

GRADO EN INGENIERIA EN TECNOLOGIA INDUSTRIAL
TRABAJO FIN DE GRADO

***INSTALACIÓN DE GESTIÓN ELECTRONICA
PROGRAMABLE EN MOTOR KTM RC 250***

Alumno: Reche,Urrutia,Jon Ander

Director: Martin, Gómez, Leopoldo

Curso: 2017-2018

Fecha: 18,7,2018

Resumen: El presente trabajo fin de grado es una parte del desafío MotoStudent al que el equipo de la escuela se enfrenta, donde tiene que presentar una moto de competición para competir con el resto de universidades del mundo. Para ello, es indispensable contar una gestión del motor adecuada, lo que incluye: ponerlo en marcha y optimizar su funcionamiento. Para ponerlo en marcha es necesario realizar un sistema eléctrico con distintos elementos y sensores, todos ellos, junto al motor controlados por una centralita programable. Para optimizar el funcionamiento del motor se realiza un afino de sus mapas gracias a la centralita y al trabajo en un banco de pruebas. La competición fomenta la innovación, por lo que se deberá desarrollar un proyecto que rompa con lo usual.

Laburpena: Aurrean daukagun gradu amaierako lana, eskolako taldea MotoStudent erronkari aurre egiten dion parte bat da, non lehiaketa motor bat aurkeztu behar den munduko gainontzeko unibertsitateekin lehiatzeko. Horretarako, motorraren kudeaketa egokia izatea ezinbestekoa da, barne hartzen du: motorra martxan jarri eta bere funtzionamendua optimizatu. Martxan jartzeko beharrezko da sistema elektriko bat egitea elementu eta sentsores desberdinekin, hauek guztiak, control-unitate programagarri baten bidez kontrolatuz motorraren ondoan. Motorraren funtzionamendua optimizatzeko mapak afinatu egiten dira kontrol-unitateari eta proba-banku lanari esker. Lehiaketak berrikuntza sustatzen du, beraz, ohikoarekin apurtzen duen proiektua garatu behar da.

Abstract: This document is part of the MotoStudent challenge in which the team of the Engineering School of Bilbao will be taking part, where a competition motorcycle has to be presented in order to compete with other universities from around the world. In order to do so, it is of utmost importance to have an appropriate management of the engine which includes: turning it on and optimizing its operation. In order to turn it on, an electric system has to be prepared with different elements and sensors, all of which are connected alongside the engine to a programmable switchboard. To optimize the operation of the engine, its map has to be turned with the switchboard and the job carried out in a power bank. The competition encourages innovation and because of it a project that has no precedents has to be developed.

Palabras clave

MotoStudent

KTM RC 250

Instalación eléctrica

Unidad de control del motor

Motec M400

Mapear

Inyección

Relé de estado sólido

Hitz gakoak

MotoStudent

KTM RC 250

Sistema elektrikoa

Motorrarako Kontrol unitatea

Motec M400

Mapeatu

Injekzio

Solido egoerako relea

Key Words

MotoStudent

KTM RC 250

Wiring Loom

Engine control unit (ECU)

Motec M400

Tuning

Injection

Solid State Relay

Contenido

Lista de tablas	5
Lista de ilustraciones.....	6
Memoria	8
Introducción	8
Contexto	9
Objetivos y Alcance del proyecto	11
Beneficios que aporta el trabajo.....	13
Historia del arte.....	15
Ciclo de funcionamiento	15
Relaciones existentes	19
Análisis de alternativas	22
Validez de la unidad de control	22
Electrónica empleada.....	23
Tipo de control	23
Alternador	24
Descripción de la solución propuesta. Diseño.....	29
Instrumentación empleada	29
Software utilizado.....	42
Funcionamiento global	46
Mapeo.....	53
Innovación.....	57
Metodología seguida en el desarrollo del trabajo	64
Planificación	64
Diagrama de Gantt	73
Descripción de los resultados	74
Cableado.....	74
Puesta a punto.....	77
Innovación.....	81
Aspectos económicos	83
Análisis de riesgos	84
Conclusiones.....	88
ANEXO I: Pliego de condiciones	89
ANEXO II: Planos eléctricos.....	91
Bibliografía	107

Lista de tablas

Tabla 1: Planificación general	64
Tabla 2:Tareas de la fase de cableado y gestión de la ECU	66
Tabla 3:Tareas de la fase de puesta a punto	69
Tabla 4:Tareas de la fase de innovación.....	71
Tabla 5: Presupuesto proyecto	83
Tabla 6:Ponderación-frecuencia	84
Tabla 7: Ponderación-impacto	85
Tabla 8: Matriz probabilidad-impacto	85

Lista de ilustraciones

Ilustración 1: Logotipo de la competición MotoStudent	9
Ilustración 2: Motocicleta del equipo de la escuela. Temporada 2015-2016.....	10
Ilustración 3: Trazado del circuito de Alcañiz	12
Ilustración 4:Fuerzas aerodinamicas y momentos de una motocicleta	13
Ilustración 5: Motor KTM RC 250 recibido por el equipo	15
Ilustración 6: Tiempo de admisión.....	16
Ilustración 7: Tiempo de compresión	17
Ilustración 8: Tiempo de combustión.....	18
Ilustración 9: Tiempo de escape	19
Ilustración 10:Mecanismo biela-manivela del motor.	19
Ilustración 11: Curva de par motor y potencia.	20
Ilustración 12: Entradas y salidas Motec M400	22
Ilustración 13: Motec m400	29
Ilustración 14:Alternador	30
Ilustración 15: Esquema funcionamiento regulador-recificador	31
Ilustración 16:Regulador-Rectificador.	31
Ilustración 17: Batería	32
Ilustración 18: TPS	33
Ilustración 19: Sensor MAP y Temperatura.....	34
Ilustración 20: Sensor de temperatura	34
Ilustración 21:Sonda Lambda empleada.	35
Ilustración 22:Sonda Lambda introducida en el escape	35
Ilustración 23: Inyector.....	36
Ilustración 24: Bomba de combustible empleada	37
Ilustración 25: Rueda fónica.....	38
Ilustración 26: Esquema de conexión del módulo de encendido.	39
Ilustración 27: Bobina empleada	40
Ilustración 28: Bujía	41
Ilustración 29: Motor de arranque	42
Ilustración 30: Logo empresa Motec	42
Ilustración 31: Celdas del mapa de inyección	43
Ilustración 32: Representación gráfica del mapa de inyección	44
Ilustración 33: Interfaz principal donde se ven los sensores funcionando	44
Ilustración 34: Motec i2	46
Ilustración 35: Esquema original de la ECU	47
Ilustración 36: Esquema alimentación empleada	48
Ilustración 37: Esquema eléctrico ECU	50
Ilustración 38: Interruptor de encendido.....	51
Ilustración 39: Esquema arranque motor.	53
Ilustración 40:Mando de control del freno	54
Ilustración 41: Banco de pruebas. Freno y rodillo	54
Ilustración 42: Tabla inyección	55
Ilustración 43:Valor Lambda Motec ECU Manager	56
Ilustración 44: Tabla de inyección calibrada tras una sesión.....	57
Ilustración 45: Relé de estado sólido	58
Ilustración 46.Implantación fusibles	59

Ilustración 47: Válvula de mariposa abierta a más del 95%	60
Ilustración 48: Función Motec ECU Manager. Alternador.....	61
Ilustración 49: Esquema eléctrico. Alternador	63
Ilustración 50: Cableado comercial escogido	67
Ilustración 51: Pines y conectores de la ECU	68
Ilustración 52: Circuito de Navarra	70
Ilustración 53:Diagrama Gantt	73
Ilustración 54:Garganta de mariposa colocada en el conducto de admisión	74
Ilustración 55: Diseño del deposito	74
Ilustración 56: Bomba colocada en el deposito	74
Ilustración 57: Analizando el cableado comercial.....	75
Ilustración 58: Cableado realizado	75
Ilustración 59: Cableado visto desde un lateral.....	76
Ilustración 60: Cableado visto desde arriba	77
Ilustración 61: Moto en el banco de pruebas.....	78
Ilustración 62: Calibración del mapa de inyección.....	78
Ilustración 63: Mapa inicial.....	79
Ilustración 64: Mapa final	79
Ilustración 65: Moto del equipo rodando en el circuito de Navarra	80
Ilustración 66: Análisis Motec i2. Sesión 1º	80
Ilustración 67: Análisis Motec i2. Sesión 2º	81
Ilustración 68: Función alternador	82
Ilustración 69: Pruebas con el relé	82

Memoria

Introducción

Este documento contiene un trabajo de fin de grado sobre la instalación de la gestión electrónica programable del motor KTM RC 250. En la primera parte se presenta el contexto del proyecto, los objetivos que se pretenden cumplir tanto como su alcance, y los beneficios que aporta la realización del proyecto. Después de esto, se presentará la historia del arte donde se recogerán datos sobre el motor empleado y su funcionamiento.

Una vez conocido el funcionamiento del motor con el que se cuenta, y teniendo claros los objetivos que se pretenden alcanzar se realiza un estudio de alternativas para cumplir los distintos objetivos del proyecto.

Una vez seleccionadas las alternativas, se realiza una descripción de todos los elementos que forman parte del proyecto, para después facilitar la comprensión de los esquemas eléctricos que interrelacionan todos los elementos. Una vez conocido el sistema eléctrico se expone el proceso de mapeo del motor, y el desarrollo de la innovación.

A continuación, se muestra la planificación del proyecto que se puede dividir en tres fases. Cada fase corresponde al conjunto de tareas que se deben realizar para cumplir los distintos objetivos. Posteriormente el grado de cumplimiento de la planificación se pone a prueba mostrando los resultados y el desarrollo del proyecto.

Este trabajo de fin de grado cuenta también con un presupuesto a grandes rasgos y con un análisis de riesgos. En este último se enumeran los riesgos principales, dando una explicación de las consecuencias de las mismas y posibles acciones a realizar para evitarlos o conseguir que sus consecuencias no supongan una gran pérdida en el proyecto.

Finalmente, el trabajo termina exponiendo las distintas conclusiones que se pueden sacar del proyecto

Contexto

El proyecto que se va a llevar a cabo surge por la necesidad de tener que poner a punto el motor KTM RC 250 para poder afrontar el desafío MotoStudent.

MotoStudent es un desafío que nace de la Ciudad del motor de Aragón, consistente en una competición entre 74 universidades de ingeniería de todo el mundo. El objetivo consiste en el diseño estructural de una motocicleta de competición de 250cc y su posterior construcción. El prototipo debe pasar duras pruebas de estabilidad y rigidez para la posterior competición en una carrera donde las motos serán llevadas al límite por pilotos de copas de promoción. Detrás de esta competición esta Dorna, organizador del campeonato del mundo de MotoGP y la federación aragonesa de motociclismo.



Ilustración 1: Logotipo de la competición MotoStudent

Los prototipos realizados se enfrentarán en la competición a unas pruebas técnicas durante unas jornadas que se llevan a cabo en las instalaciones de MotorLand Aragón del 3 al 7 de octubre 2018, teniendo como prueba de fuego la carrera final de MotoStudent.

La organización, suministrara a todos los equipos participantes un kit base compuestos por los siguientes elementos que serán de uso obligatorio en el prototipo: El motor de combustión interna KTM RC 250, un juego de neumáticos slick delantero y trasero, un juego de llantas delantera y trasera, y pinzas y bombas de freno. El diseño y la fabricación o en su caso la búsqueda y compra de los restantes elementos correrá a cargo de cada equipo, necesitando para ello una financiación que también deberá ser buscada por los propios integrantes del equipo.

Cada equipo tendrá un mínimo de 7 participantes. La competición, aparte de aprender a manejar los sistemas más avanzados de diseño y análisis, supondrá para estos estudiantes llevar a cabo un proyecto real con los compromisos del mundo industrial como trabajar en equipo, en competencia, bajo un presupuesto y con un calendario establecido. Trabajarán en conexión con empresas e instituciones del mundo de la máxima competición de carreras de motos.

La competición en si misma es un reto para los estudiantes, dónde éstos en un calendario establecido han de demostrar y probar su capacidad de creación e innovación y la habilidad de aplicar directamente sus capacidades como ingenieros en comparación con los otros equipos de universidades de todo el mundo.

La competición para fomentar la creatividad de los integrantes de los equipos, exige como requisito añadido que el proyecto deba de incluir una innovación que aporte un grado de novedad en el diseño de la motocicleta. Puede ser una solución tomada de otro campo, o algún aspecto novedoso en comparación con las soluciones comúnmente empleadas en la industria.

La competición MotoStudent se lleva a cabo una vez cada dos años, siendo la presente edición (2017-2018), la quinta vez que tiene lugar este campeonato internacional. Desde la primera edición de MotoStudent que se dio en octubre de 2010, el equipo de la Universidad del País Vasco ha formado parte en todas las ediciones realizadas, por lo que el equipo cuenta con la experiencia necesaria para poder desarrollar un prototipo fiable.



Ilustración 2: Motocicleta del equipo de la escuela. Temporada 2015-2016

Objetivos y Alcance del proyecto

En este apartado se van a presentar los distintos objetivos que se van a perseguir mediante la realización de este proyecto. Debido al contexto, todos los objetivos no están definidos desde el inicio, sino que existe un objetivo primordial: Arrancar el motor. Una vez que se consigue poner en marcha la motocicleta se llevarán a cabo distintos procesos para mejorar el rendimiento de la misma, y así, conseguir una moto más competitiva. El alcance de este proyecto no incluye la parte de la transmisión de potencia del motor, ni su correspondiente refrigeración. A continuación, se van a exponer los objetivos que se prevén cumplir con la realización de este proyecto.

Arrancar el motor

El objetivo primordial del proyecto es conseguir que el motor arranque. La competición, dota a cada equipo de un motor que es recibido completamente desnudo, y es función de cada equipo lograr poner en marcha el motor. Para ponerlo en marcha es preciso cablear el sistema eléctrico de la motocicleta y gestionarlo adecuadamente con su correspondiente unidad de control. Esta unidad de control a partir de este instante se abreviara por el término ECU (Engine Control Unit).

Por ello, es objeto de este proyecto seleccionar los componentes y distintos sensores que se van a precisar para arrancar el motor, y cablear los mismos, basándose en el esquema eléctrico del motor proporcionado por la organización. Además de cablear el motor con los distintos componentes, es necesario cablear y gestionar los distintos componentes que deben de ser controlados con la ECU.

Aumentar la potencia del motor

Una vez conseguido el arranque del motor se prosigue a aumentar la potencia del mismo. El motor KTM RC 250 cuenta de serie con 30,87 CV , esta potencia del motor debe ser incrementada mediante la calibración de la cantidad de combustible que se mezcla con el aire que entra a motor.

Realizar una innovación para mejorar el rendimiento de la moto

Otro de los objetivos que se prevé alcanzar esta edición es realizar una innovación tecnológica aplicada a la motocicleta que permita mejorar su rendimiento. El proyecto innovador se ha enfocado en intentar contrarrestar la potencia que el alternador consume durante la carrera.

El origen de esta idea surgió al finalizar la edición anterior, en el transcurso de la competición, analizando en donde se invertía la potencia del motor, se observó que en los tramos donde la válvula de mariposa se abría los 90 grados, indicador de que el piloto se encuentra acelerando al máximo, es interesante eliminar la resistencia producida por el alternador. Esto es, debido a que la potencia producida en la combustión, es igual a la suma de: la potencia que emplea la motocicleta, la potencia mecánica empleada para hacer girar el rotor del alternador y las pérdidas. Por lo tanto, en el instante en el que el piloto se encuentra acelerando al máximo demandando toda la potencia del motor, una porción de la potencia obtenida en la combustión es destinada

al alternador de la motocicleta, cuya función es alimentar a la batería encargada de dar soporte al sistema eléctrico de la moto.

Por lo tanto, tras analizar la situación, el equipo se ha percatado de que en el momento en el que realmente es importante la potencia máxima que puede alcanzar el motor, no se dispone por completo de esa potencia máxima para poder suministrar a la motocicleta. Como se ha mencionado anteriormente, esto es debido a que parte de la potencia generada va destinada a alimentar el alternador. Aunque este efecto se produce siempre que el piloto demanda la potencia máxima, esto es especialmente importante en las rectas, ya que limita la velocidad máxima que se consigue en cada una de ellas. Analizando el circuito de Alcañiz, lugar donde se disputa la carrera final del desafío MotoStudent, este efecto es especialmente importante en el paso por las dos grandes rectas del circuito. Rectas que en la imagen adjunta se corresponden a las que se encuentran entre los sectores (15,16) y (17,1). En estos dos tramos, la motocicleta, para su movimiento, consume una potencia inferior a la que el motor está generando.

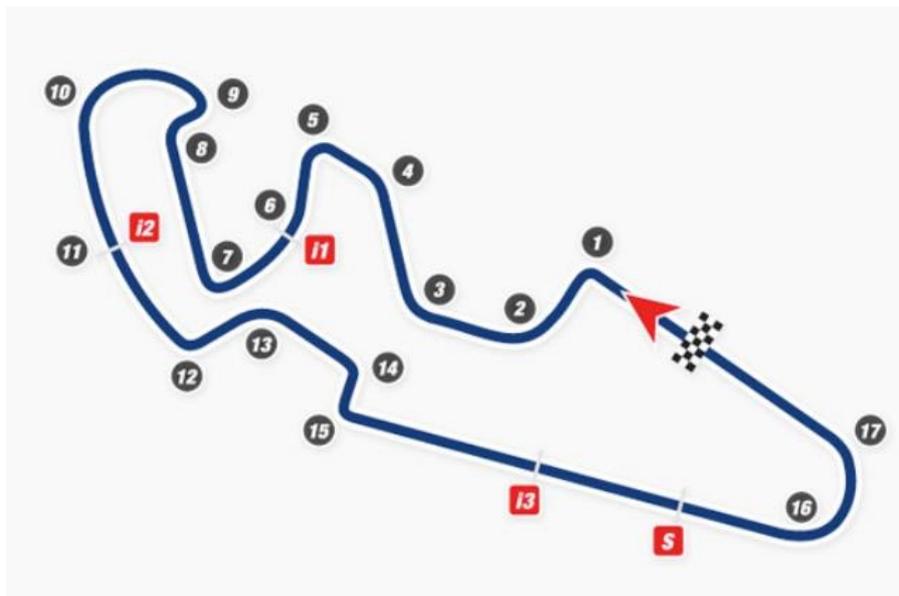


Ilustración 3: Trazado del circuito de Alcañiz

Beneficios que aporta el trabajo

La realización de este proyecto, va a permitir al equipo de la escuela de MotoStudent distintos beneficios que serán expuestos a continuación.

Obtener la información deseada

Llevar a cabo este proyecto, permite obtener cualquier dato relacionado con la motocicleta que se pueda medir, ya sea con sensores, indicadores de nivel o instrumentos de medida similares. La información que se puede obtener, puede ir desde la temperatura del motor hasta el grado de inclinación de la moto. Por lo tanto, será objetivo de este proyecto seleccionar y configurar los instrumentos necesarios para obtener las medidas queridas.

La información obtenida a través de los sensores es utilizada para conocer el estado de funcionamiento de la motocicleta, y dependiendo de la información recibida poder actuar sobre ella para perfeccionar su funcionamiento. Por lo cual, se trata de un aspecto de gran importancia para conseguir una moto competitiva.

Aumentar la potencia del motor

Desarrollar este proyecto, permite aumentar la potencia del motor recibido mediante la calibración del mapa de inyección.

El motor recibido es de 30,87 CV y atendiendo a los resultados de los años anteriores, en esta edición se espera llegar a los 37 CV.

Para poder apreciar el impacto del aumento de caballos se procederá a hacer los cálculos aerodinámicos de la moto teniendo en cuenta el libro *Motorcycle Dynamics* de *Vittore Cossalter*. Estos cálculos no determinan la velocidad real, es simplemente una aproximación, pues para la relación real afectan otros factores no tenidos en cuenta como la relación de transmisión.

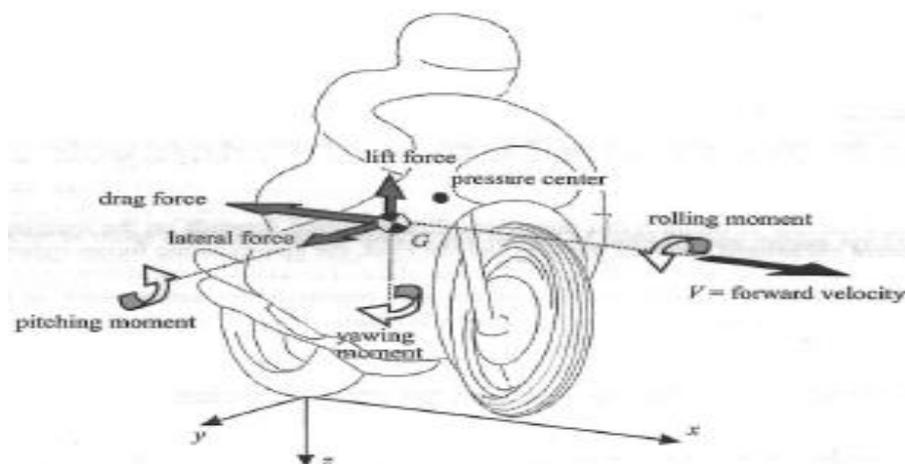


Ilustración 4: Fuerzas aerodinámicas y momentos de una motocicleta

Todas las influencias aerodinámicas que actúan en la moto pueden ser representadas por tres fuerzas aplicadas en el centro de gravedad, y tres momentos actuando alrededor de los ejes x,y,z (*Ilustración 2*).

- Fuerza de arrastre, en oposición al movimiento.
- Fuerza ascendente que tiende a alzar la motocicleta.
- Fuerza lateral que empuja a la moto para los lados.
- Momento de cabeceo.
- Momento de derrape “yawing”.
- Momento de inclinación.

Las componentes más importantes son la fuerza de suspensión y arrastre. De estas fuerzas, la de arrastre influencia a la velocidad máxima y al desarrollo de la aceleración. La fuerza de arrastre F_D es aproximadamente el cuadrado de la velocidad de la moto:

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot A \cdot V^2$$

Siendo:

- F_D Fuerza de arrastre.
- V Velocidad.
- ρ Densidad del aire $1,167 \frac{Kg}{m^3}$
- C_D Coeficiente de arrastre.
- A Área de la moto (Vista de frente).

El valor del coeficiente de arrastre por el área suele estar entre 0,3~0,35 m^2 para motocicletas de superbikes, por tanto, para este caso será algo menor. Teniendo en cuenta que ese valor suele llegar a 0,22 m^2 para motos de competición, se considera el valor 0,25 m^2 apropiado para los cálculos.

Sabiendo que la potencia del motor de serie son 30,87 CV. En Watios, $P = 30,87 \cdot 735 = 22689,45 \text{ W}$ y que la potencia es, $P=F_D \cdot V$. Llegamos a la expresión:

$$\frac{P}{V} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot A \cdot V^2$$

Donde, despejando la velocidad:

$$V = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot P}{\rho \cdot C_D \cdot A}} = 53,779 \frac{m}{s} = 193,605 \frac{Km}{h}$$

Repitiendo los cálculos para la potencia esperada, 37 CV, nos queda una velocidad de 205,65 $\frac{Km}{h}$. Por lo que, aumentar la potencia influye directamente en la velocidad, aspecto que marca diferencias en una competición de motociclismo.

Historia del arte

En este apartado se van a exponer las características generales del motor con el que se va a realizar el proyecto, posteriormente se mostrara cual es el ciclo de funcionamiento del motor empleado. Finalmente se expondrán las fuerzas y variables relacionadas con el ciclo del motor.

Para empezar el apartado resulta apropiado conocer el motor sobre el cual se va a realizar el proyecto. El motor recibido, siendo obligatorio su uso, es el motor KTM RC 250, un motor de combustión interna de 4 tiempos, 30,87 CV, de un cilindro de 250 cm^3 , carrera de 61,1 mm y 4 válvulas. Este, dispone de un sistema interno de refrigeración líquida. El sistema de alimentación del combustible original es mediante inyección electrónicamente controlada, aunque la organización permite sustituir el sistema original por sistemas de carburación. Pese a que se permita la sustitución, se va a mantener el sistema original debido a que la inyección es un sistema sencillo, y da la facilidad de que ya viene incorporada. En la ilustración inferior se encuentra el motor recibido.



