizado bicromatado con apretura fijo, para la fijación de tuberías en cualquier instalación técnica 13/24 mm de diámetro max-min.	Total Ud.....: 6
2.13	Ud	Abrazadera metálica de acero 5/7 mm de diámetro max-min	Total Ud.....: 1
2.14	Ud	Tornillo de acero de acabado cincado con huella del cabezal hexagonal. Longitud: 20mm. Métrica 5. Paso: 0.8 Montaje con llave hexagonal macho	Total Ud.....: 5
2.15	Ud	Tuerca de acero de acabado cincado hexagonal. Métrica 5. Paso: 0,8	Total Ud.....: 5
2.16	Ud	Arandelas de caucho troqueladas en plancha. Diámetro exterior: 11mm Diámetro interior: 6mm	Total Ud.....: 5
2.17	Ud	Depósito de expansión de plástico termoestable con tapon perforado a 6mm	Total Ud.....: 1
2.18	h	Mano de obra diseño	Total Ud.....: 5
2.19	h	Mano de obra montaje	Total Ud.....: 1,5

Tabla 7. Mediciones del sistema con radiador suplementario

SISTEMA SUPLEMENTARIO	Coste Unitario (€/Ud)	Coste
Capítulo 1 : Líquido refrigerante	3,41	3,41 €
Capítulo 2 : Rodete de la bomba	50,17	50,17 €
Capítulo 3 : Tapón del radiador	15,73	15,73 €
Capítulo 4 : Radiador		425,29 €
Capítulo 4.1: Radiador de Origen		296,50 €
Capítulo 4.2: Radiador Suplementario		425,29 €
Capítulo 5 : Manguitos		38,17 €
Capítulo 5.1: Manguitos de aluminio con aletas	22,34	22,34 €
Capítulo 5.2: Manguitos de caucho unión rad. codo a 90°	1,55	1,55 €
Capítulo 5.3: Manguitos de caucho con doble codo a 110°	7,45	7,45 €
Capítulo 5.3: Manguitos de caucho con doble codo a 90°	6,33	6,33 €
Capítulo 5.5 : Manguito fino de caucho	0,50	0,50 €
Capítulo 6 : Abrazaderas metálicas		1,00 €
Capítulo 6.1 : Abrazadera metálica 13/24mm	0,15	0,90 €
Capítulo 6.2 : Abrazadera metálica 5/7mm	0,10	0,10 €
Capítulo 7 : Tornillería		1,05 €
Capítulo 7.1 : Tornillos de acero	0,08	0,40 €
Capítulo 7.2 : Tuercas de acero	0,05	0,25 €
Capítulo 7.3 : Arandelas de caucho	0,08	0,40 €
Capítulo 8 : Depósito de Expansión	1,00	1,00 €
Capítulo 9 : Mano de obra		124,00 €
Capítulo 9.1 : Mano de obra diseñador	20,00	100,00 €
Capítulo 9.2 : Mano de obra mecánico	16,00	24,00 €
	<i>COSTE TOTAL</i>	<i>956,32 €</i>

Tabla 8. Costes de la instalación suplementaria

5.6. Conclusión

Una vez analizado el sistema de refrigeración que enfría el KTM RC 250 en la motocicleta KTM RC se han detectado sus debilidades y se han implementado mejoras en el conjunto del circuito. La parte que mayor carga de optimización conlleva es el radiador. Se han diseñado, presupuestado y fabricado las dos versiones propuestas y tras dos tests en el circuito de Alcañiz se obtienen las siguientes conclusiones:

Respecto a términos de peso, factor que se quería optimizar, la primera configuración es hasta un 50% más ligera que la segunda. A parte de suponer menos tiempo de montaje y desmontaje en caso de caída o rotura. Además, el radiador principal es mucho más sencillo de rellenar de agua cuando se monta. Con el radiador supletorio suponía una dificultad eliminar las burbujas de aire residuales en los manguitos de unión por lo que se tuvo que implementar un agujero de purga tapado con un tornillo y una junta sellante (ver PLANO 2 o ilustración 45).

La elección del tapón de presión de 1.3 bar también ha sido correcta ya que no se detecta un vaciado de líquido prematuro ni sobrepresiones en el sistema.