Ilustración 5: Motor KTM RC 250 recibido por el equipo

Ciclo de funcionamiento

Como se ha mencionado, el motor con el que se cuenta es de cuatro tiempos monocilíndrico. Por lo tanto, se trata de un motor que precisa cuatro carreras del émbolo, o lo que es lo mismo, dos vueltas del cigüeñal para completar el ciclo termodinámico de combustión. Cada ciclo o tiempo del motor, por tanto, se corresponde a media vuelta del cigüeñal o a un movimiento del cilindro, siendo los tiempos los siguientes: Admisión, compresión, combustión y escape. A continuación, se profundiza en cada tiempo:

- **Admisión:** Es el primer tiempo, la mezcla de aire y gasolina entra al cilindro. El émbolo baja del punto superior al inferior mientras que la válvula de admisión se abre permitiendo entrar la mezcla al cilindro. La gasolina debe ser combinada

con aire ya que sin él no combustiónaría. Si se realizase un análisis estequiométrico, la relación existente entre la gasolina y el aire es de 14,7 kg de aire por cada kilogramo de gasolina, por lo tanto, la cantidad de gasolina que entra al motor depende de la cantidad de aire que entra a través de la válvula de mariposa.

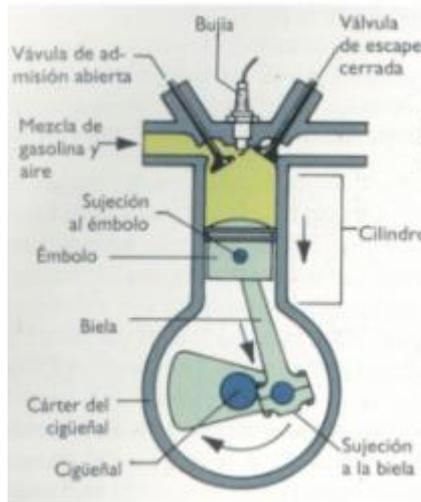


Ilustración 6: Tiempo de admisión

Como se ha dicho la mezcla estequiométrica es de $\frac{14,7 \text{ kg aire}}{1 \text{ kg gasolina}}$. Según la cantidad de combustible existente en la combustión se pueden dar dos tipos de mezclas: Una mezcla rica o una mezcla pobre. La mezcla rica indica que existe un exceso de combustible en la mezcla, mientras que la mezcla pobre indica que existe aire en exceso, pudiendo llegar a darse el caso de que la mezcla sea tan pobre que el combustible no llegue a inflamarse y que el motor se pare. Se conoce como Lambda a la relación existente entre la cantidad de aire que entra al motor y la cantidad teórica con la que se daría una combustión completa. Esta cantidad teórica, como se ha mencionado antes son los 14,7 kg de aire por cada uno de gasolina estequiométricos.

$$\text{Lambda } (\lambda) = \frac{\text{Masa real de aire}}{\text{Masa teórica del aire}}$$

Según el valor que adopte Lambda se tienen distintas situaciones:

- $\lambda = 1$ Combustión perfecta, el aire aspirado coincide con el teórico.
- $\lambda > 1$ La mezcla es pobre, indica exceso de aire. En esta configuración se da la situación de rendimiento máximo. En el caso de tratarse de una mezcla demasiado pobre puede llegar a pararse el motor.
- $\lambda < 1$ La mezcla es rica, indica exceso de combustible. En esta situación se da la situación de potencia máxima. Existe un valor de la Lambda

mínima que hace que la potencia sea máxima, a partir de ese valor la potencia decrecerá.

Para poder controlar el valor de la Lambda existe una sonda con el mismo nombre, encargada de examinar los gases de escape e informar a la ECU sobre cuál debe ser la relación aire/gasolina que debe de suministrar el inyector. En el caso de las motos de competición al buscar desarrollar la máxima potencia se trabaja con valores de Lambda inferiores a 1. En el caso de las motos de carretera, el valor de la Lambda es superior a la unidad, dado que en ese caso el consumo de combustible es menor que el teórico consiguiendo sacar el máximo rendimiento a la motocicleta.

- **Compresión:** Es el segundo tiempo, se inicia con el émbolo en la posición inferior, y estando la cámara de combustión llena de la mezcla de gasolina y aire con la válvula de admisión cerrada. La inercia del cigüeñal al que está unida el émbolo hace que el émbolo suba y comprima la mezcla. La gasolina y el aire son comprimidos dentro de la cámara de combustión produciendo que las moléculas choquen entre si aumentando la temperatura de la mezcla

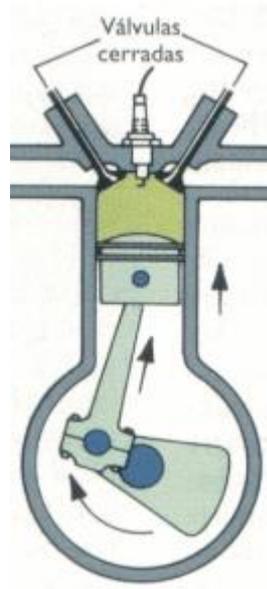


Ilustración 7: Tiempo de compresión

- **Combustión:** Es el tercer tiempo, el émbolo se encuentra en la posición más alta y la mezcla gasolina aire se encuentra comprimida. En esta fase, la bujía genera un chispazo que hace combustionar la mezcla. Esta combustión empuja el émbolo hacia abajo, y la biela y el cigüeñal transforman el movimiento lineal del émbolo en un movimiento giratorio.

Los motores de combustión interna encienden la mezcla de gasolina y aire a través de la chispa que lanza la bujía. Desde un marco teórico el momento ideal para lanzar la chispa es el instante cuando el pistón está en la posición superior con la mezcla comprimida para lanzarlo con la mayor fuerza posible. El punto en

el que el émbolo se encuentra en la posición más alta posible se llama punto muerto superior (PMS).

Como se ha mencionado, el momento idóneo para lanzar la chispa es cuando el émbolo está en el PMS. Sin embargo, al tratarse de un proyecto real los procesos no son instantáneos, el proceso en el que salta la chispa y combustiona la mezcla precisa de un determinado tiempo, y, por tanto, si la chispa se programa que salte en el PMS, la energía liberada en la combustión empujara el émbolo mientras este bajando y, por lo tanto, ocupara un volumen cada vez más grande bajando el rendimiento y desperdiciando parte de la energía liberada en la combustión.

De la existencia de este problema, surge el concepto de avance de encendido, el cual, consiste en hacer saltar la chispa antes de que el pistón llegue al PMS. El hecho de hacer saltar la chispa antes de llegar al PMS puede acarrear también problemas en el caso de que el avance sea muy alto. Esta situación se daría cuando salta la chispa mucho antes de que el émbolo llegue al PMS lo que provoca que el motor intente girar en dirección contraria a la habitual, es lo que se conoce como picado de biela o detonación.

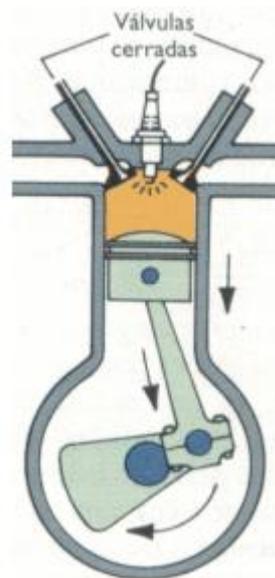


Ilustración 8: Tiempo de combustión

- **Escape:** Es el cuarto y último tiempo. El émbolo se encuentra en la posición inferior y la cámara de combustión se encuentra llena de los gases quemados en la combustión. En este tiempo, el émbolo sube y empuja a los gases hacia arriba para que salgan por la válvula de escape que se abre en ese momento dejando la cámara de combustión del cilindro vacía, dejándola lista para un nuevo ciclo.

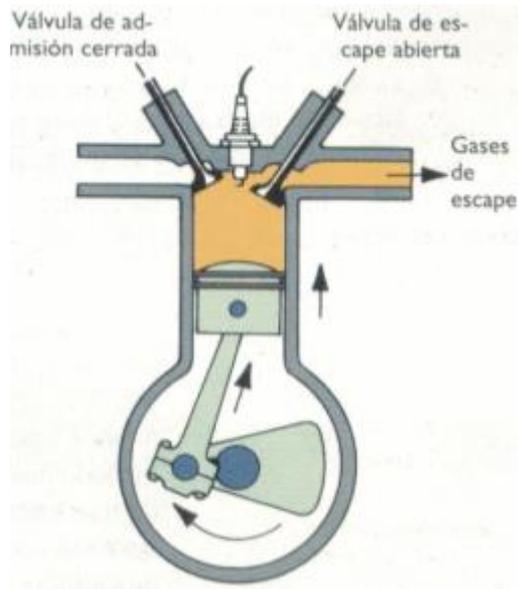


Ilustración 9: Tiempo de escape

Relaciones existentes

El funcionamiento de un motor de combustión interna se basa en la transformación de la energía química de un combustible en energía calorífica. La mezcla del combustible y el aire genera un aumento de la presión y temperatura en el interior del cilindro. Esta presión, produce una fuerza de empuje (F) sobre el pistón que provoca su traslación, y esta traslación mediante un mecanismo biela-manivela se transforma en un movimiento circular de giro del cigüeñal.

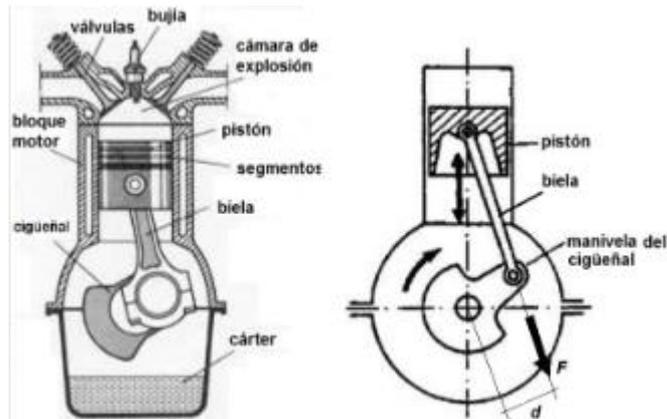


Ilustración 10: Mecanismo biela-manivela del motor.

El par motor (T) es el producto de la fuerza de empuje (F) sobre el émbolo, por la distancia (d) al eje de giro del cigüeñal.

$$T = F \cdot d$$

El valor de la fuerza, y, por ende, el valor del par motor es variable. Al tratarse de un motor de cuatro tiempos la fuerza es máxima en el momento que se produce la combustión de la mezcla aire-combustible y en su posterior expansión en el cilindro, mientras que en el resto de los tiempos no genera par motor.

Como se ha dicho, el par motor varía en función del ciclo en el que se encuentre el motor, pero también varía en función del régimen de giro. A bajas revoluciones la combustión de la mezcla no resulta óptima debido a la escasa inercia que poseen los gases, que provoca que el llenado del cilindro no sea el óptimo, al igual que su vaciado. Por otro lado, si el motor gira a altas revoluciones el llenado del cilindro no es completo, debido al escaso tiempo para llenarlo. A continuación, se adjunta una gráfica con la curva par motor-potencia frente a las revoluciones de giro del motor.

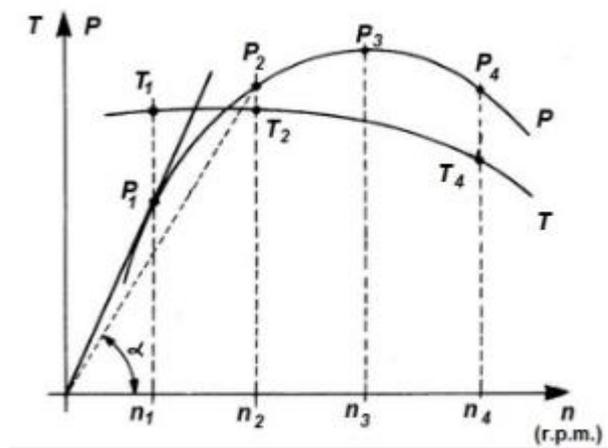


Ilustración 11: Curva de par motor y potencia.

Como se ve en la curva de par motor y potencia la curva del par es ascendente hasta llegar a unas específicas revoluciones donde el motor se encuentra con el par máximo, T_1 . A partir de ese momento empieza a bajar progresivamente. Según la hoja de especificaciones, en el motor KTM RC 250 el valor $T_1 = 24 \text{ Nm}$ sucediendo a 7.250 rpm. A partir de ese punto de revoluciones el par decrece por diversos factores, como son:

- Insuficiente llenado de aire en cada ciclo.
- Inadecuada evacuación de gases conforme aumenta las revoluciones.
- La combustión va perdiendo eficacia.
- El tiempo para cada combustión se reduce.
- La mezcla aire-combustible no se acaba de completar.

En la curva se observa que hay tramos en los que el par es decreciente mientras que la potencia todavía asciende. La potencia está relacionada con el par motor en función de la siguiente expresión, donde w es la velocidad angular del cigüeñal.

$$P = T \cdot w$$

La potencia resulta más interesante expresarla en función de las revoluciones por minuto. Quedando la siguiente expresión, donde n es el número de revoluciones por minuto:

$$P = T \cdot \frac{n}{\frac{60}{2\pi}}$$

Análisis de alternativas

En este apartado se van a tratar las distintas alternativas existentes para cumplir los objetivos del proyecto. Lo primero que se analizará no será una alternativa en sí, sino comprobar que la unidad de control que se tiene sirve para este proyecto, ya que es preferible utilizar la que se tenía los años anteriores a comprar otra nueva, porque el presupuesto del equipo es limitado. Posteriormente, se barajará la opción de si la electrónica empleada será abierta o cerrada con sus consecuentes ventajas y desventajas. En el caso de utilizar una electrónica abierta, se decidirá si usar un control de lazo cerrado un abierto, y en el caso de ser cerrado se buscará cual es el mejor método para hacerlo. Finalmente, se analizarán las opciones existentes para poder llevar a cabo la innovación.

Validez de la unidad de control

Con el presente subapartado, se pretende determinar, si la unidad de control empleada en las motocicletas del equipo en los años anteriores sirve para el motor de la presente competición. En los siguientes capítulos se profundizará en el funcionamiento de la unidad de control, este apartado se ceñirá únicamente a sus características y capacidades. La unidad de control existente en el equipo es la Motec M400. Se trata de una potente unidad de control de motor con múltiples salidas y entradas, como pueden ser: 4 salidas para inyectores, 4 salidas para módulos de encendido, una entrada para una sonda Lambda, entradas para sensores magnéticos y múltiples salidas auxiliares donde se pueden implantar una gran cantidad de funciones como el cambio automático de marchas. En la siguiente imagen se muestran gráficamente sus entradas y salidas.

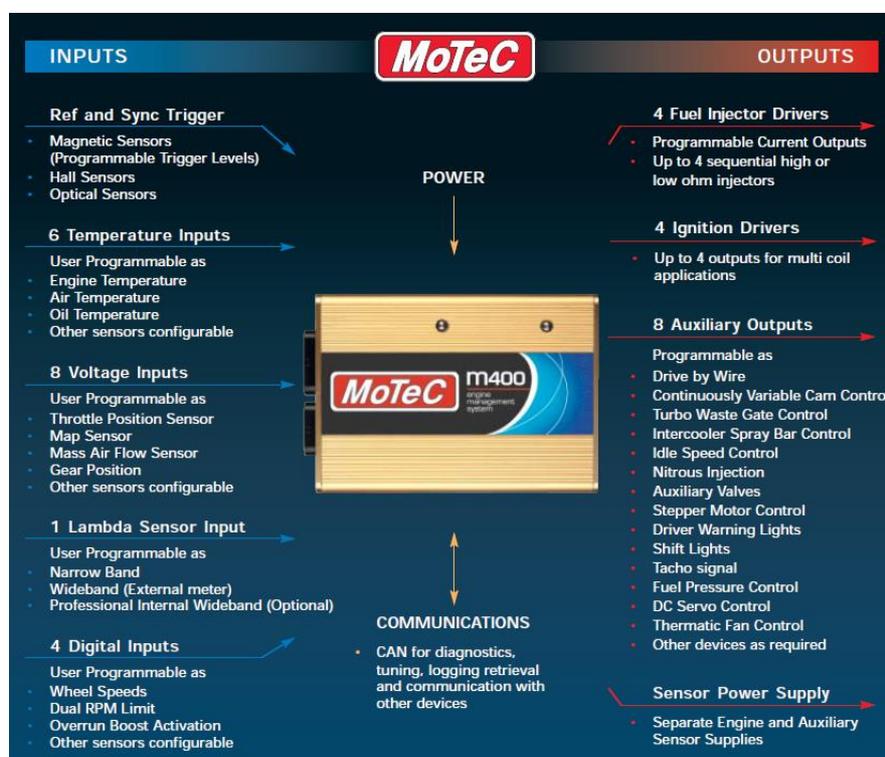


Ilustración 12: Entradas y salidas Motec M400

Se puede ver que la unidad de control está diseñada para controlar motores de hasta 4 cilindros, por lo que, en cuanto al número de salidas encargadas del encendido y de la inyección, no habría problema en seguir contando con esta ECU. Los sensores que se emplean para el proyecto son: un sensor magnético, dos entradas de temperatura, dos entradas de voltaje, no se sabe si una entrada de sensor Lambda, y el conector CAN. Por lo que la Motec M400 dispone de muchas más entradas de las que se necesitan. Por lo tanto, esta edición se seguirá contando con esta ECU.

Electrónica empleada

Otra opción que se debe de barajar a la hora de gestionar una motocicleta es el tipo de electrónica empleada. Existen dos opciones, emplear una electrónica cerrada comercial, o una electrónica abierta programable.

Instalar una electrónica cerrada comercial implica no poder controlar los parámetros del motor a tu gusto, el motor se regiría según la centralita comprada, sin poder ser modificada por los usuarios. Para emplear este método se debe adquirir el sistema eléctrico y la centralita de serie.

Instalar una electrónica abierta permite controlar el motor en función de los parámetros que se quieran. Para ello, se debe de diseñar el sistema eléctrico empleado, porque en función de los elementos y sensores colocados en el sistema, se tendrán unos parámetros u otros con los que controlar el funcionamiento de la moto. Los sensores colocados en la moto darán información sobre la variable que deban controlar, por lo que con la electrónica abierta se eligen los sensores que se desean y con esas mismas variables, en función de su valor se puede hacer funcionar la moto de una manera u otra. Esta opción requiere más trabajo, pero permite controlar el motor como se quiera.

En definitiva, la instalación comprada requiere menos trabajo, y al ser comprada integra, tiene muy pocas probabilidades de que falle. Sin embargo, una electrónica abierta permite controlar como se quiera y según los parámetros que se quieran el motor. La gestión del motor permite optimizar el funcionamiento del mismo, haciendo que funcione desarrollando más potencia que el motor con la centralita comercial. Además, no hay que olvidar que se trata de una actividad universitaria orientada al aprendizaje, por lo que no es comparable los conocimientos que se adquieren diseñando el sistema eléctrico y gestionando el motor, que comprando directamente todo hecho.

Por lo tanto, aunque resulte más laborioso y si no se trata bien pueden llegar a ocurrir fallos, se empleara en el proyecto una electrónica abierta creada.

Tipo de control

En este subapartado se analizará el tipo de proceso de control que utilizará la ECU para controlar el motor. Existen dos tipos de control: control por lazo abierto o por lazo cerrado. El control por lazo abierto se basa en controlar el motor en función de los valores que proporcionen los sensores. El control en lazo cerrado aprovecha para el control los resultados del motor, formando una especie de realimentación de los datos de salida.

El control en lazo abierto es el control más sencillo, no se tiene en cuenta la salida para la toma de decisiones. Únicamente la ECU actuará con los datos recibidos de los sensores, por lo que, la precisión y la calidad de las salidas que emita la ECU dependerán exclusivamente de la calidad de los sensores.

Por otro lado, al tener una ECU programable existe la posibilidad de poder introducir una realimentación, la cual, permite comparar una muestra de salida con las señales que se le envían a la ECU. El hecho de introducir una realimentación permite que la ECU actúe con más exactitud y que las posibles perturbaciones se sensibilicen.

Teniendo una centralita programable, el hecho de introducir un lazo cerrado no es un problema, por lo que se llevará a cabo el control por lazo cerrado. El control en lazo cerrado se hace por medio de una sonda Lambda tomando información de los gases de escape.

La sonda Lambda puede ser de dos tipos, de banda ancha o de banda estrecha. Para entender la diferencia, es preciso conocer que la sonda está colocada en el tubo de escape, y lo que evalúa es la proporción de oxígeno existente. Con esa proporción de oxígeno determina si la mezcla es rica o pobre.

La sonda es de banda estrecha manda una señal a la ECU de 0 V o 1 V en función de la mezcla. Solamente tiene esas dos opciones, y en función de si la mezcla es rica o pobre, manda una señal u otra.

Si la sonda es de banda ancha manda una señal a la ECU entre 0 V y 5 V. En este caso, este tipo de sonda en función del valor Lambda que tenga, manda una señal u otra a la ECU, informándole con precisión del valor Lambda. La gran ventaja de este método y por lo que se va a emplear este tipo de sonda, es porque aparte de conocer si la mezcla es rica o pobre, indica su grado de riqueza o pobreza, permitiendo a la ECU actuar con más precisión.

Alternador

En este subapartado se van a plantear las alternativas existentes para la realización del proyecto de innovación tecnológica que el proyecto debe abordar. La sección estará centrada en analizar las posibilidades en el mercado para la búsqueda de la mejor solución posible para lograr contrarrestar la potencia que el alternador consume. La elección del cableado y los componentes que se deben de emplear para lograr el funcionamiento de la motocicleta no precisa de un análisis de alternativas al uso, porque al tratarse de un motor ya definido, sus componentes con sus respectivos conectores están ya definidos

Para poder analizar las alternativas, se va a realizar un estudio de mercado en busca de soluciones a problemas similares al que nos acontece. Para ello, se va a analizar en distintas motocicletas de competición los métodos que se emplean para lograr que en los momentos en los que la motocicleta demanda la máxima potencia, la moto reciba la máxima potencia sin pérdida alguna. Las distintas soluciones encontradas serán expuestas separadamente, analizando las características de cada una de ellas.

Finalmente, tras analizar todas las soluciones encontradas se mostrará la solución técnica adoptada para hacer frente al problema.

Prescindir del alternador

Para analizar este caso, se parte del conocimiento de cuál es la función del alternador en el sistema eléctrico de la motocicleta. El alternador es el encargado de alimentar la batería durante el funcionamiento de la motocicleta, pues aprovecha parte de la energía producida en la combustión del motor para convertirla en energía eléctrica, energía eléctrica que será aportada a la batería para cargarla. Si la batería no se carga durante el funcionamiento de la motocicleta, la batería se ira descargando debido a que está continuamente alimentando diversas cargas, y finalmente la motocicleta se parará.

Según lo mencionado, parece inviable no contar con el alternador para que vaya cargando la batería mientras se usa. Sin embargo, analizando distintas instalaciones eléctricas en motocicletas de competición se ha apreciado que hay un porcentaje de motos que prescinden de un generador de energía (En nuestro caso: Alternador), para sustituirlo por acumuladores de energía más potentes. En nuestro caso particular, el alternador sería sustituido por una batería más potente o por varias baterías. La batería o las baterías a emplear serán las necesarias para poder abastecer a las cargas del circuito eléctrico durante el transcurso de la competición. A continuación, se analizarán las partes beneficiosas y perjudiciales de esta opción.

Ventajas: La motocicleta tendrá toda la potencia del motor disponible en cualquier momento, debido a que no existirá alternador que consuma parte de la potencia máxima del motor. Otro detalle a tener en cuenta es que se reduce peso, porque, aunque haya que añadir otra batería o una de mayor tamaño, se reduciría el peso del alternador y del regulador-rectificador. Sin embargo, dadas las limitaciones de la competición MotoStudent no está claro que realmente se vaya a conseguir una reducción de peso.

Desventajas: El aspecto negativo de prescindir del alternador es que, a pesar de poder calcular la capacidad de batería necesaria, se corre el riesgo de que debido a algún incidente la batería falle, lo que provocaría el fin de las aspiraciones del equipo. Este fallo de la batería se puede dar también por un consumo inesperado, como la necesidad de arranque de la moto tras una calada.

Desconectar el alternador en función del ángulo de apertura de mariposa

Se trata de una posibilidad que se plantea en este proyecto. La válvula de mariposa se abre en función de la aceleración que el piloto demande, por lo tanto, los momentos en los que el piloto acelere al máximo, demandando la máxima potencia posible, la válvula de mariposa estará abierta, pudiendo enviar fácilmente información sobre su estado a la centralita de la moto. Centralita que es programada, y en función de los datos recibidos y las consignas implantadas, dará la señal de desconexión del alternador o no. Llevar a cabo este proyecto, tiene consigo partes positivas y negativas:

Ventajas: El hecho de desconectar y conectar el alternador en función de la apertura de mariposa, permite que únicamente se desconecte el alternador en los momentos en los que realmente es importante la máxima potencia que genera el motor. Pues se

puede programar la centralita del motor, para que lance una señal para desconectar el alternador en los instantes en los que la apertura de mariposa sea tal, que indique que el piloto está acelerando demandando la potencia máxima del motor. El hecho de que él alternador únicamente se desconecte en los momentos de máxima aceleración, implica que el resto del tiempo la batería se sigue cargando, por lo que este sistema goza de una gran fiabilidad.

Desventajas: El método mencionado se basa en la desconexión-conexión del alternador, y por tanto de la carga-descarga de la batería. A pesar de que, durante la carrera, los instantes en los que el piloto acelera al máximo y, por tanto, se desconecta el alternador, no son muchos. Estas desconexiones-conexiones pueden traer problemas en lo referente a la vida útil de la batería, pues aproximadamente unos 200~300 ciclos de carga. Como se ha mencionado en el apartado anterior, en el circuito en el que se desarrolla la competición MotoStudent existen únicamente dos tramos por vuelta donde el piloto puede acelerar al máximo y por tanto que se produzca la desconexión del alternador. Aun así, debido a que se realizan numerosas pruebas hechas con la moto antes del desafío final, puede darse el caso de que se pueda dar el deterioro de la batería sino se trabaja con cuidado.

Desconectar el alternador en función de la carga de la batería

Analizando motocicletas de competición se observó que en algunas motocicletas estaba implantada la posibilidad de desconectar el alternador en función de la carga que tuviera la batería. Este método es complementario al método anteriormente expuesto, pues establece unos rangos de funcionamiento de los distintos métodos de desconexión en función de la carga de la batería. Esto es, si la batería de la moto se encuentra por encima de una carga especificada, el alternador se mantendrá desconectado. Mientras que, si la carga de la batería se encuentra por debajo de un valor determinado, el alternador se mantendrá conectado. A continuación, se expondrán las ventajas y desventajas.

Ventajas: La principal ventaja de este sistema es la gran garantía que ofrece en comparación con otros métodos. Gestionar el alternador en función de la carga de la batería garantiza no quedarse sin batería en medio de la carrera, ya que configura una carga mínima de la batería, por debajo de la cual, el alternador se encontrará permanentemente cargando la batería.

Desventajas: El problema que tiene este método es la inestabilidad que crea al piloto. Esta inestabilidad surge porque el piloto desconoce completamente la carga que tiene la batería, por lo tanto, desconoce si el alternador está conectado o no, y, por lo tanto, causa de la mencionada inestabilidad: no sabe la potencia que en esos instantes tiene la motocicleta. El siguiente ejemplo clarifica la situación, donde se ha supuesto que por debajo de los 12V el alternador se conectara: El piloto se encuentra en la recta principal adelantando a un piloto de otro equipo, la carga de la batería en estos momentos es de 12,5V, por lo tanto, tiene el alternador sin conectar y en el momento de la máxima aceleración dispone de toda la potencia generada en la combustión. Seis vueltas después el piloto se encuentra en la misma situación, con 0,6V menos y, por lo tanto, con el alternador conectado a la batería consumiendo potencia. En esta nueva vuelta,

el piloto se dispone a adelantar a otro piloto, dado que se encuentra a la misma distancia con la que antes había sido capaz de adelantar. Sin embargo, debido a que la moto dispone de menos potencia el adelanto no ha podido realizarse. Como se ha ejemplificado, el hecho de desconectar-conectar el alternador en función de la batería crea inestabilidad en el piloto a la hora de conducir, ya que el piloto ni sabe ni controla el estado del alternador en cada momento, por lo que no sabe la potencia con la que va a contar en el momento en el que acelere.

Resultado

Analizando los distintos métodos expuestos anteriormente, la solución adoptada es proceder a desconectar el alternador en función del grado de apertura de mariposa. Esto permite desconectar el alternador solo en los instantes en los que la potencia que absorbe es requerida por la motocicleta. Además, por precaución, se establecerá una carga mínima que debe de tener la batería para poder desconectar el alternador.

Modo de desconexión

Como se ha mencionado, se va a proceder a desconectar el alternador en función del grado de apertura de la mariposa. La cuestión que se plantea es seleccionar el lugar donde se da dicha desconexión, existiendo dos posibilidades:

- **Desconectar tras rectificar la tensión:** Es la opción más simple para ejecutar, dado a que: Únicamente se debe desconectar una fase, el dispositivo no tiene gran tamaño, y, la experiencia que dispone el equipo en las desconexiones monofásicas es muy superior a la que dispone en las trifásicas. Sin embargo, el principal problema que tiene esta opción es la potencia que disipa el regulador-rectificador. Por lo tanto, como el regulador-rectificador no tiene una eficiencia del 100%, parte de la potencia que entra al dispositivo no es cortada, sino que es disipada por el regulador. Por lo que, en este caso, al cortar el alternador, una pequeña parte de la potencia generada en el motor debe ir destinada a las pérdidas del regulador. No suministrando en este caso a la motocicleta toda la potencia que el motor genera, debido a las mencionadas pérdidas.
- **Desconectar en las 3 fases de salida del alternador:** En este caso, la desconexión se realizará a la salida del estator del alternador. Este hecho permite reducir las pérdidas al mínimo, ya que la desconexión se realiza sin pasar antes por un dispositivo que pueda llegar a disipar potencia. Sin embargo, el hecho de desconectar tres fases por la que circula corriente alterna no es una tarea sencilla, a continuación, se presentan dos formas distintas con las que se pueden desconectar dichas fases.
 - **Desconectar cada fase con un dispositivo:** Esta opción consiste en desconectar cada una de las tres fases con un distinto dispositivo, eso sí, los dispositivos se encuentran cableados entre ellos permitiendo activarlos a la vez. Aunque la activación se realice a la vez, debido a que las conexiones entre los cables no son perfectas no se abrirán o se cerrarán los dispositivos en el mismo preciso instante, existirá una pequeña diferencia en los instantes de apertura de los distintos

dispositivos. Este hecho, puede provocar problemas de estabilidad debido a que las ondas trifásicas se encontraría desplazadas, por lo que es un método de desconexión que no se realizará.

- **Desconectar las tres fases a la vez:** Para evitar los problemas anteriormente mencionados al utilizar un dispositivo por cada fase, surge la necesidad de emplear un dispositivo que permita desconectar las tres fases instantáneamente al recibir la señal de control. Esto será posibilitado gracias a la existencia en el mercado de relés de tres fases que desconectan a la vez dichas fases, tras recibir una única señal de excitación.

Analizando las distintas posibilidades que permiten desconectar el alternador se va a realizar la desconexión de las tres fases a la vez mediante un único dispositivo. El dispositivo que se va a emplear es un relé de estado sólido de tres fases que permite conmutar las tres fases a una gran velocidad.

Descripción de la solución propuesta. Diseño

En este apartado se va a realizar una exposición del funcionamiento global del sistema eléctrico, como su correspondiente gestión del motor. Primero se explicará la interrelación de todos los elementos que componen el sistema, realizando un análisis de cada elemento, para posteriormente explicar el funcionamiento global del sistema, apoyado en un esquema completo del sistema eléctrico de la moto. Finalmente se explicará como se desarrolla el afino del motor, y como se va a desarrollar el proyecto innovador.

Instrumentación empleada

En este apartado se va a describir el funcionamiento de los instrumentos que se emplean para la consecución del proyecto y la función que desempeñan en él mismo.

Engine Control Unit (ECU)-Motec M400

La unidad de control de motor o ECU es una unidad de control electrónico que administra varios aspectos de la operación de combustión interna del motor. Las unidades de control de motor más simples sólo controlan la cantidad de combustible que es inyectado en cada cilindro en cada ciclo de motor. Las más avanzadas controlan el punto de ignición, el tiempo de apertura/cierre de las válvulas y el control de otros periféricos.

El dispositivo está conectado a una serie de sensores que le proporcionan información, y unos actuadores que ejecutan sus comandos. Una centralita electrónica cuenta con software cuya lógica le permite tomar decisiones (operar con los actuadores) según la información del entorno proporcionada por los sensores.

La ECU que se ha implantado la Motec M400, una unidad de control potente y eficaz para las modernas aplicaciones de hasta cuatro cilindros con inyección secuencial y múltiples bobinas de encendido. Ocho salidas auxiliares proporcionan un control para los diversos dispositivos y sistemas normalmente manejados por la unidad de control.



Ilustración 13: Motec m400

Alternador

El alternador es un dispositivo se caracteriza por tener el inductor en el rotor y el inducido en el estator. El alternador no dispone de un sistema excitación externa con el que crear polos norte y sur, por lo que se trata de un alternador de imanes permanentes. Estos imanes permanentes crean un campo magnético, debido a que el eje del rotor se encuentra girando, el campo magnético gira creando un campo magnético rotativo. Este campo magnético rotativo se desplaza respecto los conductores del estator y que, de acuerdo con la ley de Faraday, inducirá una fuerza electromotriz en los conductores que forman las espiras alojadas en el estator, las cuales no se mueven. En la máquina se genera una inducción magnética sinusoidal que se desplaza a lo largo de la máquina debido al giro del rotor. Esto provoca que en cualquier punto del estator se tenga una inducción perpendicular a la velocidad tangencial del rotor y cuya magnitud varía de forma sinusoidal. Es decir, en cada instante el valor de la inducción en ese punto es diferente debido a que la onda se desplaza al girar el rotor. Por lo tanto, a lo largo de toda la maquina hay una onda de inducción sinusoidal creada por el rotor. Como el rotor se desplaza, la onda de inducción se desplazará con él, de manera que la inducción en cada punto del estator varía con el tiempo. A continuación, se presenta una imagen simplificada del funcionamiento del alternador.

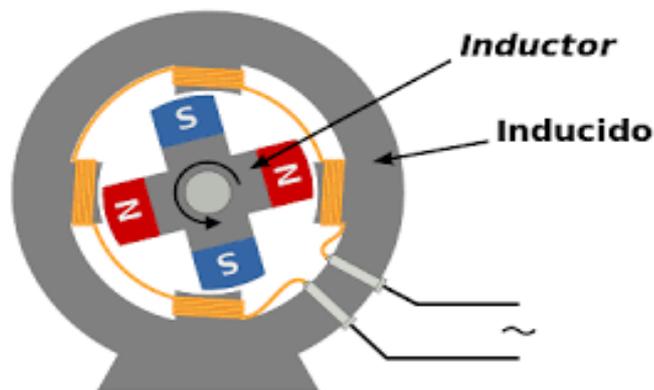


Ilustración 14: Alternador

Función en el sistema: Atendiendo a nuestra situación particular, el alternador con el que se cuenta es el presente en el motor KTM RC 250, que, según la hoja de especificaciones proporcionadas por la organización, el alternador es de 12V y 296W. El alternador permite cargar la batería de la motocicleta gracias a que transforma la potencia mecánica en potencia eléctrica, empleada para cargar la batería. La potencia mecánica del alternador le es suministrada gracias al proceso de combustión del motor, en la que parte de la energía que se forma en el proceso es destinada a hacer girar el rotor que dotara de rotación al campo magnético. Mediante el proceso antes explicado, se inducirá una tensión en el estator, que será la empleada para iniciar el proceso de carga. Como se ha mencionado, el alternador empleado es de 296 W. Estos son los Watios que consume del motor, por lo tanto, serán los Watios extra que tendrá la motocicleta una vez desconectado. El motor con el que se cuenta es de 30,87 Caballos, lo que hace un total de $30,87 \times 735 = 22.689,45$ W. Por lo que, realizando el proyecto de innovación se consigue una mejora del $\frac{296}{22.689,45} \times 100 = 1,3 \%$

Regulador-rectificador

Un regulador-rectificador trifásico es un dispositivo electrónico capaz de convertir una corriente alterna en una corriente continua, mediante la utilización de dispositivos semiconductores como, por ejemplo, diodos. A continuación, se muestra un esquema rectificador para poder entender mejor su funcionamiento.

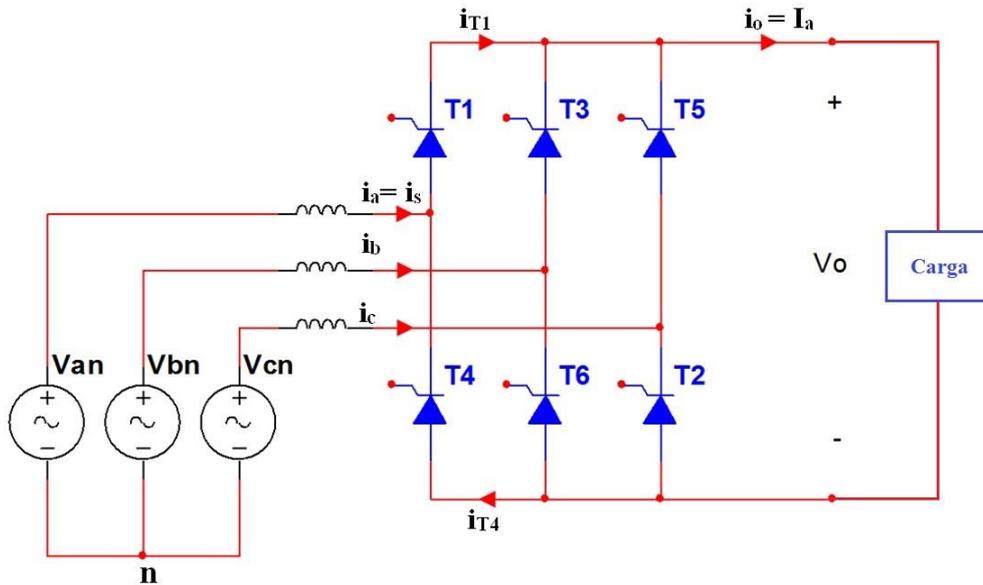


Ilustración 15: Esquema funcionamiento regulador-rectificador

En función de la ilustración 14, cada fase del alternador va dirigida a un diodo puente. En cada puente, los diodos T1, T3 y T5 van a dejar pasar a la parte de la onda positiva. Mientras que los diodos T4, T6 y T2 dejan pasar a la parte de la onda negativa. Esas dos partes, la positiva y la negativa irán a alimentar a su correspondiente terminal de la batería, representado en el esquema bajo el nombre de Carga.

Función en el sistema: El regulador-rectificador de la motocicleta es el dispositivo electrónico encargado de rectificar la tensión alterna que proporciona el alternador y de controlar el valor de la tensión de salida. Este dispositivo está conectado después de la zona donde está situados los relés, y permite regular la tensión a 12V y rectificarla para poder suministrar esa energía a la batería.



Ilustración 16: Regulador-Rectificador.

Batería

Las baterías son acumuladores eléctricos compuestos por una o varias celdas, celdas que se colocan unas detrás de otras en serie para aumentar la capacidad y la tensión del acumulador eléctrico. Una celda es un recinto cerrado en cuyo interior hay dos electrodos sumergidos en un electrolito. Los electrodos se comunican con el exterior mediante unos bornes que es donde la batería se conecta al sistema eléctrico empleado. Dentro de las celdas, entre cada uno de los electrodos y el electrolito, se producen unas reacciones químicas reversibles que son las que ceden o absorben electrones. Esto genera una tensión eléctrica entre los electrodos y por lo tanto entre los bornes de la celda.



Ilustración 17: Batería

Función en el sistema: La batería es un elemento indispensable para el funcionamiento de la moto, siendo la encargada de suministrar corriente eléctrica a las cargas de la motocicleta. La batería es cargada por el alternador (previo paso por el rectificador) en los instantes donde el relé está cerrado. Sin embargo, en los instantes en los que se abre el circuito porque el ángulo de apertura de la válvula de mariposa es mayor que el especificado, la batería no está siendo cargada, y es la encargada de dotar de autonomía al sistema eléctrico de la motocicleta. La batería con la que se cuenta es de 12V y 8Ah, y debe de alimentar las siguientes cargas: dos relés, el inyector, la bobina, el sistema de encendido, la bomba de gasolina, su respectiva entrada a la motec (la entrada A26) y el propio relé de estado sólido. Añadir que el polo negativo de la batería está conectado con la entrada A10 de la motec

Throttle Position Sensor (TPS)

El throttle position sensor o el sensor de posición de aceleración es un sensor situado en la garganta de la entrada del aire hacia el motor. Su función es detectar el ángulo de apertura de la válvula de mariposa, ángulo que será enviado a la motec, y según su valor se abrirán o se cerrarán los interruptores del relé. El funcionamiento del TPS se debe a que se trata de un potenciómetro rotatorio en la que sus extremos son el voltaje de alimentación y la tierra, y el terminal del centro es la señal de referencia.



Ilustración 18: TPS

Función en el sistema: En el caso que nos acontece los extremos del TPS están conectados a las entradas de la motec A2 (5V) y la B16 (0V), mientras que la señal de referencia está conectada a la entrada A14.

Sensor MAP y Sensor Temperatura

El sensor MAP (Manifold Absolute Pressure) es un sensor electrónico que controla la presión en la entrada de la garganta de admisión. Dependiendo de la presión existente en la garganta el sensor MAP, al estar constituido por un sensor piezoeléctrico, entrega una mayor o menor tensión a la ECU. El sensor de temperatura funciona igual que el MAP con la diferencia de que en vez de presión mide la temperatura.

Función en el sistema: En el sistema eléctrico de la motocicleta, el sensor MAP y el sensor que mide la temperatura del aire están integrados en un solo dispositivo constituido por 4 cables. Un cable para tierra, otro para la alimentación de 5V, y los otros dos cables son las señales de la presión y la temperatura que son tensiones que se encontrarán entre los 5 y los 0 voltios. El cable de tierra en la ECU va al pin B16, los 5V al A2, y las señales de presión y temperatura se introducirán en las entradas A15 y B3 respectivamente.



Ilustración 19: Sensor MAP y Temperatura

Sensor de temperatura del motor

El sensor de temperatura del motor es empleado para medir la temperatura de la mezcla del refrigerante en el sistema de refrigeración con lo que se recibe una indicación de cuanto calor está evacuando el motor. El sensor trabaja con la ECU de la moto, por lo que continuamente se tiene la señal de la temperatura del motor. Para obtener la medida de la temperatura es empleado un potenciómetro que varía con la temperatura. La tensión variable es enviada a la ECU, con lo que se obtiene la temperatura.

Función en el sistema: El sensor de temperatura permite controlar la temperatura del motor y es de alta utilidad en el momento de rodar en el banco de pruebas. Esto es porque la refrigeración en el banco no es buena, y se calienta rápidamente el motor, por lo que se debe de estar atento a la temperatura para no sobrecalentar en exceso. A la hora de conectar el sensor de temperatura existen dos cables. Uno de ellos es donde va la tensión que indica la temperatura, el pin B16 de la ECU, y el otro cable es el cable de tierra que va al pin B16 de la ECU.



Ilustración 20: Sensor de temperatura

Sonda Lambda

La sonda Lambda es un sensor que está situado en el conducto de escape que mide la concentración de combustible y aire existente en los gases de escape. La información de estos gases de escape es enviada a la ECU para regular constantemente la cantidad de combustible que se inyecta al cilindro, con el fin de obtener la relación aire-combustible deseada en la combustión. Para que el inyector inyecte la cantidad de combustible apropiada para el funcionamiento de la moto deben ser introducidas en la ECU los valores del factor Lambda que se desean, de esta manera, tras la lectura por la sonda de la relación existente en los gases de escape, la ECU actúa sobre el inyector haciendo que inyecte más o menos cantidad en función del valor establecido de funcionamiento deseado.

Función en el sistema: La sonda Lambda en el sistema eléctrico de la moto es la herramienta empleada para lograr funcionar con la relación aire-combustible deseada. En este caso, la relación aire-combustible deseada es la que proporcione una mezcla rica, en particular una mezcla con un factor Lambda de 0,89. Para el funcionamiento de la sonda Lambda es necesario que alcance una temperatura de 300 °C de funcionamiento, por lo tanto, la sonda Lambda empleada viene equipada con un elemento calefactor que permite que el tiempo en el que no está activa sea breve.



Ilustración 21: Sonda Lambda empleada.



Ilustración 22: Sonda Lambda introducida en el escape

Inyector

El inyector es el elemento encargado de inyectar combustible a alta presión en la cámara de combustión del motor. Está situado en la parte superior del cilindro, la culata, y se encarga de dosificar la cantidad necesaria de combustible en cada instante, entregando el combustible de forma pulverizada y sin goteos para que el combustible se distribuya de la forma más homogénea posible según el régimen de funcionamiento del motor.

Función en el sistema: Debido a la normativa que rige la competición MotoStudent el inyector de combustible deberá estar instalado antes de las válvulas de admisión del cilindro, no permitiendo la inyección directa en la cámara de combustión. Por lo tanto, se suministra el combustible en el colector de admisión. El inyector con el que cuenta la motocicleta del equipo es electrónico y recibe información de la ECU sobre cuándo debe de aplicar el combustible y cuanto combustible se debe de aportar en cada momento. Todos estos valores son programables en la ECU dependiendo del régimen en el que se encuentre la motocicleta. Para conectar el inyector con el sistema eléctrico se precisan dos cables. Uno conectado a 12V y el otro cable conectado a la ECU, concretamente a su terminal A19.



Ilustración 23: Inyector

Bomba de gasolina

La bomba de gasolina es el elemento encargado de hacer que el inyector reciba de manera constante el combustible. La bomba se encuentra en el interior del tanque de combustible y proporciona la presión mínima necesaria en el inyector.

Función en el sistema: La bomba de gasolina en el circuito eléctrico de la motocicleta se encuentra en la parte inferior del depósito y es activada mediante un relé 3 segundos después de que se alimente el sistema eléctrico. Este relé es colocado para evitar que la bomba este continuamente funcionando y el instante en el que se debe de activar la bomba es elegido mediante la ECU. La bomba de gasolina está alimentada por 0V y 12V, conexiones que son interrumpidas por el relé de bomba. Este relé tiene una pata

conectado a una salida auxiliar de la ECU, la A18 que hace función de tierra al activarse, y la otra pata del relé está conectada a la salida de la batería.



Ilustración 24: Bomba de combustible empleada

Sensor de posición del cigüeñal

El sensor de posición del cigüeñal o el crank sensor es un sensor magnético que genera una tensión usando un sensor y una rueda fónica con dientes perdidos que informa a la ECU y al módulo de encendido la posición exacta de los pistones en una vuelta del motor. La ECU aprovecha esta señal para calcular las RPM del minuto. El objetivo principal del sensor de posición del cigüeñal es ayudar al sistema de encendido e inyección indicándole el momento exacto en el que se puede producir la chispa o se puede inyectar combustible.

Función en el sistema: En el sistema eléctrico de la motocicleta el sensor de posición del cigüeñal está situado en la rueda fónica de la motocicleta del motor. La rueda fónica cuenta con 36-2 dientes, es decir, cuenta con 34 dientes físicos y el espacio para 2 dientes más donde no hay nada. Ese espacio sin ocupar por los dientes es lo que detecta el sensor, y, a partir de esa referencia se determina el punto muerto superior que es introducido a la ECU en forma de la diferencia angular entre el punto cuando el sensor está encima del hueco y el diente en el que el émbolo está en el punto muerto superior. En la foto adjunta se muestra la imagen del momento en el que se abrió el motor para lograr determinar la diferencia angular entre el punto muerto superior y la referencia.



Ilustración 25: Rueda fónica

Módulo de encendido

El módulo de encendido es el elemento encargado de conectar y desconectar la corriente a través de la bobina de encendido del motor. El módulo de encendido carga la bobina cuando la corriente está conectada, y en el momento en el que desconecta la corriente la bobina de encendido genera una tensión de inducción que provoca la chispa.