Con ambas configuraciones el motor va mejor refrigerado que de serie, cada detalle de mejora aporta para que el sistema sea mucho más eficiente. En ningún momento de los tests se registró una temperatura superior a los 90°C de salida de refrigerante del motor. Al contrario, en la primera tanda con una temperatura ambiente de 10°C se tuvo que tapar el 25% del radiador con cinta americana ya que refrigeraba demasiado y el motor no trabajaba dentro del rango óptimo de temperaturas.

En todo momento del diseño a ordenador de los radiadores se tuvo delante el prototipo de moto 3 en el cual iba a ir montado el sistema de refrigeración por lo que la toma de medidas ha resultado sobresaliente el comprobarlo una vez el radiador fabricado y ensamblado. El radiador principal cubre a la perfección todo el espacio que el carenado deja libre bajo las tijas por lo que aerodinámicamente es prácticamente insuperable. El sistema de radiador suplementario sí genera algo de turbulencias justo en el espacio que queda entre radiadores pero son mínimas y mucho menores que las que generaba el radiador de origen (ilustración 27)

Una vez contrastado que ambas configuraciones funcionan, se recomienda la más económica (radiador de serie + radiador supletorio) a todas las KTM RC 250 o KTM DUKE 250 que necesiten un extra de refrigeración en alguna entrada ocasional a circuito. Solo se necesitará montar el radiador supletorio ya que encaja con los puntos de fijación del radiador de serie y el costo es bastante más reducido. En cambio, para prototipos de competición que utilicen este motor se recomienda la implementación del

sistema principal.

6. BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

Desantes Fernández, José María y. Payri González, Francisco. Motores de combustión interna alternativos. Barcelona : Reverté, 2013

Arias-Paz, Manuel. Motocicletas. Madrid : Dossat , 2008

Frank P. Incropera, David P. DeWitt. Fundamentos de transferencia de calor. Atracomulco, México : Prentice Hall Hispanoamericana, 1999

(2021). Obtenido de motocrosscenter: https://www.motocrosscenter.com/shop/es/accesorios/372454-tapon-radiador-negro-con-medidor-de-temperatura-4mx-18-japonesas-4mxt18bk.html?gclid=CjwKCAjwhOyJBhA4EiwAEcJdccNKapHsH20z4V0nw2Tem7HITsi8ROjhWHvidZaJAG5ICGqkiGSJeBoCGi8QAvD_BwE

A. Picard, R. S. (2008). *Metrología 45*.

aragon, m. (2017). Obtenido de <https://www.motorlandaragon.com/es/>

BIKE-PARTS-WEB. (2018). Obtenido de https://www.bike-parts-ktm.com/ktm-motorcycle/250_MOTO/2018/DUKE/250-DUKE-ORANGE-ABS/743

boonstraparts.com. (s.f.).

Carvajal, E. , Izquierdo,A. Ingeniería mecánica. Universidad de Sevilla, Sevilla (2017).

Estadística, I. I. (2019). <https://www.aragon.es/-/estadistica-local>.

<https://www.herramientasingeneria.com/onlinecalc/spa/DensidadAire/DensidadAire.html>. (s.f.).

IAEST. (2019). <https://www.aragon.es/-/estadistica-local>.

Martinez. (2019). *Comercial Martinez*. Obtenido de Comercialmartinez.com:
<http://www.comercialmartinez.com/spa/item/resource/0901148/Captura.JPG>

motorgiga, d. (s.f.). Obtenido de <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/wankel-motor-definicion-significado/gmx-niv15-con195967.htm>

MOTORLANDARAGON. (2015). Obtenido de <https://www.motorlandaragon.com/es/>

MOTUL. (2020). Obtenido de <https://www.motul.com/es/es/products/mocool>

Sevilla, U. d. (2015). *Ciclo Otto (GIE)*. Sevilla.

Tunersanddrifters.com. (s.f.).

WIDMAN INTERNATIONAL SRL. (2015).