Función en el sistema: En el sistema eléctrico de la moto el modulo de encendido se encarga de conectar y desconectar la bobina, el módulo de encendido empleado es un módulo de Bosch 0 227 100 124 que tiene 4 entradas. La entrada nº1 esta conectada a la bobina, la conexión nº2 está conectada a tierra, la conexión nº4 está unida a la bobina que a su vez está cableada al sistema de alimentación, los 12V. Finalmente la entrada nº5 está unida a la ECU, de la cual recibe las señales de activación y desactivación. En la siguiente imagen se muestra el esquema de conexión del módulo de encendido proporcionado por el fabricante.

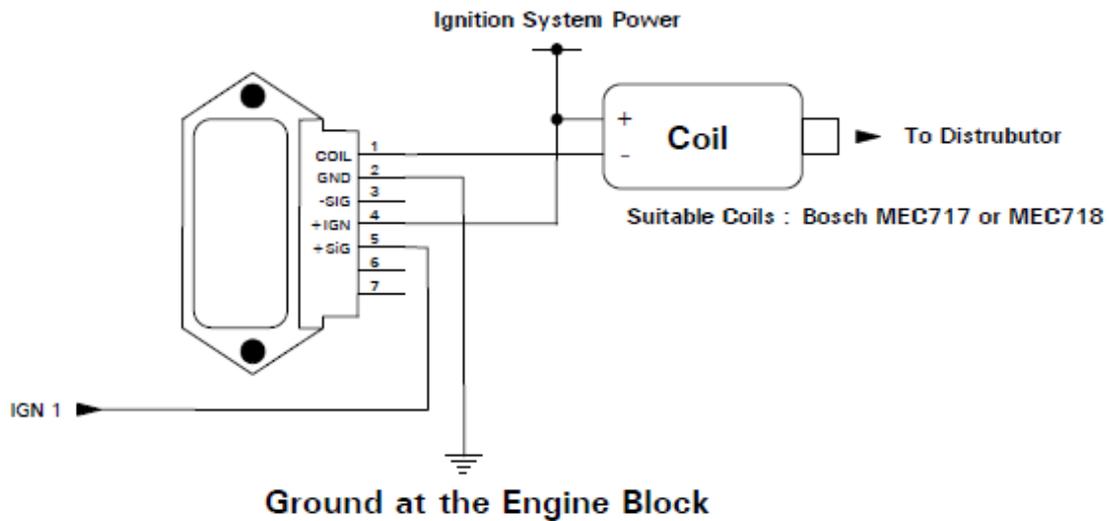


Ilustración 26: Esquema de conexión del módulo de encendido.

Bobina de encendido

La bobina de encendido es un dispositivo inductor que forma parte del encendido de la combustión interna del motor y cumple la función de elevar el voltaje suministrado a la bobina con el objetivo de lograr el arco eléctrico en la bujía para provocar la chispa en la cámara de combustión.

Función en el sistema: En el sistema eléctrico de la moto la bobina tiene la función de inducir la chispa en la bujía mediante la interrupción cíclica del primario provocando tensiones inducidas. El motor con el que se cuenta es de cuatro tiempos, por lo que la chispa debe ser producida una vez cada dos giros del cigüeñal. Sin embargo, la ECU permite enviar una chispa en cada revolución, método conocido como sistema de chispa perdida. La bobina cuenta con dos conexiones para el primario, una de alimentación positiva conectada al módulo de encendido, y la otra una señal negativa que proviene del módulo de encendido. La salida de la bobina tiene dos conexiones a su vez, una salida de masa y otra salida de alta tensión hacia la bujía. En la siguiente imagen se presenta la bobina empleada.



Ilustración 27: Bobina empleada

Bujía

La bujía es el elemento encargado de suministrar la chispa de encendido en la cámara de combustión que provoque la combustión de la mezcla aire-combustible. La chispa que se produce en la bujía viene dada por la alta tensión creada en la bobina y se expande en la cámara de combustión gracias al arco eléctrico formado entre los electrodos de la bujía. Estos electrodos tienen la misión de provocar la chispa por medio de una tensión aplicada a un electrodo central, que se descarga sobre otro electrodo de masa distanciado unos 0,5 mm. La distancia de los electrodos es un aspecto realmente importante en el funcionamiento de la bujía. Una distancia muy pequeña entre los electrodos implica una baja resistencia del dieléctrico, lo que hace que el arco, y por tanto la chispa, se produzca antes dado que necesita menos tensión para superar la rigidez dieléctrica. Este caso hace que la chispa salte antes provocando un funcionamiento irregular. En cambio, una separación mayor implica la necesidad de que para hacer saltar la chispa se precise una tensión mayor, lo que provoca que posiblemente la chispa salte más tarde perdiendo eficiencia, y al tener que soportar tensiones mayores la bujía precisará de mejores aislantes. Como se ha mencionado, para la fabricación de la bujía se deben de tener en cuenta las tensiones a las que va a estar sometida para poder seleccionar el aislamiento eléctrico apropiado. Además de este requisito eléctrico se deben de tener en cuenta exigencias mecánicas, químicas y térmicas que pueden afectar a su vida útil. La parte mecánica hace referencia a que la bujía debe soportar las oscilaciones de presión provocadas por el movimiento del émbolo, la parte química hace referencia a que debe de resistir a los procesos químicos de la cámara de combustión y a los residuos agresivos que resulten de la combustión. En cuanto a la parte térmica la bujía debe resistir el constante choque térmico producido por la salida caliente de gases y la admisión fría, además de tener que soportar las altas temperaturas creadas en la combustión. En la siguiente imagen se muestra la bujía empleada.



Ilustración 28: Bujía

Motor de arranque

El motor de arranque es un motor eléctrico auxiliar encargado de mover el motor térmico hasta que la moto se pone en marcha. El motor de arranque tiene la función de vencer la resistencia inicial de los componentes del motor térmico al arrancar, por ello está conectado su eje al mismo eje al que está conectado el cigüeñal haciendo que giren al unísono.

Función en el sistema: La organización impone que el arranque de la motocicleta debe de ser eléctrico, por lo que no se permite arrancar empujando la moto, y la existencia del motor de arranque es imprescindible. El motor de arranque en el sistema eléctrico de la motocicleta se activa mediante un pulsador que activa el **contactor de arranque**. El contactor de arranque cumple la función de un relé, solo que tiene distinta denominación porque soporta más potencia. Al arrancar la moto y pulsar el pulsador se cierra el circuito del contactor de arranque permitiendo circular 12V que van directos al motor de arranque y así conseguir poner en marcha el motor térmico. Cuando el cigüeñal gira mucho más rápido se desacopla del motor de arranque, por estar unidos mediante un rodamiento de sentido único, para así evitar daños por los excesos de revoluciones. En la siguiente imagen se muestra el esquema de un motor eléctrico.

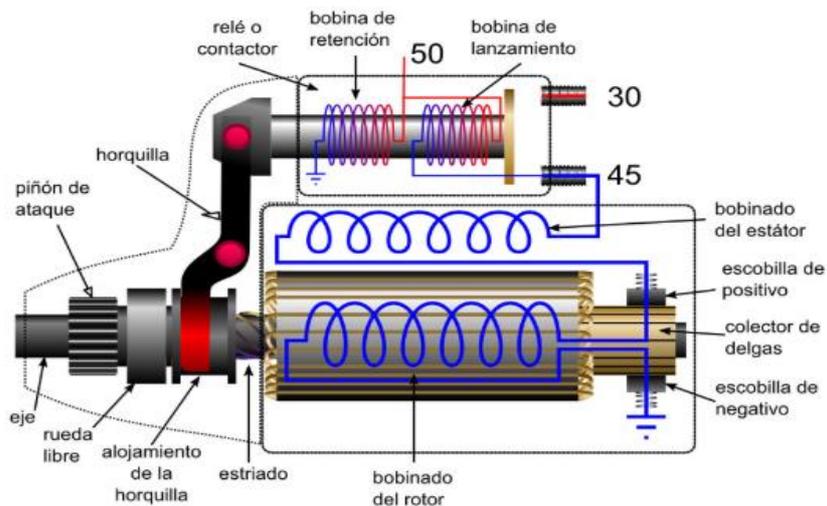


Ilustración 29: Motor de arranque

Software utilizado

En este apartado se va a realizar un análisis de los softwares empleados para realizar el proyecto. Estos softwares son “Motec ECU Manager” y “Motec i2”. Como se aprecia, los dos softwares son desarrollados por la empresa Motec, empresa especializada en desarrollar sistemas de control electrónico de vehículos. Los softwares utilizados tienen la función de gestionar la ECU, en el caso del software “Motec ECU Manager”, y de poder analizar el funcionamiento de la moto después de haber sido utilizada siendo una especie de telemetría, este es el caso de “Motec i2”.



Ilustración 30: Logo empresa Motec

Motec ECU Manager

La Motec ECU Manager es un software de uso libre empleado para gestionar la ECU del motor. Este software permite calibrar los distintos mapas y funciones del motor para conseguir que este funcione como se desea. Para poder calibrar e introducir en la ECU las distintas funciones del motor existe un utensilio llamado **conector CAN** que es un conector cuyos cables están cableados a la ECU y permite una interactuar con la misma, y por tanto con el motor, a tiempo real. El software Motec ECU Manager permite gestionar los siguientes aspectos:

- Calibrar distintos mapas en función del régimen en el que este funcionando la moto, esto quiere decir que en función de las revoluciones y la apertura de

mariposa a la que este rodando la moto se ajusta un valor a la ECU para que el motor trabaje de una determinada manera en función del valor. Los mapas principales para calibrar son: el mapa de encendido, ajusta el momento en el que salta la chispa, el mapa de inyección, determina el tiempo de apertura del inyector, y el mapa del valor Lambda, determina el valor de Lambda que debe de existir en cada posición. Junto a los mapas, el software presenta un gráfico ilustrativo en 3 dimensiones del mapa que se esta tratando. Este gráfico es de utilidad para analizar de forma general cómo se comporta el parámetro tratado a lo largo del funcionamiento de la moto, para de esta manera, poder encontrar puntos de funcionamiento aislados que tengan un valor que se distancien del funcionamiento general de la zona de los puntos. En la imagen se muestra un mapa de inyección junto a su representación gráfica. Se pueden observar diversos puntos y un movimiento irregular en el gráfico del mapa, señal de que hay que calibrar mejor esos puntos y homogeneizar el mapa para evitar saltos dispares. Los valores situados dentro de cada celda hacen referencia a un porcentaje de un tiempo seleccionado previamente, celdas con unidades de tiempo que son enviadas a la ECU para que está en función del régimen de giro abra el inyector el tiempo definido en su correspondiente celda.

Fuel Main (% of IJPU)		RPM	0	250	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
Efcy %	40,0		22,9	27,0	27,7	29,0	20,3	31,0	29,1	34,6	35,8	38,0	41,6	41,2	37,4	40,0
	35,0		22,0	27,2	28,1	30,0	19,0	30,3	26,9	34,4	39,1	37,9	39,3	40,7	42,1	44,7
	30,0		20,3	21,5	22,6	25,0	27,3	29,6	24,6	34,3	37,0	36,0	37,5	35,6	32,3	34,4
	25,0		18,6	24,9	25,9	27,7	16,3	26,1	22,4	35,1	36,4	35,0	31,0	29,4	27,8	25,4
	20,0		16,9	24,2	24,3	24,7	14,9	22,6	20,1	33,2	32,4	30,8	27,2	30,5	27,2	31,3
	15,0		15,1	22,3	22,2	22,1	13,6	19,0	17,9	28,5	28,3	26,6	21,0	20,8	20,7	14,9
	10,0		13,4	20,5	20,3	19,7	12,2	15,5	15,6	23,7	24,3	22,3	19,5	18,0	18,8	15,1
	7,0		12,4	18,6	18,4	18,2	11,4	13,4	14,3	20,9	22,4	19,8	15,4	16,6	9,0	10,8
	4,0		11,4	17,2	16,7	15,6	10,6	11,3	12,9	11,7	8,6	10,1	9,4	19,7	11,8	18,8
	2,0		10,0	14,9	14,9	14,7	14,6	14,5	12,0	10,2	12,0	12,0	11,9	9,0	11,9	11,9
	0,0		10,0	14,9	14,9	14,7	14,6	14,5	14,3	14,2	14,0	13,9	13,8	13,6	13,5	13,4

Ilustración 31: Celdas del mapa de inyección

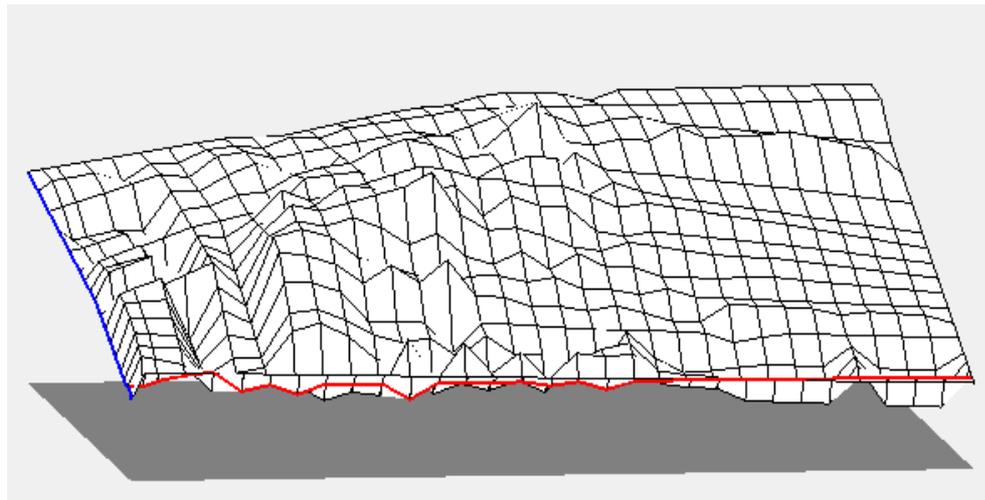
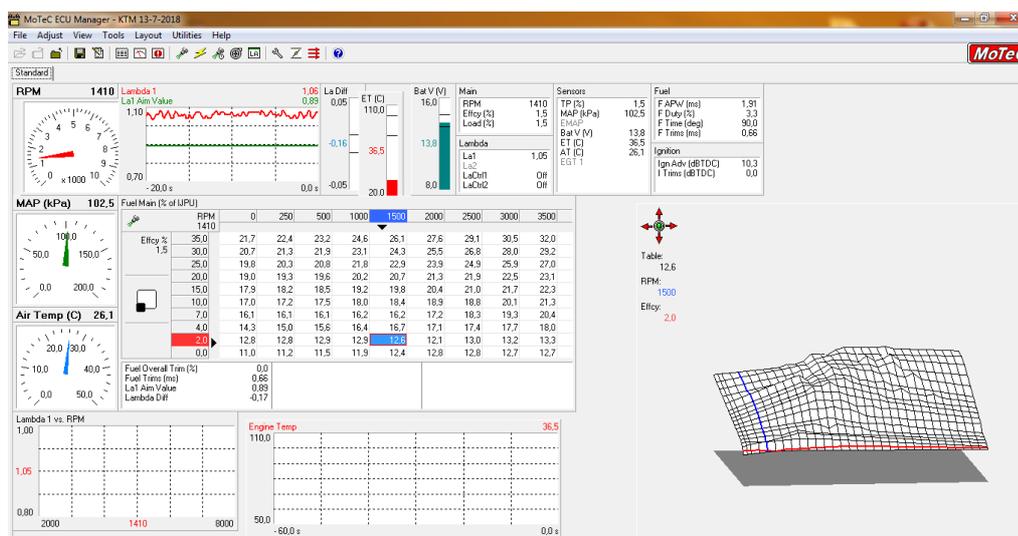


Ilustración 32: Representación gráfica del mapa de inyección

- Otra función que se desempeña con el software Motec ECU Manager es poder analizar el funcionamiento de la moto a tiempo real. Para poder realizar esta función es preciso que el conector CAN se encuentre conectado a la Motec, por lo que es una función que en carrera no se puede dar. Sin embargo, resulta muy útil esta función cuando se está trabajando la motocicleta en el banco de pruebas, ya que la moto está atada a un freno, y por tanto se puede conectar la ECU al PC mediante el conector CAN. Esta función permite ver a tiempo real el resultado que proporcionan distintos sensores conectados a la ECU, que son: Las revoluciones por minuto, el valor de la Lambda real y la Lambda objetivo, la temperatura del motor, la temperatura del aire, la presión, la carga de la batería, el grado de apertura de la TPS, y el valor del avance de encendido. En la siguiente imagen se pueden apreciar todos los sensores en funcionamiento.



- La función que se va a presentar es la importante para poder controlar la motocicleta con la ECU. No se trata de una función en sí misma, más bien es el modo de informar a la ECU sobre el tipo de motor, los sensores, y los objetivos buscados. La ECU empleada presenta un esquema en el que para cada pin de la ECU recomienda el sensor que se debe de introducir en dicho pin. Sin embargo, pese a que en el propio esquema de la ECU propone cual debe ser el sensor apropiado, se debe configurar de que sensor es la señal recibida en cada pin de la ECU. Esta es una de las funciones de la ventana ajustes del Motec ECU Manager, “decir” a la ECU de que es la señal que se está recibiendo, porque como se ha mencionado anteriormente, los sensores envían señales eléctricas, tensiones, y la propia ECU es la que tiene que transformar esas señales eléctricas recibidas en información útil. Para ello, se le asigna a cada sensor el pin en el que se ha introducido a la ECU, y posteriormente se introduce la correspondencia de tensiones, esto es, indicar para cada señal de tensión que recibe la ECU cual es el valor de la magnitud física que le corresponde. Además de tener que informar sobre cuál es el pin que ocupa cada sensor, hay que informar a la ECU sobre las características del motor, como, por ejemplo, el número de cilindros.

Motec i2

El software Motec i2 es otro software desarrollado por la empresa Motec que permite conocer cual ha sido el funcionamiento de la moto en los últimos 16 minutos. Este software permite ver cuál ha sido el valor que cada sensor ha entregado durante ese tiempo de grabación. Esto permite ver si la moto está funcionando como se desea ciñéndose a los valores queridos, o si en cambio presenta alguna zona en la que trabaje mal. Esta función es especialmente útil para cuando se va a correr con la motocicleta a circuitos preparatorios. Una vez realizada cada sesión de pista, la moto es llevada a los boxes donde se conecta la ECU al PC y dentro del software Motec ECU Manager se descarga el archivo donde viene la información de los últimos 16 minutos. Este archivo es abierto mediante el software i2 el cual muestra el valor que los distintos sensores colocados en la motocicleta han tenido durante este último intervalo de tiempo. A continuación, se muestra la interfaz gráfica del software Motec i2. Los datos mostrados son de una de las sesiones del día 17-6-2018 cuando se viajó al circuito de los arcos de Navarra para probar la motocicleta.

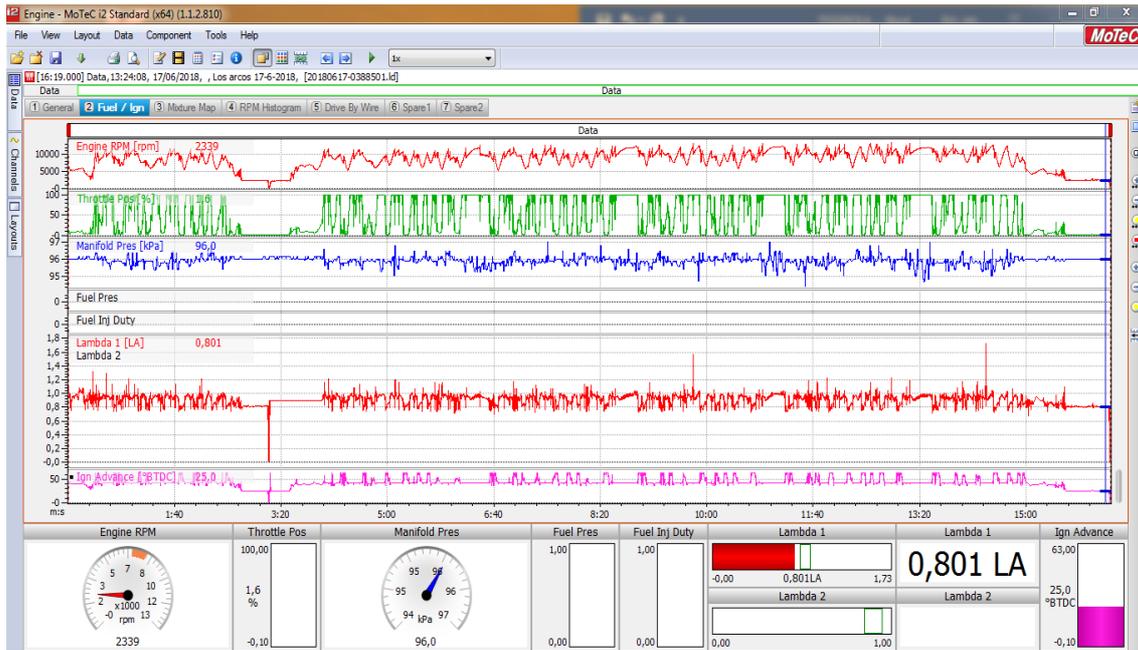


Ilustración 34: Motec i2

Funcionamiento global

En este apartado se va a exponer el modo de conexión de los distintos sensores empleados. Para ello, se parte del cableado de la ECU que la propia Motec proporciona, en el que vienen todos los sensores y su debido lugar de conexión. Sin embargo, no todo el cableado que se va a realizar está conectado a la Motec, ni solo esos sensores van a estar conectados a la Motec. De hecho, en el esquema proporcionado existen varios pines auxiliares donde van a estar localizados algunos sensores que no están presentes en el esquema original. En la siguiente pagina se muestra el esquema seguido.

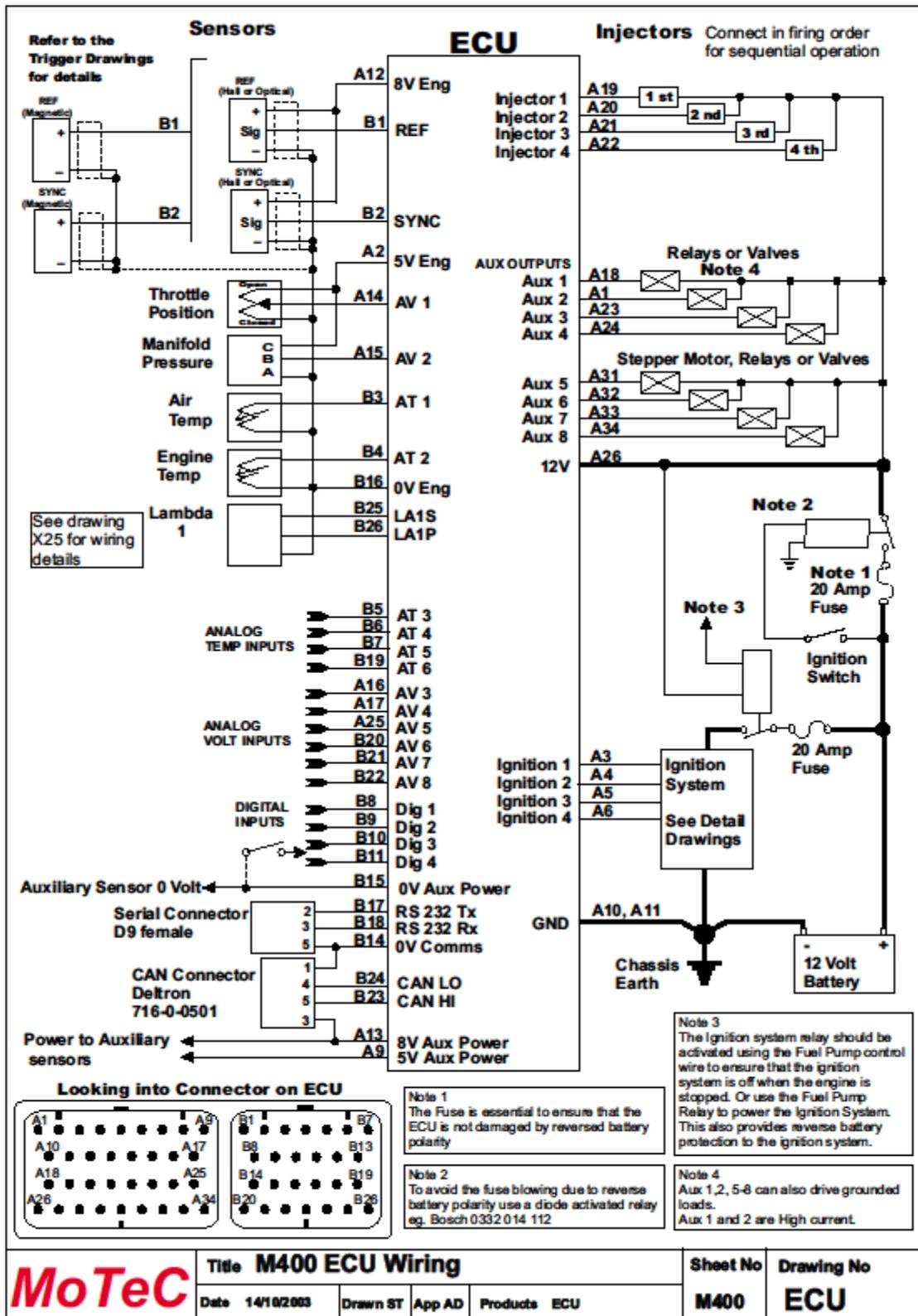


Ilustración 35: Esquema original de la ECU

Del esquema original presentado, se va a realizar una modificación en la parte que se encarga de alimentar el módulo de encendido y suministra los 12 V a la motec. Los dos fusibles y los dos relés son sustituidos por uno de cada para hacer más simple el circuito y evitar problemas. Apreciando el esquema, se puede ver que el relé que activa el módulo de encendido permite pasar los 12 V de la batería cuando a la ECU mediante su entrada A26 le llegan 12 V, tensión que activa el relé y permite alimentar el módulo de encendido. Por lo tanto, para activar el módulo de encendido es preciso que la ECU haya sido activada, por lo que se prescindirá de ese relé y se cableara directamente los 12 V que le llegan a la ECU por la entrada A26 al módulo de encendido. Como se aprecia en el esquema, para suministrar a la ECU los 12V procedentes de la batería se debe de activar otro relé. Ese relé es activado mediante un interruptor normalmente abierto llamado ignition switch que se encuentra en el manillar de la moto. Cuando se pulsa el ignition switch, se cierra el circuito y pasan por él los 12V provenientes de la batería. Estos 12V alimentan al relé, el cual se activa y cierra el circuito por donde pasan los 12V que alimentan a la ECU por su entrada A26. Esta parte del circuito se modificará ligeramente. El interruptor llamado ignition switch, en vez de cortar y permitir el paso de los 12V procedentes de la batería, estará ubicado en la masa, permitiendo que se cierre el circuito del relé, o que en cambio se quede en circuito abierto y no se active. En la siguiente imagen se muestra el esquema de cómo queda esta parte de la ECU después de la modificación al esquema original.

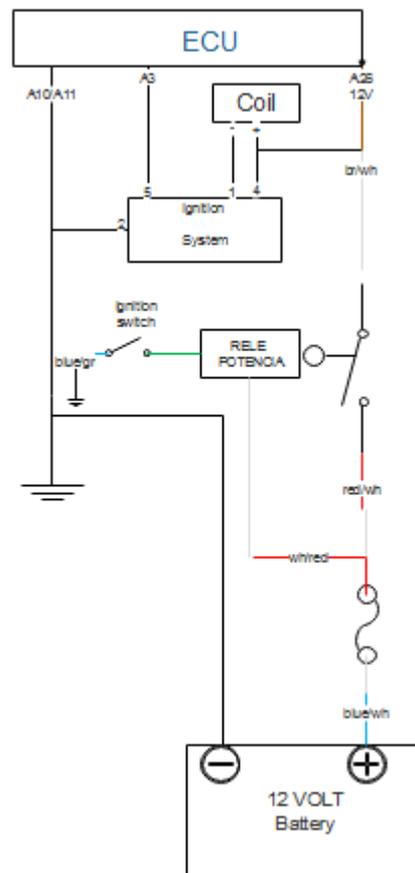


Ilustración 36: Esquema alimentación empleada

Para poder asimilar mejor el funcionamiento global del sistema se va a ilustrar en la siguiente página el esquema global del sistema eléctrico. En este esquema no estarán representados los elementos relacionados con el proyecto innovador, ni los elementos relacionados con el arranque. Los elementos no representados serán expuestos posteriormente.

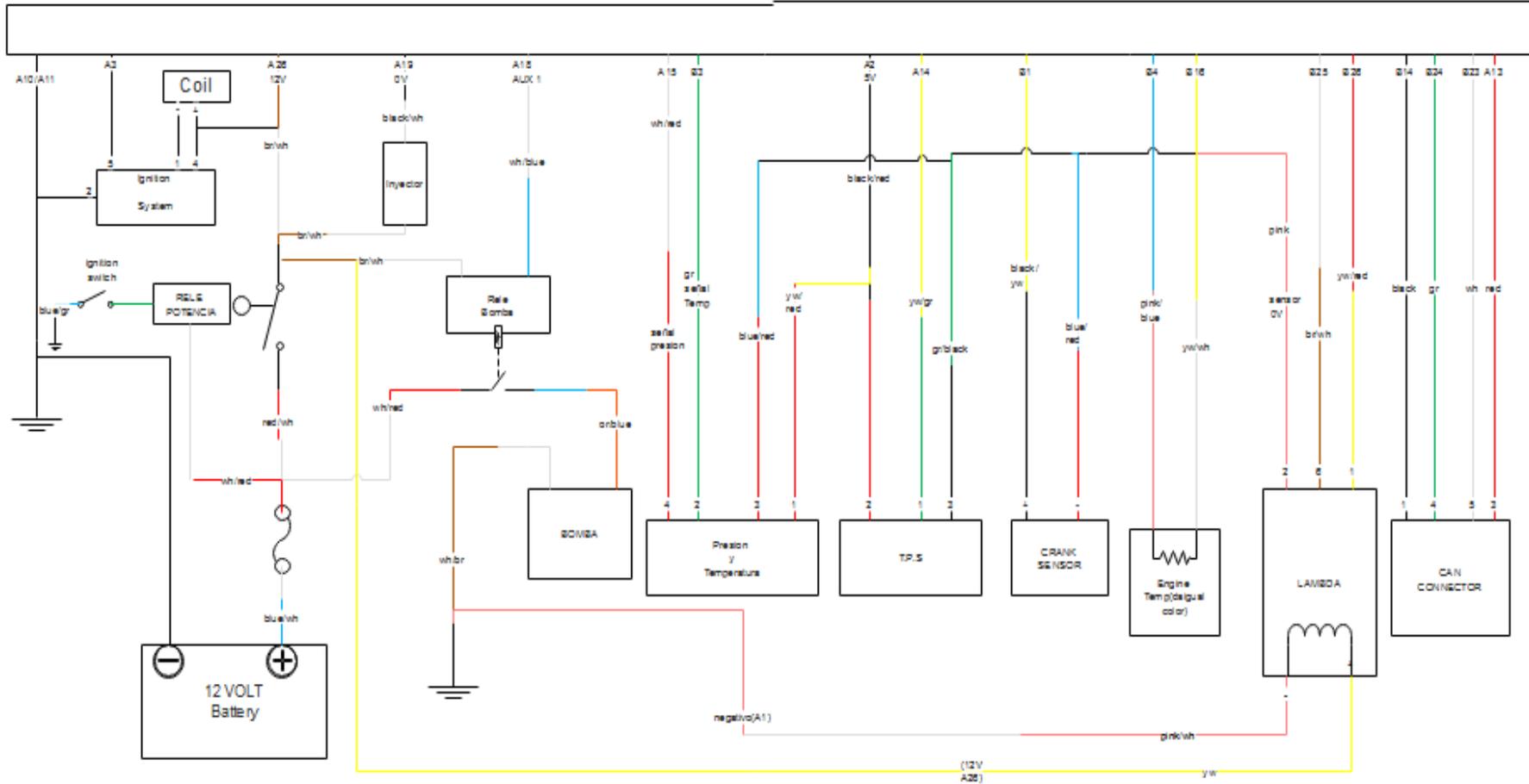


Ilustración 37: Esquema eléctrico ECU

El esquema eléctrico empleado para cablear la motocicleta del equipo es el mostrado en la página anterior. Se aprecia que los cables que unen cada sensor empleado están coloridos, emplear cables de distintos colores tiene como función permitir identificar cada uno de los cables para que no se lleguen a dar errores a la hora de conectarlos, ya sea a la ECU o entre sí.

El sistema eléctrico parte de la batería, la cual se encarga de alimentar a todo. El terminal negativo de la batería es conectado al chasis y a la entrada A10 de la ECU. Mientras que el terminal positivo de la batería se encarga de alimentar la bomba, el inyector, la bobina, el módulo de encendido y los relés de bomba y de potencia. Estos instrumentos son los que la batería se encarga de alimentar. Sin embargo, no se quiere que este constantemente alimentándolos, únicamente en los instantes en los que la moto vaya a estar funcionando. Por lo tanto, se debe de instaurar un sistema mediante el cual se puedan conectar y desconectar todos los elementos que son alimentados por la batería. Para lograr esa función se emplea el relé de potencia, que se activa cuando se pulsa el interruptor de encendido, "ignition switch". Este interruptor está colocado en el manillar de la moto, y con su pulsación se activa o se desactiva el relé de potencia, el cual es el encargado de alimentar o cortar las cargas conectadas a la batería.



Ilustración 38: Interruptor de encendido

Una vez activado el relé de potencia, la batería alimenta a la ECU y a las distintas cargas que tiene conectadas. Estas cargas son las que forman parte del sistema de encendido y de alimentación, y se activan, como se ha dicho, al pulsar el interruptor de encendido.

Los elementos que se encargan del encendido del motor son: la bobina y el módulo de encendido. Estos, son alimentados cada uno por los 12V a la salida del relé de potencia. El módulo de encendido está conectado a la ECU en su entrada A3, la cual dictamina el momento en el que se debe excitar la bobina para que lance la chispa que combustione la mezcla.

Los elementos que se encargan de la inyección son: el inyector, la bomba, y su respectivo relé. El inyector, para su correcto funcionamiento está conectado tanto a la

ECU como a los 12 V. La bomba es activada mediante un relé, el cual se ha configurado mediante el software Motec ECU Manager que se active tres segundos después de que la ECU haya sido activada. Esto es así, porque la bobina del relé esta conectada permanentemente a 12V y, el otro terminal de la bobina a la ECU. Tres segundos después de que se active la ECU, el terminal al que se conecta el relé se comporta como una masa, permitiendo cerrar el circuito y excitar la bobina que activara el relé, que a su vez permitirá alimentar la bomba y la pondrá en funcionamiento.

La otra parte del sistema eléctrico corresponde a los distintos sensores que están conectados a distintas partes de la motocicleta, estos son: Sensor de presión y temperatura, TPS, sensor de posición del cigüeñal, sensor de la temperatura del motor, sonda Lambda y el conector CAN. Estos sensores tienen una forma de conexión similar. Están conectados a una masa y a 5V procedentes de terminales de la ECU, el B16 y el A2 respectivamente. Además, tienen uno o varios cables donde transmiten la señal recibida a la ECU. Un caso particular es el de la sonda Lambda, que además de tener los cables característicos dispone de un calefactor para calentar la sonda Lambda. Este calefactor es una bobina conectada a terminales positivos y negativos, esto hace que por la bobina pase una intensidad que caliente la sonda Lambda y permita que su funcionamiento se adelante.

Como se ha mencionado al iniciar la explicación del cableado conjunto, en el anterior esquema no están todos los elementos que componen el sistema eléctrico necesario para hacer funcionar la moto. De hecho, no se ha mencionado la forma mediante la cual se consigue arrancar la moto, logrando vencer la resistencia inicial de los componentes del motor térmico. Para llegar a lograr lo mencionado, es necesario emplear el ya mencionado motor de arranque. Para activar este motor, es preciso suministrarle una alta intensidad que es extraída directamente de la batería. Esta alta intensidad es lo que provoca que se precise de un contactor, en vez de un relé. Una vez activado el pulsador de arranque, se cierra el circuito de excitación del contactor, lo que provoca su excitación y que se cierre el circuito que conecta el terminal positivo de la batería con el motor, logrando excitarlo con 12V. El terminal negativo del motor de arranque no hace falta que este interrumpido, por lo que se encuentra permanentemente unido al chasis. En la siguiente imagen se muestra el esquema eléctrico de la parte de arranque.

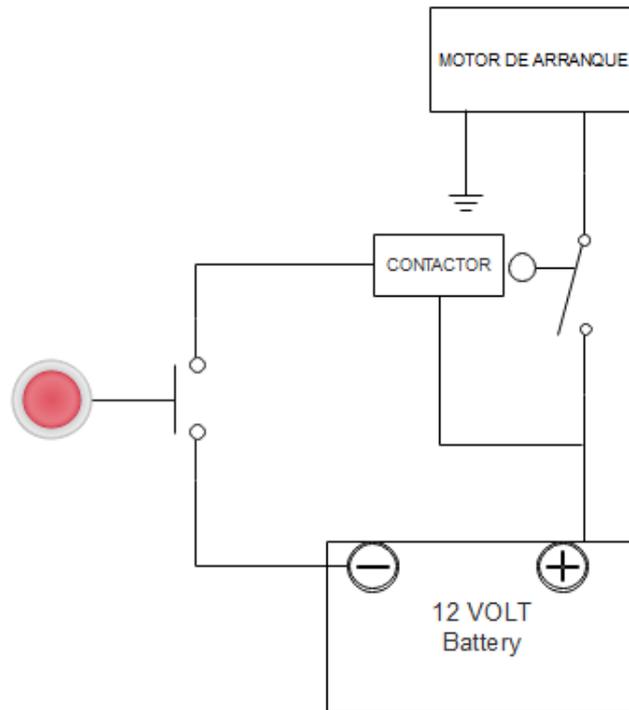


Ilustración 39: Esquema arranque motor.

Mapeo

Una vez llevado a cabo el esquema eléctrico de la moto, el motor estaría en condiciones de ser arrancado. Llegaría entonces el momento de conseguir aumentar la potencia del motor. El motor con la ECU comercial hace girar al cigüeñal un máximo de 9.000 rpm. Estas rpm máximas que ofrece el mapa comercial pueden ser aumentadas manipulando principalmente el mapa de inyección. Estos mapas, se realizan en el software Motec ECU Manager para posteriormente cargarlos a la ECU, y que ésta, gestione el motor en función de esos parámetros.

El mapeo, como se ha mencionado consiste en calibrar el mapa de inyección. El objetivo es conseguir calibrar todos los puntos de funcionamiento de la moto en función de sus rpm y la apertura de mariposa. Lo que se busca con esa calibración es que en cada instante de funcionamiento el valor de la Lambda sea de 0,89, consiguiendo así que el motor desarrolle la máxima potencia.

El mapeo del motor se lleva a cabo en el laboratorio de motores térmicos de la escuela de ingeniería de Bilbao en un banco de pruebas. Este banco de pruebas está compuesto por un rodillo y un freno motor regulable. Para realizar el mapeo se coloca la rueda trasera de la moto en el rodillo, se ata la moto al banco y se le hace funcionar. Las siguientes imágenes muestran el banco de pruebas, tanto la parte del rodillo y el freno, como la parte donde se regula el freno.



Ilustración 40: Mando de control del freno



Ilustración 41: Banco de pruebas. Freno y rodillo

Mapa de inyección

El mapa de inyección es una tabla que tiene como ejes las rpm y el porcentaje de apertura de mariposa. El eje de la apertura de mariposa va de 0 a 100, que son los puntos en el que está cerrada, y abierta del todo respectivamente. Mientras que el eje de las rpm va de 0 a 14.000 rpm, pese a que se haya implementado a la ECU un corte de encendido en 13.500 rpm. En esta tabla se encuentran una gran cantidad de celdas, cada celda corresponde a un régimen de funcionamiento concreto: unas rpm y un porcentaje de apertura de mariposa concreta. Para poder asimilarlo mejor en la siguiente ilustración se muestra un ejemplo. Cabe mencionar que, aunque en la imagen

solo se vean las rpm hasta 3.000 y la apertura de mariposa hasta el 45% la tabla llega hasta los valores dichos anteriormente.

Fuel Main (% of IJPU)		RPM	0	250	500	1000	1500	2000	2500	3000
Effcy %	45,0		23,6	24,4	25,2	26,7	28,3	29,8	31,4	32,9
	40,0		22,6	23,3	24,0	25,5	26,9	28,3	29,8	31,2
	35,0		21,7	22,4	23,2	24,6	26,1	27,6	29,1	30,5
	30,0		20,7	21,3	21,9	23,1	24,3	25,5	26,8	28,0
	25,0		19,8	20,3	20,8	21,8	22,9	23,9	24,9	25,9
	20,0		19,0	19,3	19,6	20,2	20,7	21,3	21,9	22,5
	15,0		17,9	18,2	18,5	19,2	19,8	20,4	21,0	21,7
	10,0		17,0	17,2	17,5	18,0	18,4	18,9	18,8	20,1
	7,0		15,1	15,2	15,3	15,5	15,7	15,9	16,2	16,4
	4,0		14,0	14,1	14,1	14,2	14,3	14,4	14,6	14,7
	2,0		12,8	12,8	12,9	12,9	12,6	12,1	13,0	13,2
	0,0		11,0	11,2	11,5	11,9	12,4	12,8	12,8	12,7

Ilustración 42: Tabla inyección

En la tabla se pueden encontrar como se ha dicho antes numerosas celdas, una para cada régimen. Como se puede apreciar, existe una celda marcada de color azul. Esa celda tiene un valor en el interior que se activará cuando las revoluciones de la moto sean 1.500 y la válvula de mariposa este abierta al 25%.

Una vez conocida la estructura de la tabla sobre la que se va a trabajar es preciso conocer su función. Cada número que hay en cada celda hace referencia a un porcentaje de un valor llamado IJPU. El IJPU es el tiempo en milisegundos que el inyector permanece abierto en cada ciclo, por lo que un valor de IJPU más alto indicara que el inyector estará más tiempo abierto, y, por tanto, entrara más gasolina. Viendo el ejemplo anterior, si la moto esta funcionando en el régimen marcado en azul, el tiempo que se abrirá el inyector será el 22,9% del valor del IJPU. En particular $10 \times 0,229 = 2,29$ msec.

Una vez entendida la tabla de inyección llega el momento de mapear. El objetivo del mapeo es conseguir que en la mayoría de lo posible la motocicleta funcione desarrollando la máxima potencia, es decir, con un valor de Lambda de 0,89. Como se ha dicho previamente, un valor de Lambda menor que 1 implica que la mezcla será rica en combustible. Por lo que, variando la cantidad de combustible introducida por el inyector, el valor de la Lambda cambiara. Concretamente, si se sube el valor de las celdas aumentará el combustible inyectado, y por tanto disminuirá la Lambda, se hará más rica.

El problema por el que no se puede poner la configuración de máxima potencia directamente, es que no se conoce el valor del tiempo de inyección que corresponde a la Lambda de máxima potencia. Para conocer que valor de inyección es correspondido con la máxima potencia se emplea la sonda Lambda. Esta sonda esta colocada en el tubo de escape, y comparando los gases de escape con los estequiométricos muestra el valor de la Lambda existente. Por lo tanto, sabiendo que valor de Lambda existe en

el punto de funcionamiento, se puede subir o bajar el valor de la celda para que ese punto trabaje con la Lambda de máxima potencia. Para realizar el mapeo, es preciso que la ECU esté conectada mediante el conector CAN a un PC que tenga el software Motec ECU Manager. Desde el software Motec ECU Manager se ve en vivo el valor de la Lambda con el que se está funcionando, con ese valor, se puede cambiar a tiempo real el valor del tiempo de inyección de ese punto y ver como varía la Lambda tras el cambio. En la siguiente imagen se muestra una interfaz del software Motec ECU Manager donde se ve en rojo el valor de la Lambda de ese instante, y en verde el valor de la Lambda objetivo, la función del mapeo es intentar variar la inyección para que esas dos líneas coincidan.

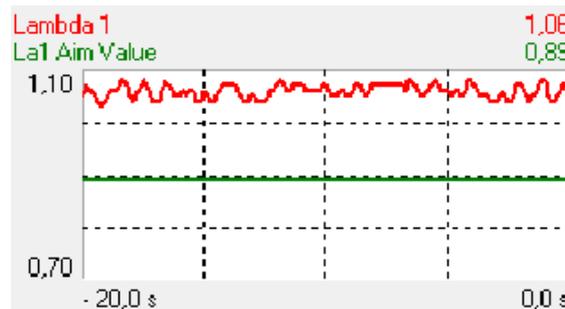


Ilustración 43: Valor Lambda Motec ECU Manager

Ya se conoce el procedimiento para hacer trabajar a el motor a máxima potencia. Sin embargo, la máxima potencia se requiere para punto de funcionamiento, y encendiendo el motor, únicamente se trabaja en la zona de ralentí y, por lo tanto, solo se pueden calibrar esos puntos.

Para poder calibrar en distintos regímenes del motor se emplea el banco de pruebas, donde se hace rodar a la moto a distintas revoluciones mediante la gestión del freno motor. La rueda trasera es situada en el rodillo del banco, y se hace funcionar la moto con distinta fuerza aplicada al freno. Según la ecuación que relaciona par con potencia: $P = T \cdot n$, se observa que para la misma potencia cuanto más par se precise las revoluciones serán menores. Por lo que cuando se aumenta el valor del freno motor desde el control de mando, las revoluciones en las que anda la moto disminuirán. Por lo que subiendo y bajando el valor del freno motor a una marcha fija se logrará barrer varias zonas de distintas rpm que serán calibradas.

Debido a que el motor se calienta rápido al no tener el banco una refrigeración apropiada y el proceso de calibrar un punto es lento, solo se calibran una serie de puntos para cada revolución, siendo las revoluciones más altas las más complicadas porque el motor se calienta de una manera endiablada. Para cada una de las revoluciones se intenta tener puntos calibrados de distintas aperturas de mariposa. En la siguiente imagen se muestra la tabla tras una sesión de mapeo donde las celdas con los valores más oscuros indican que han sido calibradas.

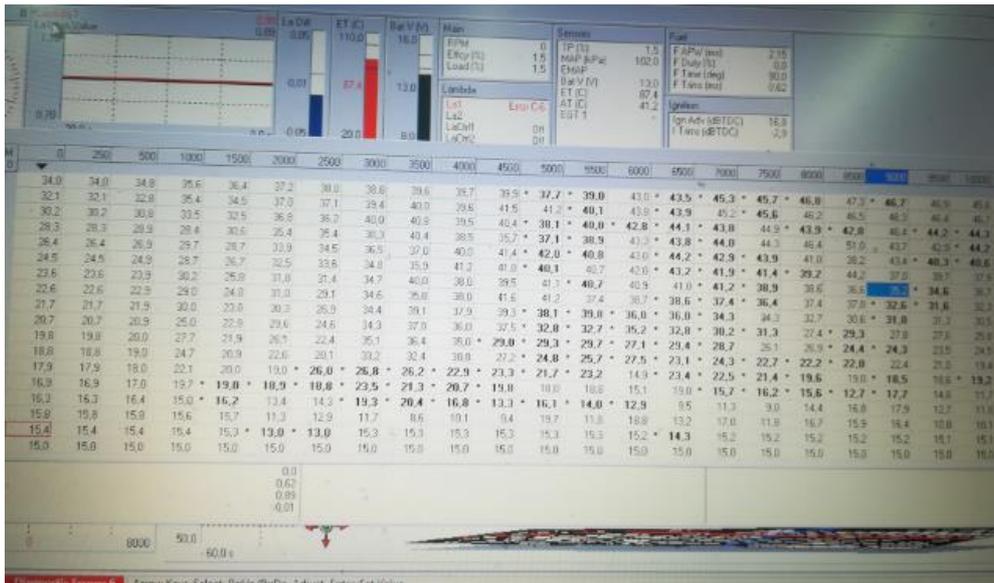


Ilustración 44: Tabla de inyección calibrada tras una sesión

Una vez obtenidos puntos donde la moto rodara con la máxima potencia gracias al banco de pruebas, se procede a extrapolar a todo el mapa esos puntos. Para ello, sabiendo que los puntos calibrados son los que permiten funcionar con la máxima potencia, se estudia el comportamiento de los puntos mapeados para así poder deducir el resto y conseguir un mapa uniforme. Para saber que el mapa hecho a partir de los puntos mapeados está bien, se introduce el mapa nuevo en la ECU y se hace pruebas con la moto viendo si su comportamiento es el requerido.