Índice de Tablas

TABLA 1. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA Y DE ALGUNAS SUSTANCIAS ANTICONGELANTES	24
TABLA 2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL KTM RC 250 (I)	34
TABLA 3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL KTM RC 250 (II)	34
TABLA 4. PRESUPUESTO FABRICACIÓN DEL NUEVO RODETE EN 3D.....	67
TABLA 5. TABLA DE MEDICIONES INSTALACIÓN PRINCIPAL.....	68
TABLA 6. TABLA DE COSTES INSTALACIÓN PRINCIPAL.....	69
TABLA 7. MEDICIONES DEL SISTEMA CON RADIADOR SUPLEMENTARIO	70
TABLA 8. COSTES DE LA INSTALACIÓN SUPLEMENTARIA	71

Índice de ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1. GRÁFICO DEL DIAGRAMA INDICADOR, PRESIÓN-VOLUMEN 9

ILUSTRACIÓN 2. PARTES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO..... 10

ILUSTRACIÓN 3. CICLO DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA VOLUMÉTRICO A CUATRO TIEMPOS..... 12

ILUSTRACIÓN 4. CICLO FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR 4 TIEMPOS DE GASOLINA..... 12

ILUSTRACIÓN 5. CICLO FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR 2 TIEMPOS..... 13

ILUSTRACIÓN 6. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO 15

ILUSTRACIÓN 7. PERDIDAS EN FORMA DE CALOR DE UN MOTOR DE GASOLINA..... 16

ILUSTRACIÓN 8. MOTOR INDIAN 1915 REFRIGERADO POR AIRE..... 18

ILUSTRACIÓN 9. DETALLE DE LA REFRIGERACIÓN POR AIRE DE UN CILINDRO 18

ILUSTRACIÓN 10. MOTOR HONDA NSR500 2T REFRIGERADO POR AGUA..... 19

ILUSTRACIÓN 11. MOTOR SUZUKI SV 650 REFRIGERADO POR AGUA Y ACEITE 20

ILUSTRACIÓN 12. RADIADORES DE LA SUZUKI SV 650 20

ILUSTRACIÓN 13. ESQUEMA DE CIRCULACIÓN DEL ACEITE DE LA SUZUKI SV 650 21

ILUSTRACIÓN 14. ESQUEMA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN LÍQUIDA DE UN MOTOR DE 4 CILINDROS EN LÍNEA 22

ILUSTRACIÓN 15. BOMBA DE AGUA SECCIONADA..... 25

ILUSTRACIÓN 16. TERMOSTATO CERRADO Y TERMOSTATO ABIERTO SECCIONADOS 26

ILUSTRACIÓN 17. ESQUEMA DE UN RADIADOR DE TUBOS Y ALETAS 28

ILUSTRACIÓN 18. DETALLE DE LAS ALETAS DEL RADIADOR 29

ILUSTRACIÓN 19. RADIADOR COMERCIAL DE MOTOCICLETA DE FLUJO VERTICAL 29

ILUSTRACIÓN 20. ESQUEMA DEL SISTEMA DE EXPANSIÓN 30

ILUSTRACIÓN 21. DETALLE DEL TAPÓN DE PRESIÓN DE UN RADIADOR..... 31

ILUSTRACIÓN 22. MANGUITOS O MANGUERAS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN 32

ILUSTRACIÓN 23. MOTOR KTM RC 250 35

ILUSTRACIÓN 24. ESQUEMA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN COMPLETO DE LA KTM RC 250 37

ILUSTRACIÓN 25. FICHA TÉCNICA DEL ADITIVO PARA REFRIGERAR MOCOOL MOTUL 39

ILUSTRACIÓN 26. ESQUEMA DE LA BOMBA DE AGUA DEL MOTOR KTM RC 250 40

ILUSTRACIÓN 27. RADIADOR ORIGINAL DE LA KTM RC 250 42

ILUSTRACIÓN 28. RADIADOR SUPLEMENTADO DE UNA YAMAHA R3 DE COMPETICIÓN..... 43

ILUSTRACIÓN 29. RADIADOR COMPACTO CURVO DE UNA HONDA CBR 900RR 44

ILUSTRACIÓN 30. RADIADOR DE MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN CON ALETAS..... 44