Innovación

En este apartado se va a explicar primero el funcionamiento del relé de estado sólido, y posteriormente el desarrollo del proyecto de innovación, formulando como se ha llevado a cabo y su correspondiente integración en el sistema eléctrico global.

Relé de estado sólido

Un relé de estado sólido es un dispositivo interruptor electrónico que conmuta el paso de la electricidad cuando una pequeña corriente es aplicada en sus terminales de control. Los relés de estado sólido consisten en un sensor que responde a una señal de control, un interruptor electrónico de estado sólido que conmuta el circuito de carga, y un mecanismo de acoplamiento a partir de la señal de control que activa este interruptor sin partes mecánicas. A continuación, se muestra la imagen del relé de estado sólido que se va a emplear para llevar a cabo el proyecto.



Ilustración 45: Relé de estado sólido

Función en el sistema: En el caso que nos acontece, el relé de estado sólido que se precisa es de 3 fases, debido a que las líneas que se quieren interrumpir son las tres líneas que unen el estator del alternador con el regulador-rectificador trifásico, cuya función es rectificar la tensión para alimentar a las cargas de la motocicleta.

Para poder conmutar las tres fases es necesaria la excitación exterior en el momento en el que la válvula de mariposa este abierta al valor predeterminado. Para ello, se conecta el input de la señal + a la batería y el input - a una salida auxiliar de la centralita. Conectar el input- a la unidad de control del motor, permite controlar los instantes en los que se cierra y se abren las 3 fases a la vez, dado que mediante software "Motec ECU Manager" se tiene la posibilidad de controlar los instantes en los que sus salidas auxiliares corresponden a un negativo, con lo que se cierra el circuito que alimenta el relé y se produce la señal de control que conmuta los interruptores.

Para elegir el dispositivo más apropiado, se ha calculado el poder de corte que debería tener el relé para su correcto funcionamiento. Para ello, partimos de la siguiente expresión: $P = 3 \cdot V \cdot I$. Lo que implica una intensidad por fase de $I=8,22A$. Es decir, el relé de estado sólido que se precisa debe de tener un poder de corte superior a la intensidad nominal que circula por el sistema. En el caso que nos acontece se ha elegido un alternador de poder de corte de 25 A.

Debido a que el instante de cierre del interruptor puede ser un momento en el que la onda de la tensión tenga un valor nulo o cercano, se corre el riesgo de que en esos instantes la sobreintensidad que se produce en el transitorio sea tal que pueda dañar a la batería. Por lo tanto, se van a implementar unos fusibles en cada fase para evitar daño a la batería, tal como se muestra en la ilustración.

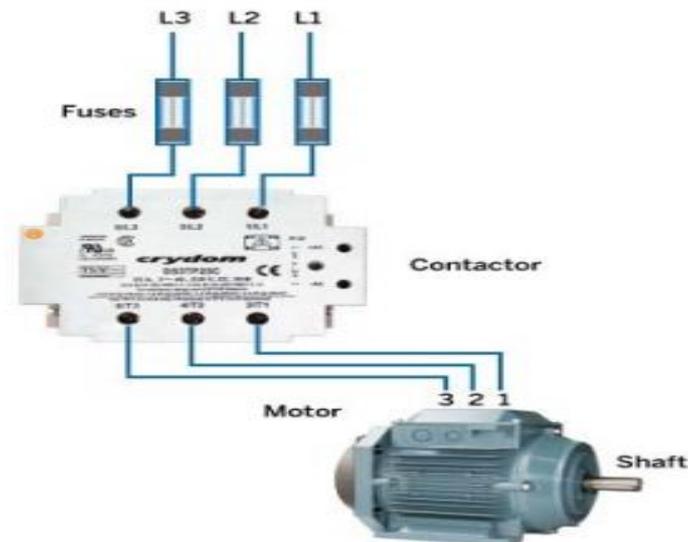


Ilustración 46. Implantación fusibles

Para llevar a cabo el proyecto de innovación se va a emplear la función propia de la ECU que permite controlar el alternador en función de distintos factores, como, por ejemplo, la carga de la batería y el ángulo de apertura de la válvula de mariposa. Las señales de la carga de la batería y la posición de la mariposa al estar cableadas a la ECU se tiene sus valores en todo momento. Mediante la función para esta actividad de la ECU, se seleccionan los rangos en los que se quiere que el alternador se desconecte y se conecte. En el caso de este proyecto, se va a desconectar el alternador en los instantes en los que el TPS entregue una señal que indique que la mariposa está abierta **más del 95 %**. Este valor ha sido elegido debido a que se precisa de un valor en el que se asegure de que el piloto se encuentra acelerando al máximo, para no estar desconectando continuamente el alternador. Esta desconexión se dará siempre que la carga de la batería no esté por debajo de un mínimo especificado. Teniendo en cuenta lo anterior, se presentan dos nuevos escenarios teóricos en función del grado de apertura de la mariposa, que son los siguientes:

La mariposa está abierta menos de un 95 %

En esta posición, el alternador se va a encontrar alimentando una carga, en este caso la batería. El motor cuenta con un alternador de 12V-296W, por lo cual, debido a un balance de potencias se puede apreciar que la potencia mecánica que se emplea para mover el eje del alternador es parte de la potencia que se extrae del proceso de combustión. En esta situación, es cierto que el alternador consume unos 296 W, pero debido a que la mariposa está a menos del 95 %, la motocicleta para su movimiento

demanda una cantidad menor a la que es capaz de aportar el motor. Por lo cual, debido a que la potencia demandada por la motocicleta es inferior a la diferencia entre la potencia máxima del motor y a la requerida por el alternador, la motocicleta tendrá disponible totalmente la potencia requerida.

La mariposa está abierta más de un 95 %

En esta posición, el alternador se va a encontrar sin carga. En este caso, al realizar un balance de potencias se puede apreciar que toda la potencia que genera el motor va destinada a la motocicleta, proporcionándole esos 296 W extra que gracias a desconectar el alternador obtenemos.



Ilustración 47: Válvula de mariposa abierta a más del 95%

Para poder realizar la función de desconectar el alternador, se debe de alimentar la entrada del dispositivo de corte (relé de estado sólido) entre 3~32V, para ello, un terminal de la entrada está conectado a la batería y el otro terminal está conectado a una salida auxiliar de la motec. Teniendo estas conexiones, y configurando la salida auxiliar de la motec, se consigue excitar la entrada del relé para que se active en los instantes donde la mariposa supere el valor predeterminado gracias a activar o desactivar la salida auxiliar de la motec que introduce 0V y permite cerrar el circuito, consiguiendo así la apertura-cierre de los interruptores.

La configuración introducida en la ECU es una función que permite gestionar el alternador mediante el software Motec ECU Manager. En esta función se elige la carga que debe tener la batería para que se active o se corte el relé. Como no interesa que se desconecte el alternador por la carga de la batería se ha puesto un valor difícil de alcanzar, 16V. Mientras que el valor para que se mantenga siempre activo el alternador

son 12V. El valor puesto para que se desconecte el alternador es que la mariposa se encuentre abierta más de un 95%, esto se da siempre que la carga de la batería se encuentre entre 12V y 16V. La función del software pide otro valor de apertura de mariposa para que una vez que el alternador se ha desconectado se vuelva a conectar. Esto es así, porque si únicamente se pone un único valor de apertura de mariposa y el valor fluctúa, puede darse el caso de que la batería se este desconectando y conectando continuamente, lo cual es perjudicial para su vida útil. Por lo que se va a poner un valor de apertura de mariposa del 90% para que una vez se haya desconectado el alternador, este se vuelva a conectar. En la siguiente imagen se presenta la función del software Motec ECU Manager donde se calibran estas opciones mencionadas. Existen parámetros para gestionar la polaridad y la funcionalidad del pin de la ECU. El relé de estado solido es normalmente abierto, por lo que hay que configurar la polaridad de la entrada de la ECU para indicarle que cuando el pin se activa, el alternador esta encendido. Otro aspecto que se debe de configurar es la función que desempeñe el pin de la ECU una vez se active. En el caso de este proyecto se ha programado que el pin cuando se active actué como masa, mientras que los 12V se mantendrán continuamente conectados.

Auxiliary Out 3 - Alternator		
Parameter	Value	Off Throttle
Bat Volt Filter	0	Alternator may turn off if the Throttle position is above this value
Off Voltage	15,0	
On Voltage	12,0	
Off Throttle	95	
On Throttle	90	Typical : 95 %
Low Voltage Delay	0	
Logic Polarity	0	
Output Mode	0	

Ilustración 48: Función Motec ECU Manager. Alternador

El funcionamiento del sistema se puede separar en dos distintas secciones que trabajan conjuntamente. La parte de control y la parte eléctrica. La parte de control la componen el TPS y la MoTeC-M400 y el relé de estado sólido. Mientras que la parte eléctrica está compuesta por el relé de estado sólido, el alternador, el rectificador, la batería y sus respectivas cargas. Como se ha expresado el relé de estado sólido está presente en las dos partes, pues se trata del nexo de unión.

La parte control se encarga de recibir la señal del porcentaje de apertura de mariposa y en función del dato recibido activar o desactivar una salida auxiliar de la ECU. El proceso comienza con el TPS reconociendo el valor de la apertura de la mariposa. La señal del porcentaje de apertura es enviada del TPS a la ECU por su pin de entrada A14. Esta señal recibida es tratada por el operador lógico interno de la ECU. Este operador lógico detectara si el porcentaje de apertura de la mariposa es superior o inferior al valor especificado. En función del resultado se activará o se desactivará la salida auxiliar A23, haciendo que se excite o no la bobina que provocara la apertura o cierre de los interruptores que conectan con las tres fases del alternador. La ECU, aparte de tomar decisiones en función del porcentaje de apertura de la mariposa. También actúa en función de otras especificaciones relacionadas con el proyecto. Como, por ejemplo, la

carga de la batería, si detecta que la carga de la batería está por debajo al valor fijado no permite la desconexión del alternador.

La parte eléctrica es la encargada de transmitir la energía eléctrica del alternador a la batería para alimentar las cargas de la motocicleta. La energía eléctrica es generada por el alternador gracias al par mecánico existente en el rotor, provocado por la combustión del motor. La energía eléctrica es conducida por las tres fases hasta el regulador-rectificador. Energía eléctrica que puede no ser transmitida en función de si el relé de estado sólido está abierto o cerrado.

En el caso de que el interruptor este abierto (indica que el ángulo de apertura de la mariposa es mayor que el 95 %), la batería no se estará cargando y será la encargada de abastecer el sistema eléctrico de la moto.

En el caso de que los tres interruptores se encuentren cerrados la corriente eléctrica pasa al regulador-rectificador, que será el encargado de adecuar la tensión a 12 V monofásicos para alimentar la batería sin problemas.

En la siguiente página se muestra el esquema eléctrico del montaje del proyecto innovador en la motocicleta. En dicho esquema se encuentran representados los elementos que forman parte del proyecto, como son: alternador, rectificador, TPS, ECU, batería, y sus respectivas cargas alimentadas.

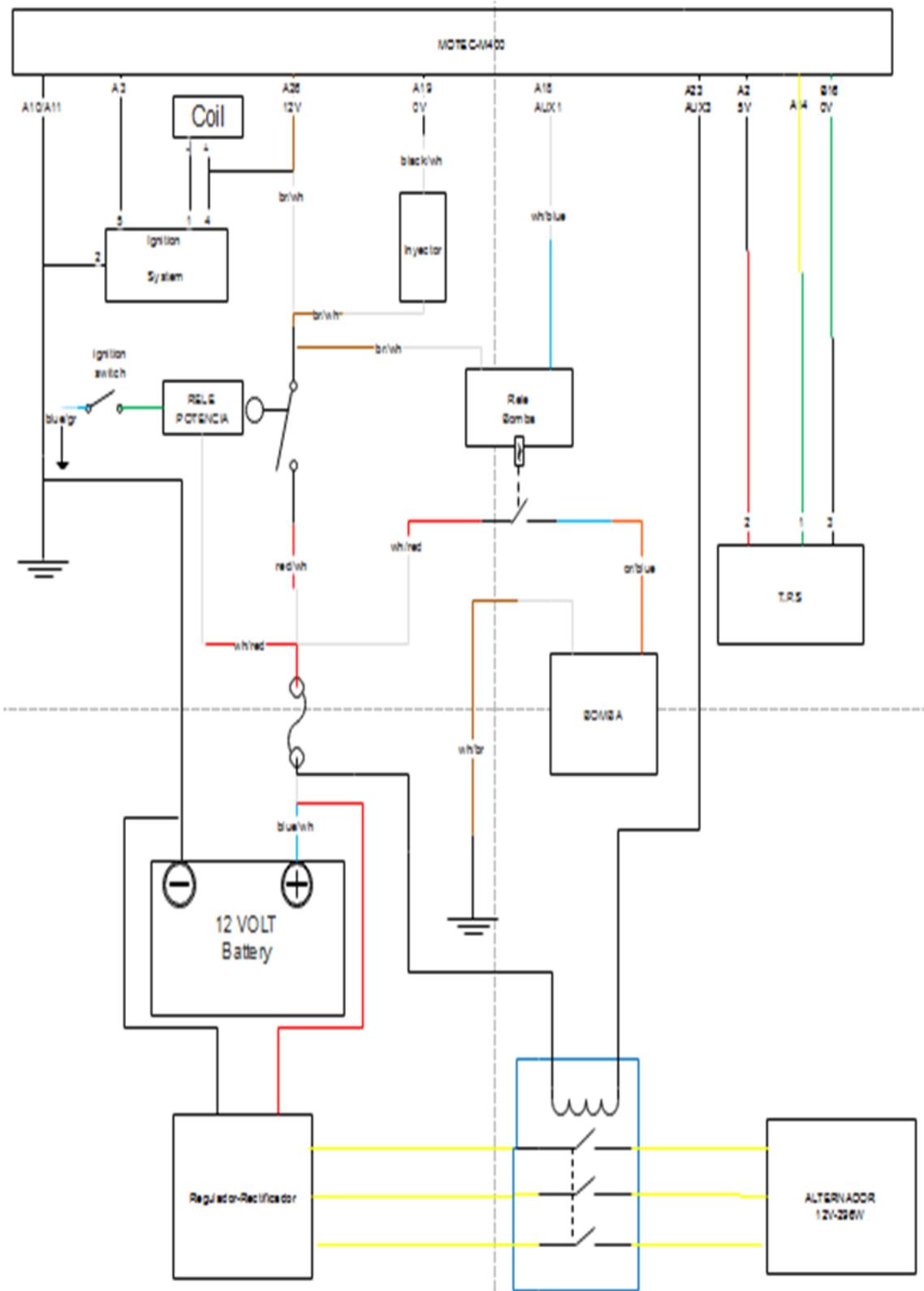


Ilustración 49: Esquema eléctrico. Alternador

Metodología seguida en el desarrollo del trabajo

En este capítulo del TFG, en primera instancia se va a exponer la planificación que se ha seguido para desarrollar el proyecto. Se realizará una descripción de cada una de las tareas realizadas, anotando en cada caso la instrumentación empleada para llevarlas a cabo. Posteriormente, se mostrará gráficamente la línea temporal de la planificación mediante un diagrama Gantt. Para finalizar este capítulo se expondrán los resultados que se han obtenido al realizar el proyecto. Tanto los cuadros de tareas como el diagrama Gantt han sido realizados utilizando la herramienta Microsoft Project.

Planificación

La estructura que se va a seguir en este apartado es mostrar en primer lugar los grandes hitos y tareas a realizar. En la siguiente imagen sacada del Microsoft Project están esquematizadas dichas tareas e hitos, indicando además su duración y las fechas estipuladas para su realización.

		numer ▼	Modo de ▼	Nombre de tarea ▼	Duración ▼	Comienzo ▼	Fin ▼
1		T1		Entrada al equipo MotoStudent	0 días	lun 06/03/17	lun 06/03/17
2		T2		Recepción del motor KTM RC 250	0 días	mar 17/10/17	jue 02/11/17
3		T3		▶ Cableado y gestión ECU	84 días	mar 17/10/17	vie 09/02/18
11		T4		▶ Innovación	61 días	jue 19/04/18	mar 10/07/18
17		T5		▶ Puesta a punto	51 días	lun 14/05/18	mié 18/07/18
25		T6		Carrera final MotoStudent	0 días	sáb 06/10/18	sáb 06/10/18

Tabla 1: Planificación general

Véase, que los hitos son sucesos que tienen lugar en un preciso instante, y que hay que tenerlos en cuenta para la realización del proyecto. Las principales fases con las que cuenta el proyecto están marcadas por los hitos, que son los siguientes: Entrada al equipo MotoStudent, recepción del motor, y la carrera final.

Entrada al equipo MotoStudent

Entrar al equipo de la escuela de ingeniería de Bilbao de MotoStudent marca el inicio del presente proyecto. Dentro del equipo se exponen las diversas tareas que se deben realizar para el funcionamiento de la moto. Entre dichas tareas se encuentra la tarea elegida, la gestión del motor, ya que fue la tarea que hizo que estuviera interesado desde un inicio, debido al interés que sentía por saber cómo se pueden controlar tantos parámetros del motor y al desconocer como se logra aumentar la potencia del motor. A partir de ese momento comenzó la parte de aprendizaje para poder realizar el proyecto.

Recepción del motor

El equipo de MotoStudent recibió el motor en octubre del 2017. A pesar de haber tenido previamente hojas de características del motor, este es el primer momento en el que se tiene físicamente el motor. Este momento es importante, ya que hasta este momento se desconoce si el motor va a venir con la instalación incorporada o cuales son las partes precintadas del motor, dichas partes la organización prohíbe abrirlas.

Carrera final

La carrera final de MotoStudent tiene lugar en el circuito de Alcañiz (Aragón) el 6 de octubre de 2018. Esto impone directamente una fecha límite para el proyecto, para esa fecha, la motocicleta debe estar funcionando y si es posible desarrollando la máxima potencia posible.

Estos hitos mencionados imponen los tiempos en los que las tareas del proyecto deben de ser realizadas. Las fases del proyecto empiezan una vez haber recibido el motor, y deben de acabar antes de la carrera final. La primera fase del proyecto se basa en el cableado de la moto y la correspondiente gestión por parte de la ECU de ese cableado. Las tareas que se realizan en esta fase son las que se presentan en la siguiente imagen.

3		T3		▣ Cableado y gestión ECU	84 días	mar 17/10/17	vie 09/02/18
4		T3.1		Busqueda, elección y compra del cableado comercial.	3 días	mar 17/10/17	jue 19/10/17
5		T3.2		Recepción del cableado	0 días	mié 08/11/17	mié 08/11/17
6		T3.3		Identificación de los sensores necesarios	3 días	lun 13/11/17	mié 15/11/17
7		T3.4		Identificación de los cables de cada sensor	9 días	lun 27/11/17	jue 07/12/17
8		T3.5		Diseñar el esquema eléctrico del sistema	35 días	vie 08/12/17	jue 25/01/18
9		T3.6		Realizar el cableado del sistema eléctrico	5 días	vie 26/01/18	jue 01/02/18
10		T3.7		Integración en la moto del cableado eléctrico	6 días	vie 02/02/18	vie 09/02/18

Tabla 2:Tareas de la fase de cableado y gestión de la ECU

Búsqueda, elección y compra del cableado comercial

Con esta tarea da comienzo esta fase del proyecto. Una vez recibido el motor y al no haber traído el cableado incorporado, se realiza un análisis de las distintas ofertas de cableados comerciales que el mercado ofrece. El cableado comercial, es el sistema eléctrico de una motocicleta de carretera con un motor similar al empleado. De este cableado comercial lo que se busca son los distintos conectores y sensores que puedan ser empleados en la moto del equipo. Sin embargo, al ser una moto de carretera existirán múltiples sensores o elementos que no se necesitan para la moto, como pueden ser las luces o los intermitentes. Aparte del cableado comercial, se deben comprar elementos que no incluye, como son: la bomba de gasolina, sonda Lambda, la garganta de admisión, y el módulo de encendido.



Ilustración 50: Cableado comercial escogido

Recepción del cableado

Consiste en la recepción del cableado comercial elegido. En esta fase se comprueba que el material recibido este correcto. En especial, la garganta de admisión se comprueba que entre bien.

Identificación de los sensores necesarios

Una vez recibido el cableado comercial se procede a analizarlo, ya que como se ha dicho antes no todo lo que se ha comprado se va a utilizar. En primer lugar, se inspeccionan los distintos conectores existentes en el cableado, se deben de buscar cuales son los conectores que se conectan con los del motor, que son los conectores de los siguientes instrumentos: alternador, temperatura del motor, y sensor de posición del cigüeñal. Una vez identificados los conectores del motor se procede a buscar los distintos sensores necesarios para el funcionamiento de la moto, que al estar íntegros en el cableado ya vienen conectados. Este es el caso del sensor de presión y temperatura, y el TPS. Finalmente, se busca en el cableado comercial los conectores de los sensores que se han comprado aparte, para ello se procede igual que en el primer caso, identificar un conector que encaje perfectamente. Estos elementos son: la bomba de gasolina, el módulo de encendido y la sonda Lambda. Además de la identificación de los conectores y sensores necesarios, del cableado comercial se extraen también los relés y fusibles empleados en el sistema.

Identificación de los cables de cada sensor

Una vez identificados los sensores que se van a emplear, se procede a la identificación de cada cable del sensor, es decir, saber dónde debe ir situado cada uno de los cables que salen de cada elemento. Para realizar la identificación se parte del esquema eléctrico propiciado por el fabricante, en este esquema se presenta la forma en la que se deben de realizar las conexiones de los sensores de la moto comercial. Por lo tanto, como en el caso del cableado están representados en el esquema muchos más sensores y conexiones de las que se van a emplear. Debido a que el esquema eléctrico

que se ha tomado como referencia es de la moto comercial, y el cableado de la moto se ha comprado de una comercial, la terminología de colores que el esquema eléctrico presenta, en la mayoría de casos se corresponden con el color de los cables de los que se disponen, facilitando de esta manera su identificación.

Diseñar el esquema eléctrico del sistema

Teniendo todos los sensores necesarios, y una vez identificada la función de cada cable, se procede a hacer el esquema eléctrico del sistema eléctrico de la moto del equipo. Para ello, hay que basarse en el esquema que la empresa motec ofrece para su ECU, esquema que se corresponde con la ilustración 35. De ese esquema se debe sacar la información sobre el pin de la ECU al que hay que conectar cada cable del sensor, y sobre la forma más óptima de controlar el encendido y la alimentación del motor. El esquema final se encuentra en la ilustración 37. Los planos eléctricos empleados se han expuesto en el ANEXO II.

Realizar el cableado del sistema eléctrico

Una vez realizado el diseño del esquema eléctrico llega el momento de materializarlo. Para ello, se deben de conectar en los terminales de la ECU las distintas señales de los sensores. la ECU cuenta con dos conectores numerados en los cuales se meten los pines correspondientes, en la siguiente imagen se muestran los conectores de la ECU y los pines donde debe ir la señal de los cables.



Ilustración 51: Pines y conectores de la ECU

Además de conectar las señales de los sensores a la ECU, la mayoría de los sensores precisan de un positivo y una masa. En este caso, para evitar poner muchos cables de por medio, se parte un cable de positivo y otro de negativo, y sobre estos se van empalmado los cables necesarios para los sensores. Este empalme se realiza mediante soldadura, y se refuerza la unión soldada con un termoretráctil.

Además de realizar el cableado de los sensores, se deben de realizar también las conexiones oportunas de los relés, fusibles, interruptores, y de los elementos de

encendido, inyección y control, como son: la bomba, la bobina, el módulo de encendido, y el conector CAN.

Integración en la moto del cableado eléctrico

Finalmente, una vez realizado el cableado eléctrico se procede a su implantación en la moto. Para ello, se fabrican ciertos soportes para los elementos más voluminosos de la instalación, la batería y la ECU. Otros elementos de tamaño mediano son atornillados al semichasis. Mientras que los cables, los relés, y los elementos de menor tamaño son guiados a sus respectivos sensores a través del chasis, estando agarrados con bridas. Todos los cables son encintados por motivos de seguridad.

Una vez realizado el cableado de la motocicleta se puede proceder a poner a punto el motor. La puesta a punto cuenta con una serie de tareas que son las que se muestran en la siguiente tabla.

17		T5			Puesta a punto	51 días	lun 14/05/18	mié 18/07/18
18		T5.1			Arrancar el motor	0 días	lun 14/05/18	lun 14/05/18
19		T5.2			Mapeo Motor en banco	10 días	lun 04/06/18	vie 15/06/18
20		T5.3			Prueba en circuito	0 días	dom 17/06/18	dom 17/06/18
21		T5.4			Evaluación de resultados del	5 días	lun 18/06/18	vie 22/06/18
22		T5.5			Mapeo Motor en banco	5 días	vie 22/06/18	jue 28/06/18
23		T5,6			Prueba en circuito	0 días	sáb 07/07/18	sáb 07/07/18
24		T5.7			Analisis de resultados y toma de decisiones	3 días	lun 16/07/18	mié 18/07/18

Tabla 3:Tareas de la fase de puesta a punto

Arrancar el motor

Arrancar el motor es la parte fundamental del proyecto, por lo tanto, antes de mapear y llevar la motocicleta al banco de pruebas se procede a arrancar el motor para comprobar que esta todo bien. Puede darse el caso de que algún sensor se encuentre dañado o que algún cable este suelto, si así fuera, el motor o no arrancaría o no se recibiría la señal de todos los sensores. Si ocurriese, se procedería a la búsqueda y solución del fallo existente.

Mapeo motor en banco

Una vez arrancado el motor llega el momento de aumentar su potencia. Para ello, se lleva la moto al banco de pruebas y se mapea el mapa de inyección del motor.

Prueba en circuito

Una vez la motocicleta se haya puesto a punto en el banco de pruebas se lleva la motocicleta a rodar al circuito de Navarra de Los Arcos. Llevando la moto a correr al circuito se consigue ver a la moto funcionando en condiciones de carrera, que es para lo que ha sido diseñada. De esta manera, se conocen las sensaciones que tiene el piloto acerca del motor, para posteriormente poder actuar sobre esas facetas que puede que no le hayan satisfecho. Además de conocer la opinión del piloto, una vez se ha rodado se extraen los resultados de cada sesión gracias al software Motec i2. Estos resultados permiten conocer como se ha comportado la moto en todos los regímenes en los que se ha trabajado. En la siguiente imagen se muestra el circuito de Navarra de Los Arcos donde se realizan las pruebas.



Ilustración 52: Circuito de Navarra

Análisis de resultados

Una vez finalizada cada prueba en circuito se analizan los resultados obtenidos en el programa Motec i2 y se siguen las peticiones del piloto. En función de los resultados obtenidos, si existiese alguna zona en el que el funcionamiento de la moto no es el deseado se vuelve a llevar la moto al banco de pruebas. En el banco, se le vuelve a hacer funcionar a la moto en el régimen que se desee mejorar, y en este se le cambian los parámetros que la hagan funcionar mejor. Este proceso se puede decir que es iterativo, al hacer un cambio se vuelve a llevar la moto a circuito a volver a probarla, y de nuevo allí se vuelven a extraer resultados y analizarlos. Esto se hará sucesivamente, siendo la carrera final de MotoStudent la que marque el número de “iteraciones”.

Finalmente, la última fase del proyecto, el proyecto innovador, se puede realizar paralelamente a las anteriores fases ya que solo se necesita que este listo el cableado en la motocicleta para poder instalar el proyecto a la moto. Para las primeras tareas no se necesita nada de las demás fases. Las tareas que se realizan en esta fase son las siguientes.

11		T4		Innovación	61 días	jue 19/04/18	mar 10/07/18
12		T4.1		Análisis de alternativas de innovación	5 días	jue 19/04/18	mié 25/04/18
13		T4.2		Elección innovación	0 días	mié 25/04/18	mié 25/04/18
14		T4.3		Cálculos y elección de la instrumentación	5 días	jue 26/04/18	mié 02/05/18
15		T4.4		Recepción de la instrumentación y prueba	2 días	lun 14/05/18	mar 15/05/18
16		T4.5		Instauración en la motocicleta	1 día	mar 10/07/18	mar 10/07/18

Tabla 4:Tareas de la fase de innovación

Análisis de alternativas

La primera tarea del proyecto de innovación es analizar las distintas alternativas existentes para poder resolver el problema planteado. Para buscar todas las alternativas posibles se buscarán otros casos similares existentes y se intentara extrapolar esas soluciones a nuestro caso particular. Analizar las posibilidades que ofrece el software Motec ECU Manager es otra opción para buscar distintas alternativas, ya que si se quiere hacer algo que se pueda controlar debe pasar por la ECU.

Elección de innovación

Una vez analizadas las distintas posibilidades existentes para realizar el proyecto se elige la opción que tenga menos problemas de para ser instaurada y sea lo suficientemente eficiente.

Cálculos y elección de la instrumentación

Una vez decidido cuál va a ser el proyecto innovador, se procede a buscar el material necesario para llevarlo a cabo. Para ello, se deben de realizar los cálculos apropiados para conocer las características que debe de tener el dispositivo comprado. En el caso que nos acontece, se debe de conocer cuál es la intensidad de corte que debe de tener el relé.

Recepción de la instrumentación y prueba

Esta tarea se inicia con la recepción del material elegido. Debido a no estar familiarizado con relés de tres fases y al no conocer su polaridad, se prueba el elemento comprado en el laboratorio de eléctrica de la escuela de ingeniería de Bilbao.

Instauración en la motocicleta

Una vez conocido el funcionamiento del relé llega el momento de instaurarlo en la motocicleta y configurar la ECU para que funcione en los momentos en los que se desea.

Diagrama de Gantt

En este apartado se va a exponer el diagrama Gantt del proyecto, en él están expuestas las fases e hitos principales, junto a la fecha en la que comienza cada fase y su duración.

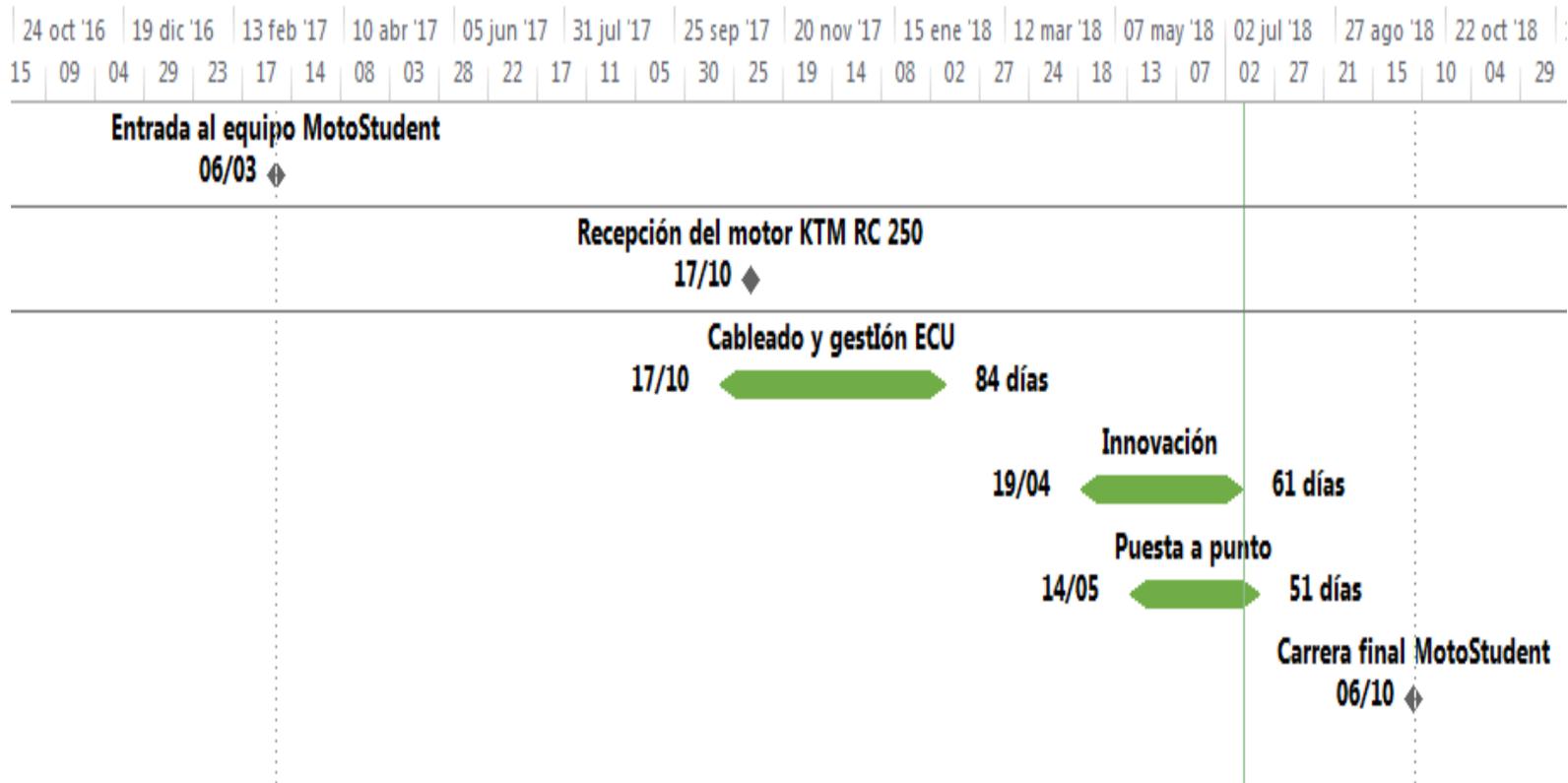


Ilustración 53:Diagrama Gantt

Descripción de los resultados

En este apartado se va a mostrar el desarrollo que ha tenido cada tarea realizada, y los resultados que se han obtenido de su correspondiente desarrollo. Para organizar este apartado se procederá a presentar el desarrollo y el resultado de las tareas de cada una de las fases presentes en el proyecto.

Cableado

En esta sección se va a presentar como se ha desarrollado la gestión del cableado del proyecto. En primer lugar, se comenzó probando los elementos que se compraron paralelamente al cableado. Esos dos elementos son la garganta de mariposa y la bomba de gasolina. La garganta de mariposa se colocó directamente en el conducto de admisión del motor. Mientras que una vez fue recibida la bomba de gasolina se realizó el diseño del depósito teniendo en cuenta los datos geométricos de la base de la bomba para que pueda ser sustentada. En las siguientes imágenes se muestran la introducción de la garganta de mariposa en el conducto de admisión de la moto, el depósito diseñado, y la instalación de la bomba en el depósito. En la parte inferior del depósito diseñado se puede observar el lugar donde ira colocada la bomba de gasolina.



Ilustración 54: Garganta de mariposa colocada en el conducto de admisión

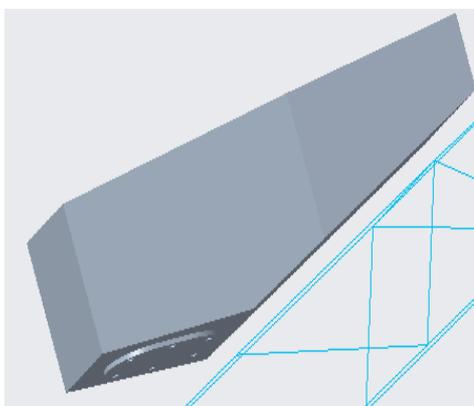


Ilustración 55: Diseño del depósito



Ilustración 56: Bomba colocada en el depósito

Como se ha dicho, lo que se recibe es un cableado comercial que viene con mas cables y sensores de los estrictamente necesarios. Por lo tanto, se procedio a analizar el cableado recibido y buscar que cables y que sensores eran los necesarios. En la imagen se muestra esos instantes.

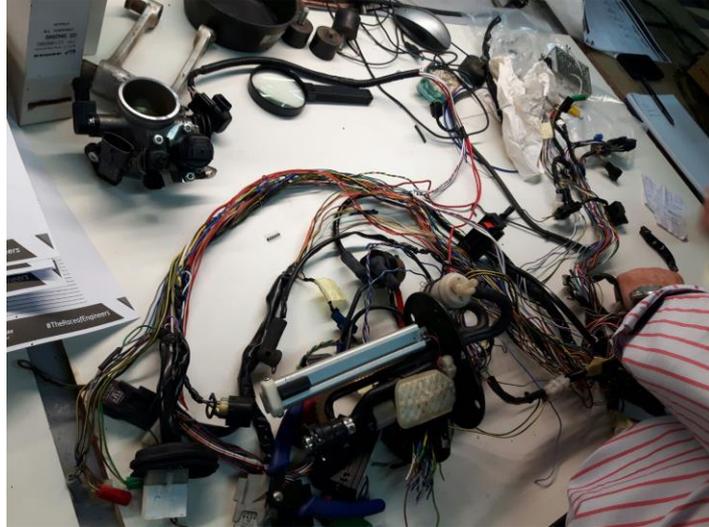


Ilustración 57: Analizando el cableado comercial

Una vez se detectaron los sensores e instrumentos necesarios llego el momento de identificar cada cable para posteriormente diseñar el esquema eléctrico. Una vez diseñado el esquema eléctrico llega el momento de materializar ese esquema. Para ello se cablean todos los elementos en función a lo diseñado, siendo la siguiente imagen el resulta del trabajo.



Ilustración 58: Cableado realizado

Para poner fin a esta etapa se debe de implantar este cableado en la moto. Se deben de conectar los sensores al motor, a la ECU, y colocar los distintos elementos funcionales a lo largo de la moto. Se van a presentar en la siguiente página dos imágenes del cableado de la moto desde diferentes puntos de vista.



Ilustración 59: Cableado visto desde un lateral



Ilustración 60: Cableado visto desde arriba

Puesta a punto

En este apartado se va a presentar el desarrollo y los resultados obtenidos tras la puesta a punto de la motocicleta. En primer lugar, se procedió a cumplir el objetivo principal del proyecto, arrancar el motor. Objetivo que se cumplió sin complicaciones. Una vez arrancado el motor llegó el momento de ponerlo a punto. Para ello, se llevó la moto al banco de pruebas situando en el laboratorio de motores térmicos para realizar una calibración del mapa de inyección. Se colocó la moto en el banco y se la hizo rodar a distintos regímenes, barriendo todo el mapa posible. Mientras la moto rueda en el banco se ajusta la inyección en vivo con el software Motec ECU Manager. Las imágenes siguientes representan el momento en el que la moto estaba rodando en el banco de pruebas a distintos regímenes. La primera imagen muestra la moto agarrada en él banco, y la otra imagen muestra el mismo instante, pero calibrando la inyección del motor en ese punto de funcionamiento con el software Motec ECU Manager.



Ilustración 61: Moto en el banco de pruebas



Ilustración 62: Calibración del mapa de inyección

Una vez calibradas ciertas zonas de funcionamiento se procede a homogeneizar el mapa, ya que con la moto en funcionamiento únicamente se calibran ciertos puntos. Esto es, porque resulta complicado pasar por ciertas zonas, por ejemplo, resulta muy complicado mapear en las zonas altas de revoluciones, ya que el motor se calienta rápidamente debido a que la refrigeración no es lo suficientemente eficiente.

En las siguientes imágenes se presentan los mapas de inyección antes y después de la homogeneización. Se puede apreciar que el primer mapa es muy irregular, teniendo muchos altibajos en puntos de funcionamiento cercanos, lo que provoca que el motor se comporte mal. Los puntos más oscuros que se ven en el primer mapa son los puntos

que se han calibrado en el banco, los que se deben de tomar como referencia. El segundo mapa mostrado es el mapa de inyección una vez ha sido homogeneizado, que como se puede apreciar tiene transiciones suaves entre los puntos de funcionamiento.

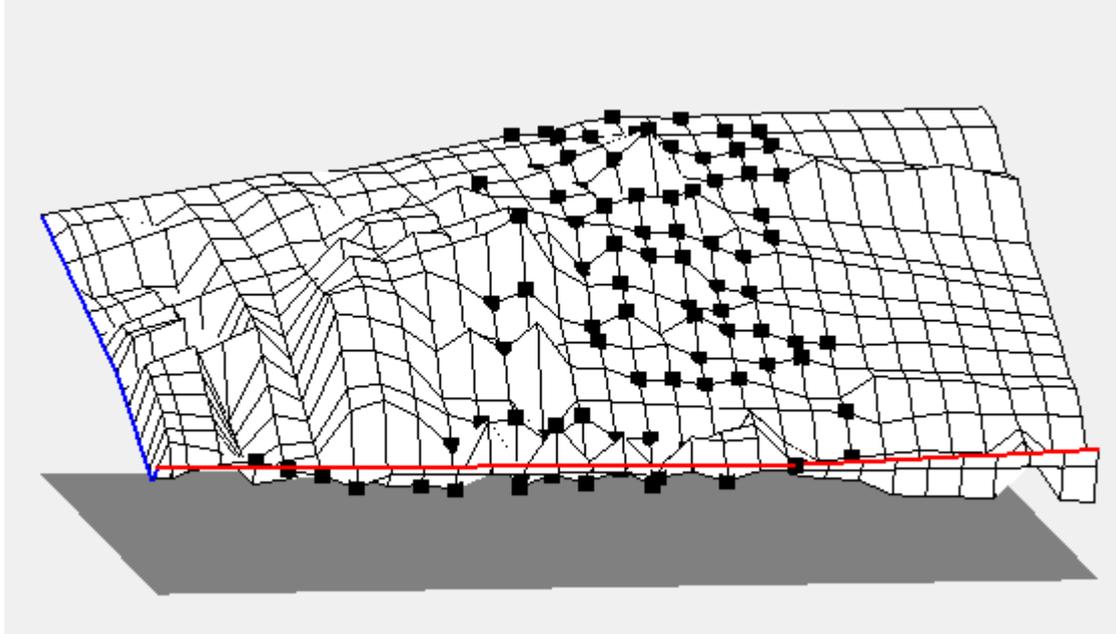


Ilustración 63: Mapa inicial

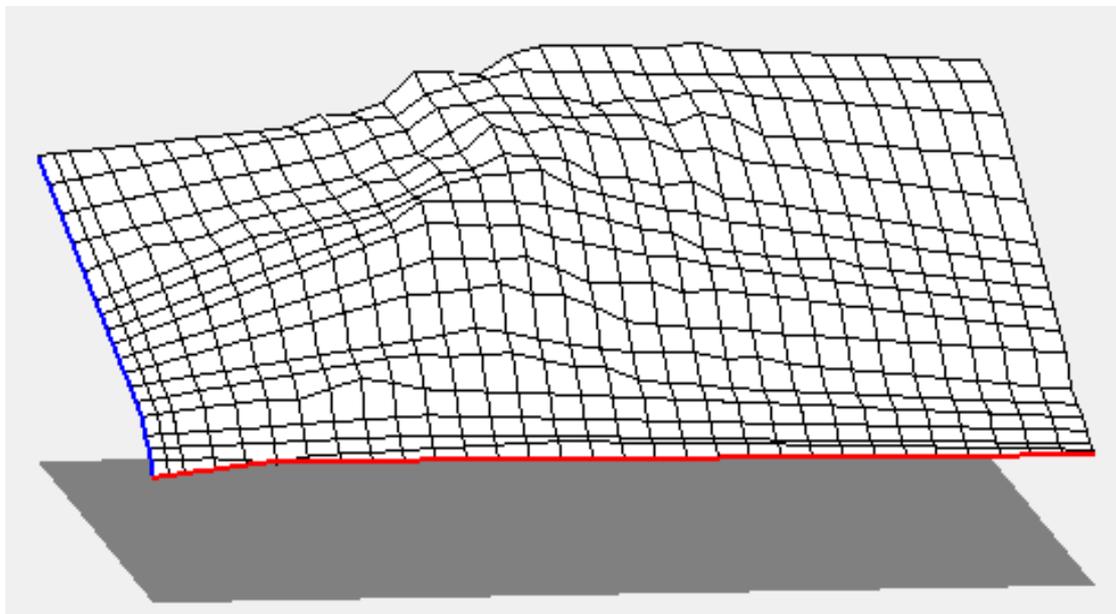


Ilustración 64: Mapa final

Una vez realizado los mapas de inyección se procede a llevar la moto al circuito de Navarra para probarla en pista. La siguiente imagen es de la moto en la recta principal del circuito.



Ilustración 65: Moto del equipo rodando en el circuito de Navarra

Una vez finalizada cada sesión de pista se saca de la ECU los resultados que muestran como se ha comportado la moto en pista. Estos resultados son analizados con el programa Motec i2 para ver el funcionamiento de los parámetros sensorizados de la moto. En la siguiente imagen se muestra los resultados del análisis del programa Motec i2 tras la primera sesión.

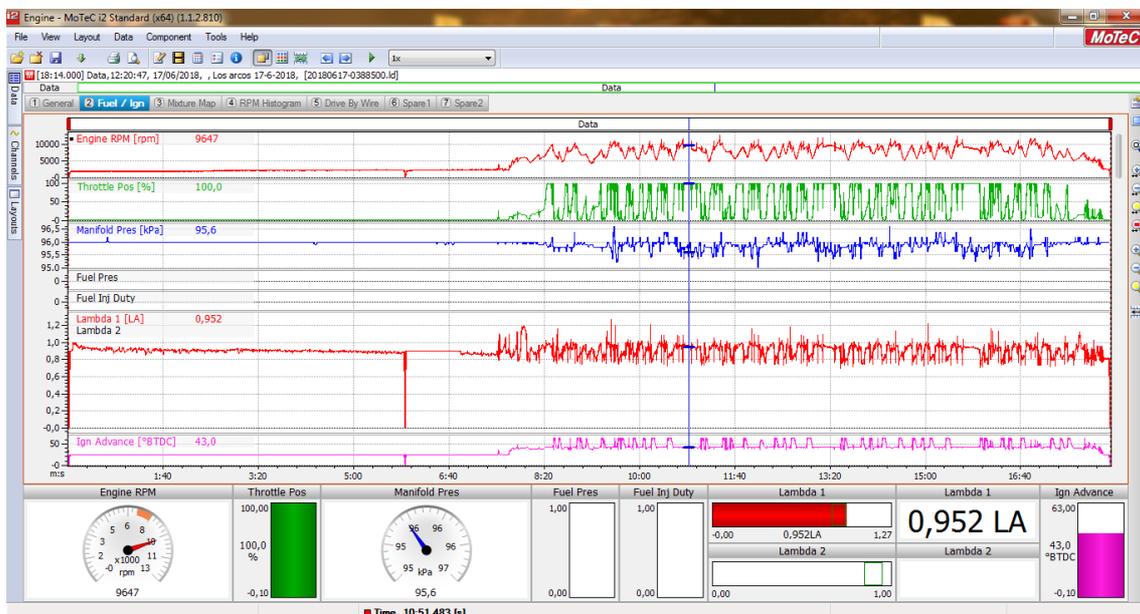


Ilustración 66: Análisis Motec i2. Sesión 1º

Tras la primera sesión, el piloto informo de que veía la moto pobre a pesar de que el valor de la Lambda estaba siempre rondando 0,89, que como se ha dicho previamente

ese valor de Lambda es el valor que te da la máxima potencia. Por lo tanto, como cambiar el mapa estando en el box sería una auténtica locura, se decidió aumentar el IJPU para que aumentase proporcionalmente la cantidad de combustible que se inyecta en todo el mapa. El resultado de la segunda sesión se muestra en el siguiente análisis del Motec i2.