ILUSTRACIÓN 31. TAPÓN DE RADIADOR CON ALIVIADOR DE PRESIÓN 46

ILUSTRACIÓN 32. TAPÓN DE RADIADOR CON TERMÓMETRO..... 46

ILUSTRACIÓN 33. TAPÓN DE RADIADOR DE ALTA PRESIÓN 46

ILUSTRACIÓN 34. TRAMOS DE MANGUITOS DE ALUMINIO CON ALETAS REFRIGERADORAS..... 47

ILUSTRACIÓN 35. ADITIVO REFRIGERANTE PARA COMPETICIÓN EN ASFALTO 49

ILUSTRACIÓN 36. FOTOGRAFÍA DE LA BOMBA DE AGUA ORIGINAL DEL KTM RC 250 CON CARCASA..... 49

ILUSTRACIÓN 37. FOTOGRAFÍA DE LA BOMBA DE AGUA ORIGINAL DEL KTM RC 250 SIN CARCASA 50

ILUSTRACIÓN 38. TRAMO DE MANGUITO DE ALUMINIO CON ALETAS REFRIGERADORAS DE COMERCIAL MARTINEZ..... 53

ILUSTRACIÓN 39. RADIADOR DE COMPETICIÓN SIN CODOS EN LAS BOQUILLAS 54

ILUSTRACIÓN 40. GEOMETRÍA BASE DEL RADIADOR..... 55

ILUSTRACIÓN 41. DIMENSIONES DEL TUBO DE ALUMINIO 58

ILUSTRACIÓN 42. APROXIMACIÓN TEÓRICA DE LAS ALETAS COMERCIALES 60

ILUSTRACIÓN 43. ALETAS COMERCIALES DE RADIADORES SANJOS DELEGACIÓN LEVANTE 60

ILUSTRACIÓN 44. RADIADOR PRINCIPAL EN MODELADO 3D 65

ILUSTRACIÓN 45. RADIADOR SUPLEMENTARIO EN MODELADO 3D 66

Índice de ecuaciones

ECUACIÓN 1. ECUACIÓN MASA TOTAL 56

ECUACIÓN 2. HALLAR LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA 56

ECUACIÓN 3. CAUDAL DE UN FLUIDO A PARTIR DE SU DENSIDAD, VELOCIDAD Y SECCIÓN DE PASO 57

ECUACIÓN 4. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE PELÍCULA DEL REFRIGERANTE..... 57

ECUACIÓN 5. NÚMERO DE NUSSELT DEL REFRIGERANTE PARA FLUIDOS QUE SE ENFRÍAN EN RÉGIMEN TURBULENTO DURANTE CONDUCCIÓN TURBULENTO 58

ECUACIÓN 6. NÚMERO DE REYNOLDS DEL REFRIGERANTE 58

ECUACIÓN 7. DIÁMETRO HIDRÁULICO DEL REFRIGERANTE..... 58

ECUACIÓN 8. PERÍMETRO MOJADO DE REFRIGERANTE 58

ECUACIÓN 9. SECCIÓN DE PASO DEL REFRIGERANTE..... 59

ECUACIÓN 10. ÁREA DE CONTACTO DEL REFRIGERANTE CON LA TOTALIDAD DEL TUBOS 59

ECUACIÓN 11. CÁLCULO DEL NÚMERO DE TUBOS 59

ECUACIÓN 12. RELACIÓN GEOMÉTRICA DE LA DISTANCIA ENTRE TUBOS 59

ECUACIÓN 13. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE PELÍCULA DEL REFRIGERANTE..... 60

ECUACIÓN 14. NÚMERO DE NUSSELT DEL AIRE QUE FLUYE SOBRE LAS ALETAS 60

ECUACIÓN 15. FÓRMULA DEL NÚMERO DE REYNOLDS PARA EL AIRE 60

ECUACIÓN 16. CORRELACIÓN GEOMÉTRICA DEL PERÍMETRO MOJADO DE AIRE 61

ECUACIÓN 17. CORRELACIÓN GEOMÉTRICA DE LA SECCIÓN DE PASO DE AIRE 61

ECUACIÓN 18. DIÁMETRO HIDRÁULICO DEL AIRE 61

ECUACIÓN 19. ÁREA DE CONTACTO DEL AIRE CON LA TOTALIDAD DE ALETAS 61

ECUACIÓN 20. ECUACIÓN DEL MÉTODO NTU APLICADA AL INTERCAMBIADOR SOMETIDO A ESTUDIO 62

ECUACIÓN 21. FÓRMULA OBTENCIÓN DE LA MASA DE LAS ALETAS..... 62

ECUACIÓN 22. FÓRMULA OBTENCIÓN DE LA MASA DE LOS TUBOS 62

ECUACIÓN 23. FÓRMULA OBTENCIÓN DE LA MASA DE LA CARCASA..... 62

ECUACIÓN 24. CALOR ABSORVIDO POR EL AIRE 64

ECUACIÓN 25. CALOR CEDIDO POR EL LÍQUIDO REFRIGERANTE 64

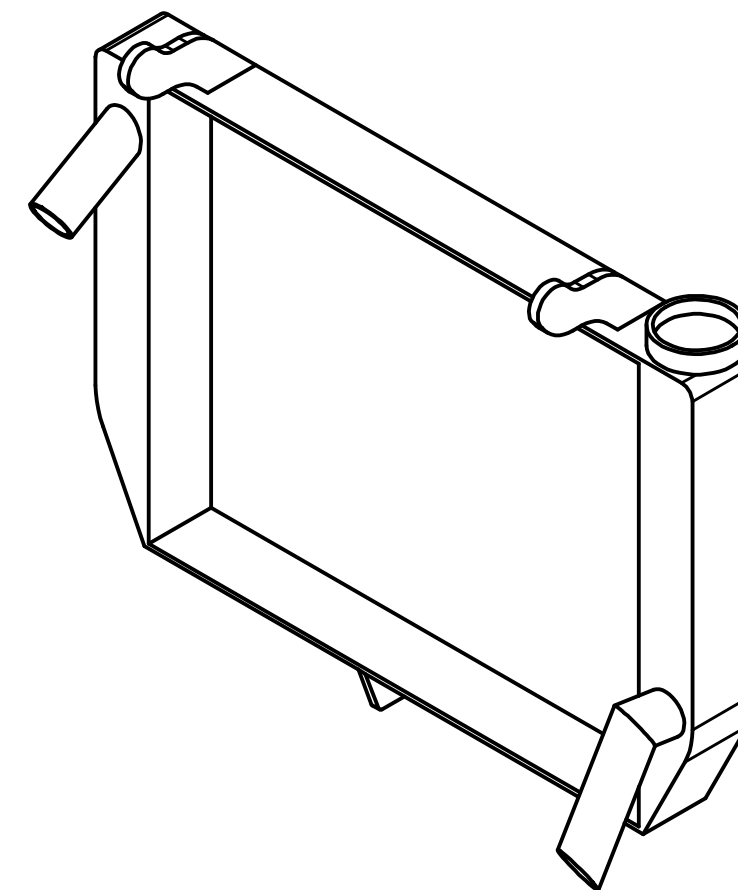
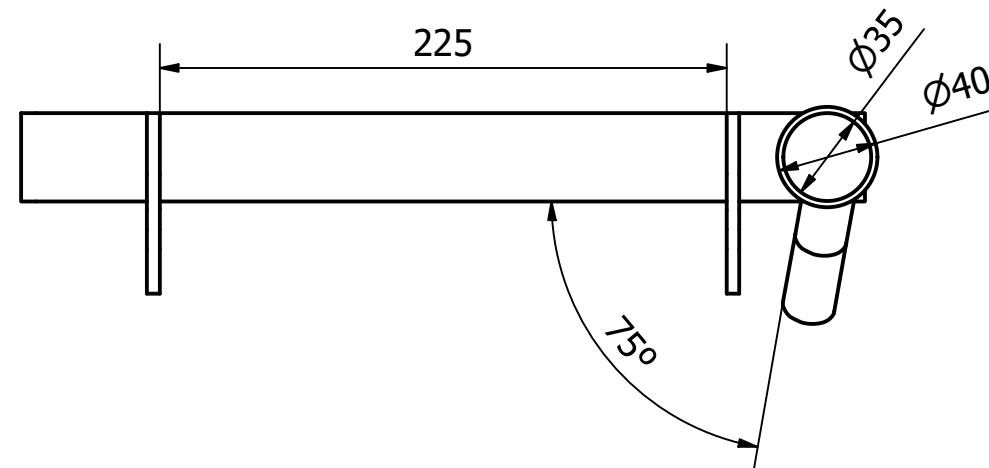
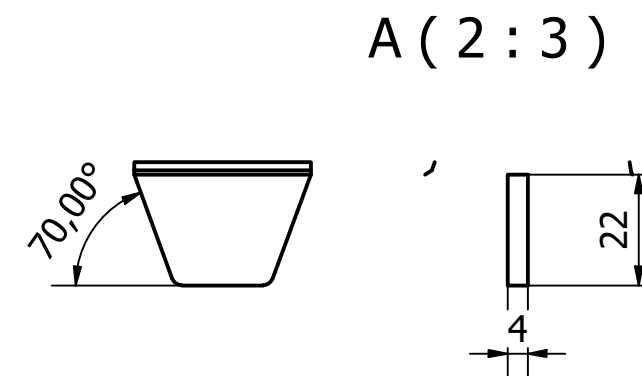
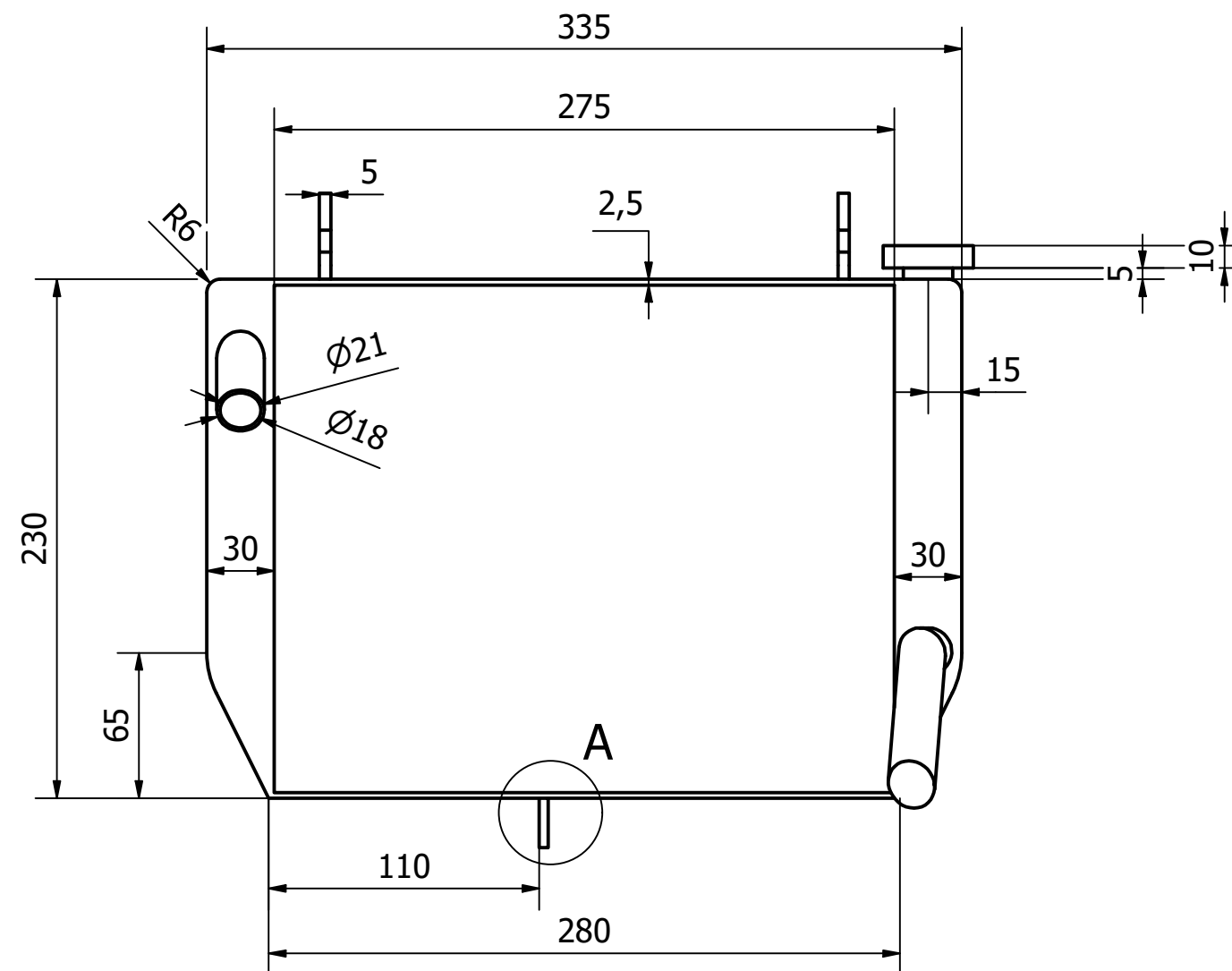
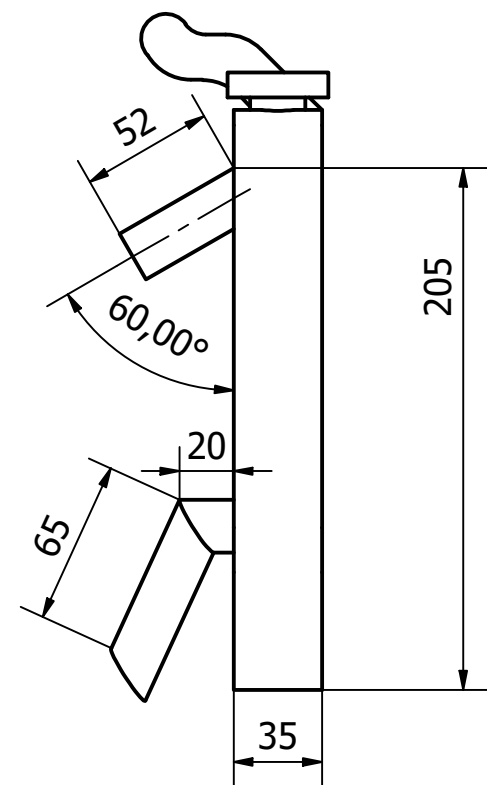
ECUACIÓN 26. FÓRMULA DE LA EFECTIVIDAD NTU 64

DOCUMENTO 2. PLANOS

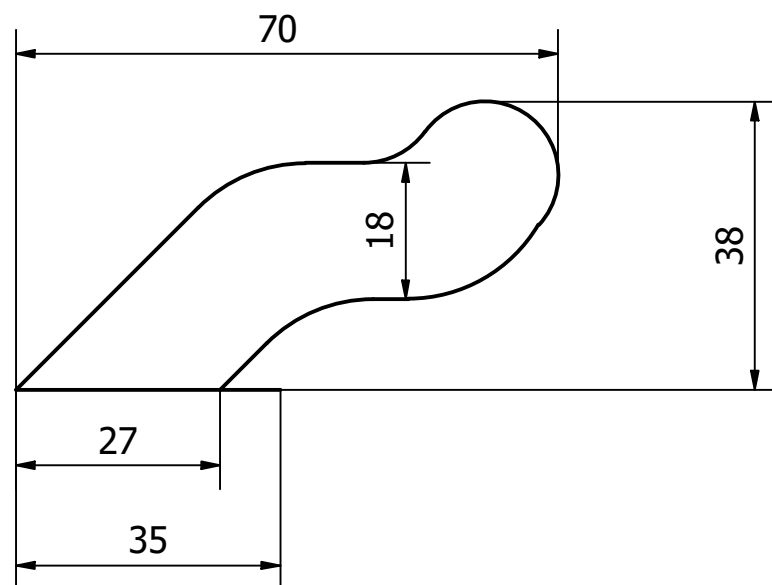
ÍNDICE DE PLANOS

- I. Radiador principal

- II. Radiador suplementario



DETALLES SOPORTES SUPERIORES



MotoR - UPV	Planos Radiador
24-mayo-2021	Escala 1:3