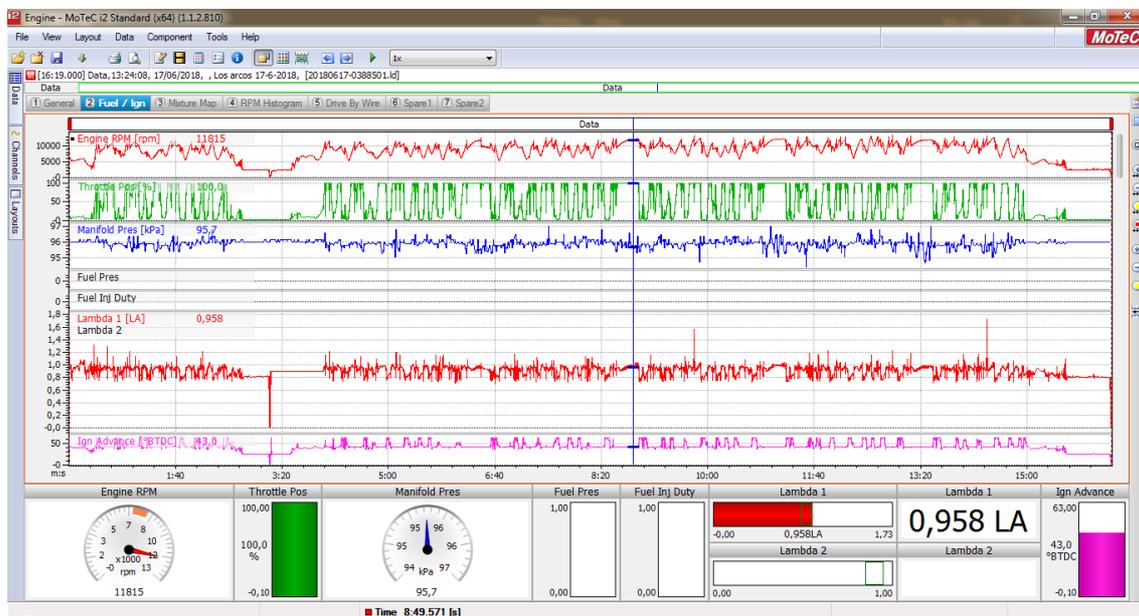


Ilustración 67: Análisis Motec i2. Sesión 2º

Tras la segunda sesión se notó una gran mejoría en la moto, empezó a funcionar mejor estando cerca de alcanzar las 12.000 rpm en la recta principal. Esto indicaba que la sonda Lambda no funcionaba bien, o no se le había hecho funcionar bien. Por lo tanto, a la vuelta del circuito había que encontrar la causa, y buscando en el datasheet de la sonda se encontró que se debe de calibrar para su correcto funcionamiento, cosa que no se había hecho previamente.

Una vez calibrada la sonda Lambda los valores de inyección previamente tomados no valían por lo que hubo que mapear de nuevo. Como se ha dicho previamente, esta fase puede considerarse como iterativa ya que continuamente se puede mejorar algún aspecto del funcionamiento de la moto. A la fecha en la que se escribe este documento se ha conseguido poner la moto a 13.000 rpm, que es una alta cantidad sabiendo que la moto con la centralita de serie alcanza como máximo las 9.000 rpm. Con este dato se puede ver la importancia del mapeo en una motocicleta de carreras, ya que tocando el mapa de inyección se puede hacer que la moto funcione con unas mejores prestaciones.

Innovación

Para realizar el proyecto de innovación se empezó analizando las distintas alternativas existentes para poder obtener la mejora querida. Una vez decidida la opción a realizar, se prosiguió a conocer si la ECU disponía de una función para llevar adelante el proyecto. efectivamente, el ECU permitía desconectar el alternador en función de la

apertura de mariposa. A continuación, se muestra como es la descripción de la función empleada para el proyecto desarrollado.

113 : Alternator Control
Turns the alternator off during full throttle if the battery has sufficient voltage.
Note that the Alternator must be able to supply at least twice the system load draw so that the battery can be charged during part throttle.
The Injector battery compensation must be verified to ensure that the fuelling does not vary as the battery voltage varies.

Ilustración 68: Función alternador

Una vez decidido el método que se va a emplear para aumentar la potencia llega la pregunta de dónde desconectar. Para ello, se compró un relé de estado sólido para desconectar las tres fases del alternador, pero como el cableado comercial venía con más relés de los empleados en el resto del proyecto, se guardó un ejemplar por si se procedía a desconectar el alternador después del rectificador. La decisión de utilizar el relé de estado sólido se tomó en el momento de arrancar la moto y ver el calor que desprendía el regulador-rectificador, porque eso era el indicio de que disipaba una gran potencia.

Una vez comprado y recibido el relé de estado sólido se prosiguió a conocer su funcionamiento, ya que en el equipo no se había tenido previamente ningún dispositivo con estas características. Para ello, se acudió al laboratorio de eléctrica de la escuela para probar el dispositivo, aquí se conoció la polaridad del relé, que es normalmente abierto, se debe de mantener excitado continuamente para que pase la intensidad, y en el momento en el que se desconecte la señal de excitación, se desconectara el alternador. En la siguiente imagen se muestra una de las pruebas con el relé.



Ilustración 69: Pruebas con el relé

Aspectos económicos

En este apartado se va a realizar el presupuesto del proyecto realizado. Para el presupuesto no se va a tener en cuenta el precio del motor, porque este viene incluido en el precio de la inscripción del equipo junto a un juego de neumáticos slick delantero y trasero, un juego de llantas delantera y trasera, y pinzas y bombas de freno. El coste de todo este kit es de 2.525€, precio muy inferior a su valor de mercado real, ya que únicamente el motor está a 2.600€ en el mercado. Otro apunte a realizar, es que tanto el cableado, como los sensores que componen el sistema eléctrico no han sido comprados uno a uno, sino que fueron comprados como conjunto de una instalación comercial.

A continuación, se presenta la tabla donde se recoge el precio de cada elemento del proyecto, la fecha en que se realizó el pedido de la compra, la empresa a la que se realizó el pedido, y su precio.

Fecha	Elemento	Empresa	Precio
27/11/2017	Bomba gasolina	EBay	63,31 €
27/11/2017	Garganta mariposa	EBay	70,99 €
27/11/2017	Cableado comercial	EBay	76,92 €
26/01/2018	Bujía x2	Amazon	34,6 €
26/01/2018	Botones interruptor manillar	Amazon	7,99 €
26/01/2018	Interruptor arranque manillar	Amazon	10,85 €
28/01/2018	Modulo encendido y pines Motec	Lausan	63,65 €
28/01/2018	Capuchones conectores	Lausan	3,18 €
21/02/2018	Sensor MAP	Bosch	23,05 €
17/05/2018	Relé de estado sólido x2	KZLTD	37,98 €
2015-2016	Motec M400	Motec	2.500 €
2015-2016	Sonda Lambda	Bosch	118,5 €
TOTAL			3.011,02 €

Tabla 5: Presupuesto proyecto

Análisis de riesgos

En este apartado se van a analizar los distintos riesgos a los que el proyecto se enfrenta a la hora de llevarse a cabo. El análisis se va a enfocar en los riesgos derivados del carácter económico y el contexto en el que se encuentra el proyecto.

En primer lugar, se ha enfocado la atención al carácter económico del proyecto. Al tratarse de un proyecto real, el dinero es de vital importancia. Otro inconveniente añadido es que el proyecto no tiene un presupuesto establecido, sino que existe un único presupuesto para abordar todos los gastos del equipo, por lo que, si se aumenta el coste de este proyecto en particular, el presupuesto para realizar llevar a cabo las partes mecánicas disminuirá pudiendo llegar a repercutir en la competitividad de la motocicleta.

El segundo aspecto a tener en cuenta es el contexto en el que está envuelto el proyecto. El proyecto, se encuentra dentro de un proyecto de mayor dimensión teniendo las desventajas y ventajas que esto supone. Ser parte de un equipo encargado de diseñar y fabricar una motocicleta en representación de la escuela de ingeniería de Bilbao trae consigo los riesgos propios de los proyectos en equipo. Esto indica que para poder realizar el proyecto se va a depender del trabajo de los demás integrantes del equipo, a la vez, todo el equipo depende del resultado de este proyecto, lo que impone una gran responsabilidad.

Tras la identificación de las distintas fuentes de posibles riesgos se comienza el análisis cualitativo de cada uno de los riesgos. En estos, habría que realizar tanto un estudio de probabilidad de ocurrencia como un estudio del impacto que tendría el riesgo.

La probabilidad de ocurrencia se ha dividido en cuatro niveles en función de las posibilidades de que suceda, yendo desde riesgos improbables hasta frecuentes.

Ponderación	Probabilidad
1	Improbable
2	Remota
3	Elevada
4	Segura

Tabla 6: Ponderación-frecuencia

El segundo paso para completar este análisis cuantitativo es realizar un estudio del impacto que tendrían los riesgos. Se han dividido en 4 niveles de riesgo yendo desde el insignificante hasta uno fatal que puede llegar a provocar el paro de la motocicleta en la carrera final.

Ponderación	Impacto
--------------------	----------------

1	Insignificante
2	Leve
3	Grave
4	Fatal

Tabla 7: Ponderación-impacto

Un último paso para su evaluación consiste en estimar la importancia que tiene cada riesgo y en función de esta tomar las medidas precisas. Para esta evaluación, se realiza esta tabla en la que tras multiplicar los valores obtenidos para la frecuencia y el impacto se obtiene un valor representativo de la importancia que tiene el riesgo. Se ha realizado una división en tres niveles de importancia:

- **Peligros significativos:** Son aquellos cuyo riesgo es elevado; tienen asociado un factor de riesgo elevado; son de tratamiento prioritario; se corresponden al color rojo de la tabla.
- **Peligros no significativos:** Son aquellos cuyo riesgo es menor; tienen asociado un factor de riesgo menor; se corresponden al color amarillo de la tabla.
- **Peligros despreciables:** No requieren atención especial; se corresponden al color verde de la tabla

Probabilidad	Impacto			
	Insignificante	Leve	Grave	Fatal
	1	2	3	4
Improbable 1	1	2	3	4
Remota 2	2	4	6	8
Elevada 3	3	6	9	12
Segura 4	4	8	12	16

Tabla 8: Matriz probabilidad-impacto

A continuación, se va a numerar los diferentes riesgos, también se clasificarán según su importancia y se describirán las distintas respuestas adoptadas.

1. Ruptura de una conexión: Es importante que todas las conexiones existentes que componen el sistema eléctrico de la motocicleta se encuentren bien conectadas. Una mala conexión puede provocar el paro total de la motocicleta en plena carrera, echando por la borda el trabajo de un año del equipo. Las conexiones entre distintos cables se realizan mediante soldadura, para evitar riesgos, una vez soldado se estira con la mayor fuerza posible del cable para comprobar que no se separan y, mediante un polímetro se comprueba la continuidad entre los puntos. Esto mismo, es aplicable a los distintos conectores empleados para unir los sensores con el sistema eléctrico. La probabilidad que ocurra este suceso en la carrera final es remota, porque antes de que se realice la carrera final, la motocicleta habrá sido probada en múltiples ocasiones, tanto en el banco de pruebas, como en circuitos entrenado. Por lo que resultaría difícil que el fallo se manifieste por primera vez en la carrera final.

Valoración: Remoto (2) x Fatal (4) =8.

2. Retraso en la fabricación de la motocicleta: Para poder realizar el mapeo del motor es preciso contar con la motocicleta ya fabricada. Además, cuanto más tiempo se tenga para calibrar los mapas de encendido e inyección, los mapas obtenidos serán presuntamente mejores, consiguiendo hacer que la motocicleta se mueva más finamente y desarrollando una mayor potencia. La probabilidad de que ocurra este suceso es elevada, debido a que, para esta nueva edición de MotoStudent los integrantes que conforman el equipo de la escuela son todos nuevos, siendo está la primera edición que afrontan. Por lo tanto, la falta de experiencia en el cómo hacer las distintas partes de la moto puede provocar un retraso en la fabricación de la misma. Al ser un equipo unido bajo un proyecto común, si se prevé que se retrasará la fabricación de la motocicleta se procederá a dejar este proyecto aparcado hasta conseguir solventar el problema.

Valoración: Elevada (3) x Grave (3) =9.

3. No funcionamiento de algún elemento no sustituible: Para el correcto funcionamiento de la moto es preciso el funcionamiento de todos los elementos con los que cuenta. A diferencia del primer riesgo expuesto, en este caso no se analizará el impacto del fallo en plena competición, pues como se ha mencionado antes, es complicado que si se tiene que producir el fallo no se de en las distintas pruebas realizadas previas a la carrera final. En este caso, se analizará el impacto que tiene el no funcionamiento de un elemento del sistema eléctrico de la moto, ocurriendo este percance durante una de las pruebas realizadas. Si llegase a ocurrir el fallo de algún elemento durante los ensayos supondría quedarse sin ese elemento hasta conseguir otro que funcione correctamente. Esto implicaría que la motocicleta no arrancararía durante ese periodo de tiempo, y, por tanto, no se podrían hacer ensayos ni probar la moto. Otro problema de que falle algún elemento durante los ensayos, es su factor económico. Un fallo en un producto implica la necesidad de comprar otro que lo sustituya. Como ya se ha dicho, el presupuesto del equipo es limitado, por lo que, si el elemento que se necesita recambiar es de alto precio, el presupuesto del equipo se vería damnificado, este puede ser el caso de averiar el motor o la ECU. Para hacer frente a estos riesgos, en los elementos fundamentales para el funcionamiento y de bajo precio, se comprarán varias unidades de recambio

para evitar los tiempos de espera asociados al fallo del producto original. Para evitar el deterioro de los elementos de mayor precio se procederá a tratar cuidadosamente los elementos originales para evitar dañarlos.

Valoración: Elevada (3) x Grave (3) =9.

Conclusiones

Tras la finalización del trabajo de fin de grado se pueden extraer varias conclusiones finales que serán expuestas en los siguientes puntos:

- Un elemento mecánico por sí solo no tiene gran utilidad. Como he visto en el proyecto, el motor recibido era simplemente un conjunto de elementos mecánicos. Para poder hacerlo funcionar se ha necesitado acompañarlo de una instalación eléctrica y una unidad inteligente.
- A la hora de realizar el proyecto he podido ver la importancia de tener la unidad de control bien calibrada. En los instantes en los que se mapeaba, un mal cambio en una sola celda del mapa de inyección llegaba a parar la moto.
- Otro aspecto importante para recalcar es la dificultad que tiene tomar datos validos reales. Mapear el mapa de inyección completo como se ha dicho es imposible para nuestros medios. Por lo que los puntos tomados en zonas difíciles de mapear, valen su peso en oro, permitiendo posteriormente mediante solo un punto (sino son posibles más) calibrar decentemente esa zona. Unido a esto, mediante la realización de este trabajo he comprendido la importancia del trabajo de prueba y error. Una vez obtenido un punto, se intenta conseguir ese tramo entero. Se programa ese tramo, y se prueba hasta que su funcionamiento es el querido.

ANEXO I: Pliego de condiciones

El objetivo de este pliego de condiciones es fijar las condiciones mínimas que debe de cumplir el sistema eléctrico para su correcto funcionamiento especificando los requisitos para su ejecución, de forma que cumpla las garantías establecidas. El pliego de condiciones mostrado ha sido extraído de la normativa de la competición.

ARTÍCULO 8: INSTALACIÓN ELÉCTRICA

C.8.1 ECU

La Unidad de Control Electrónico (ECU) del motor es de libre configuración.

C.8.1.1 Pueden utilizarse tanto dispositivos comerciales como de configuración propia.

C.8.1.2 El mapa electrónico de gestión del motor es de configuración libre.

C.8.2 Batería

Es obligatoria la instalación de una batería con una tensión de trabajo entre 8V y 18V.

C.8.3 Instalación eléctrica

C.8.3.1 Se permite la elaboración libre de la instalación eléctrica por parte de cada equipo.

C.8.3.2 Se permite el uso de instalaciones comerciales.

C.8.3.3 El tipo de cable a utilizar, el diseño y la ejecución del cableado es libre, siempre que éste vaya correctamente aislado.

C.8.3.4 El tipo de conectores es de libre elección. Se deberá tener en cuenta la posibilidad del correcto funcionamiento eléctrico de la motocicleta en condiciones de lluvia.

C.8.3.5 Se permite el uso de componentes comerciales. (bobina, baterías, reguladores, conectores, etc.)

C.8.3.6 Todas las motocicletas deberán ir provistas de un botón de paro de seguridad en el lado izquierdo del manillar. Deberá estar indicado en color rojo para su fácil localización en caso de emergencia. Dicho botón de paro deberá cortar el suministro eléctrico a cualquier componente de la motocicleta.

C.8.3.7 Se permite el uso de una única bobina de encendido.

C.8.3.8 La instalación eléctrica deberá estar perfectamente integrada en el conjunto de la moto, no dejando distancias mayores a 15cm de cableado sin sujetar.

C.8.3.9 La longitud de los cables deberá ser la justa, por lo que se prohíbe enrollar la longitud de cable sobrante.

C.8.3.10 Se recomienda alejar la instalación eléctrica lo máximo posible de los puntos calientes del motor, así como de los sistemas de refrigeración y escape.

C.8.4 Sistema de arranque

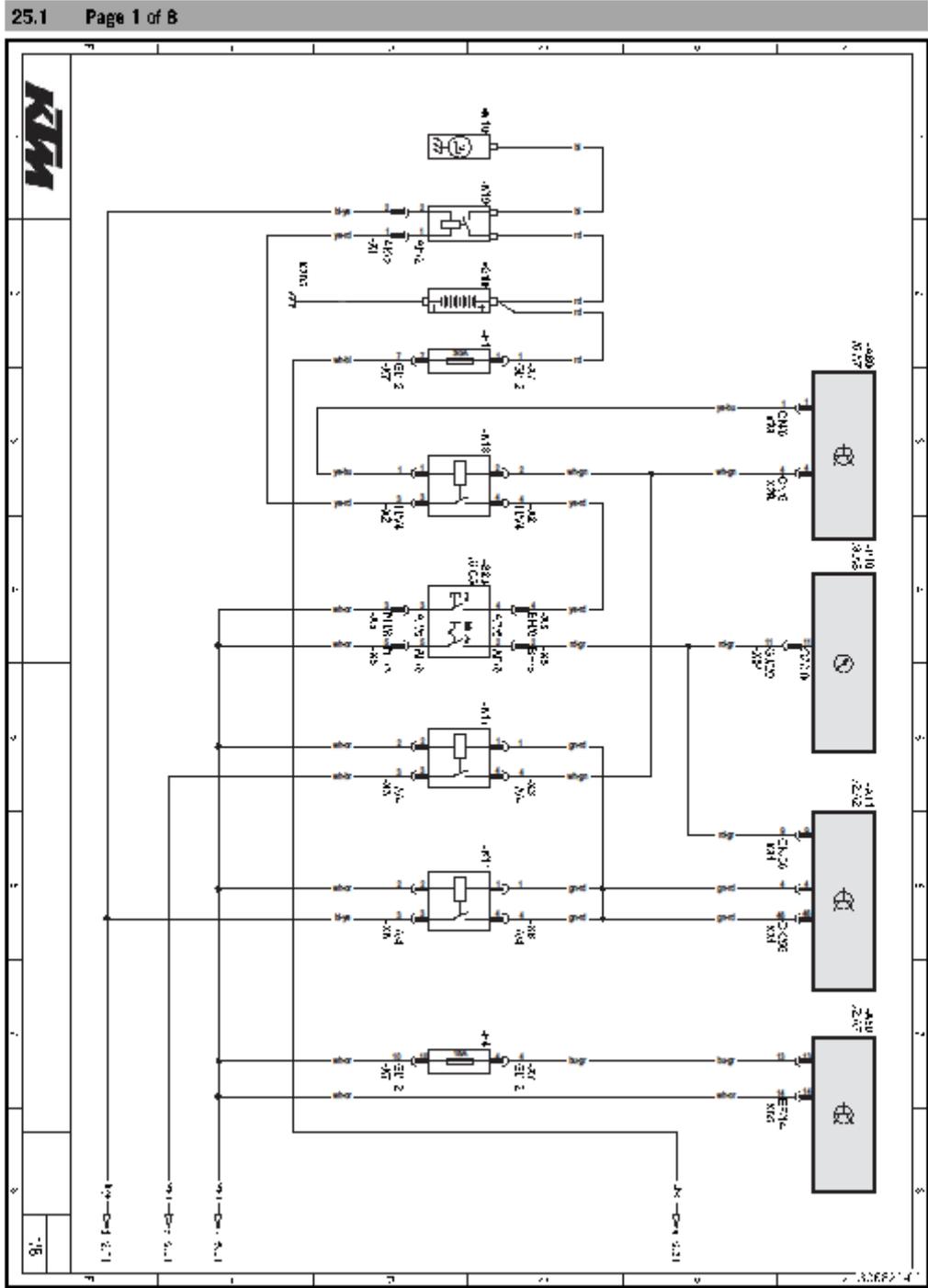
C.8.4.1 Se prohíbe la anulación del sistema de arranque eléctrico integrado en el Motor Oficial.

C.8.4.2 En caso de avería en el motor de arranque eléctrico, durante el procedimiento de parrilla de salida de las sesiones de carrera no se permitirá el arranque con arrancadores externos. Únicamente en caso de avería se permitirá el arranque de la moto empujando.

ANEXO II: Planos eléctricos

25 WIRING DIAGRAM

214

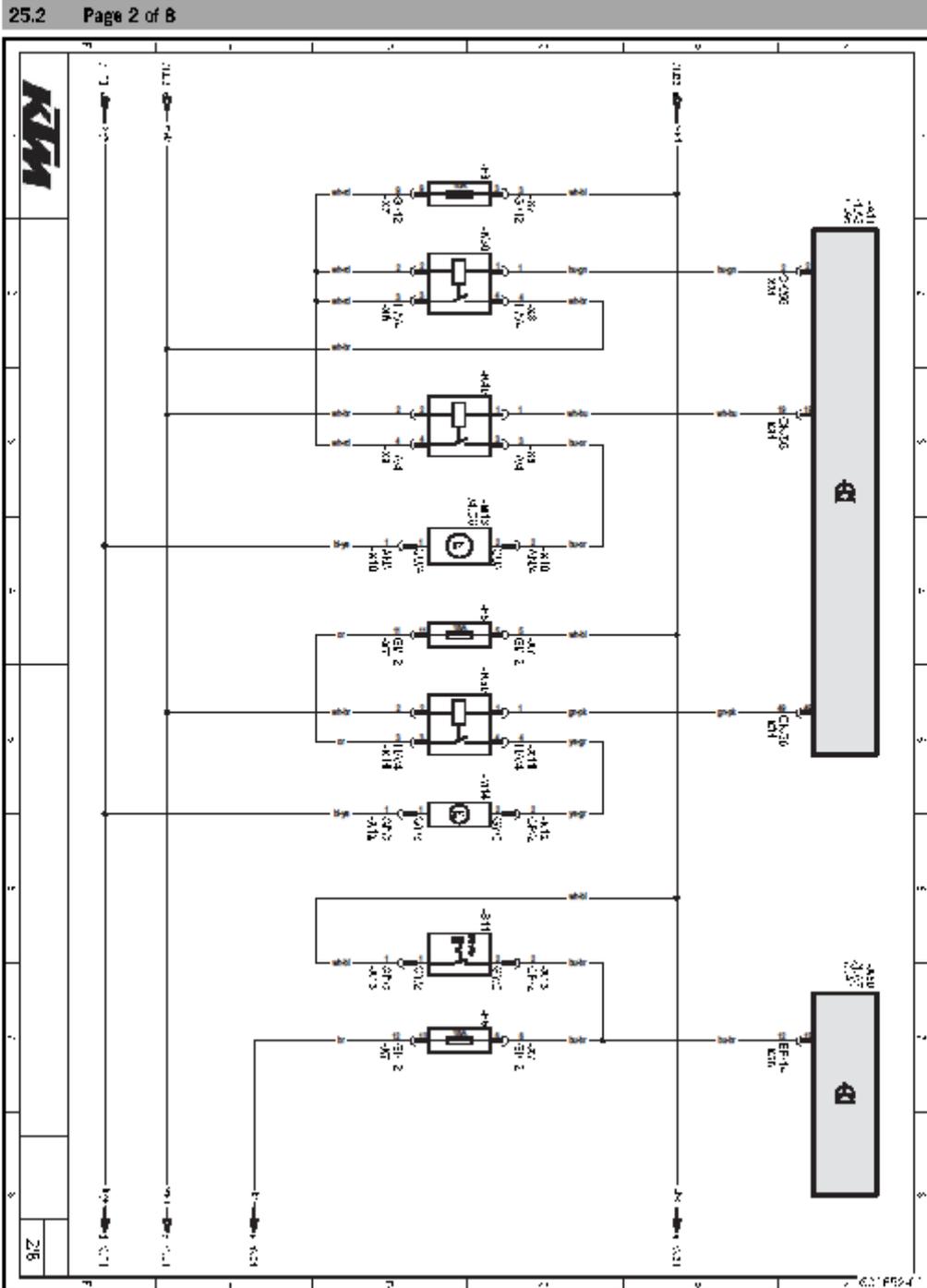


25 WIRING DIAGRAM

219

Components:

ACU	E-I control unit
ASD	Air system (optional)
ASU	Vehicle control unit
F1	Fuse
F2	Fuse
B+0	Battery
K13	Starter relay
K11	Start auxiliary relay 1
K12	Start auxiliary relay 2
K1A	Start auxiliary relay 3
M10	Starter motor
P10	Combination instrument
S23	Emergency Off switch, electric starter button

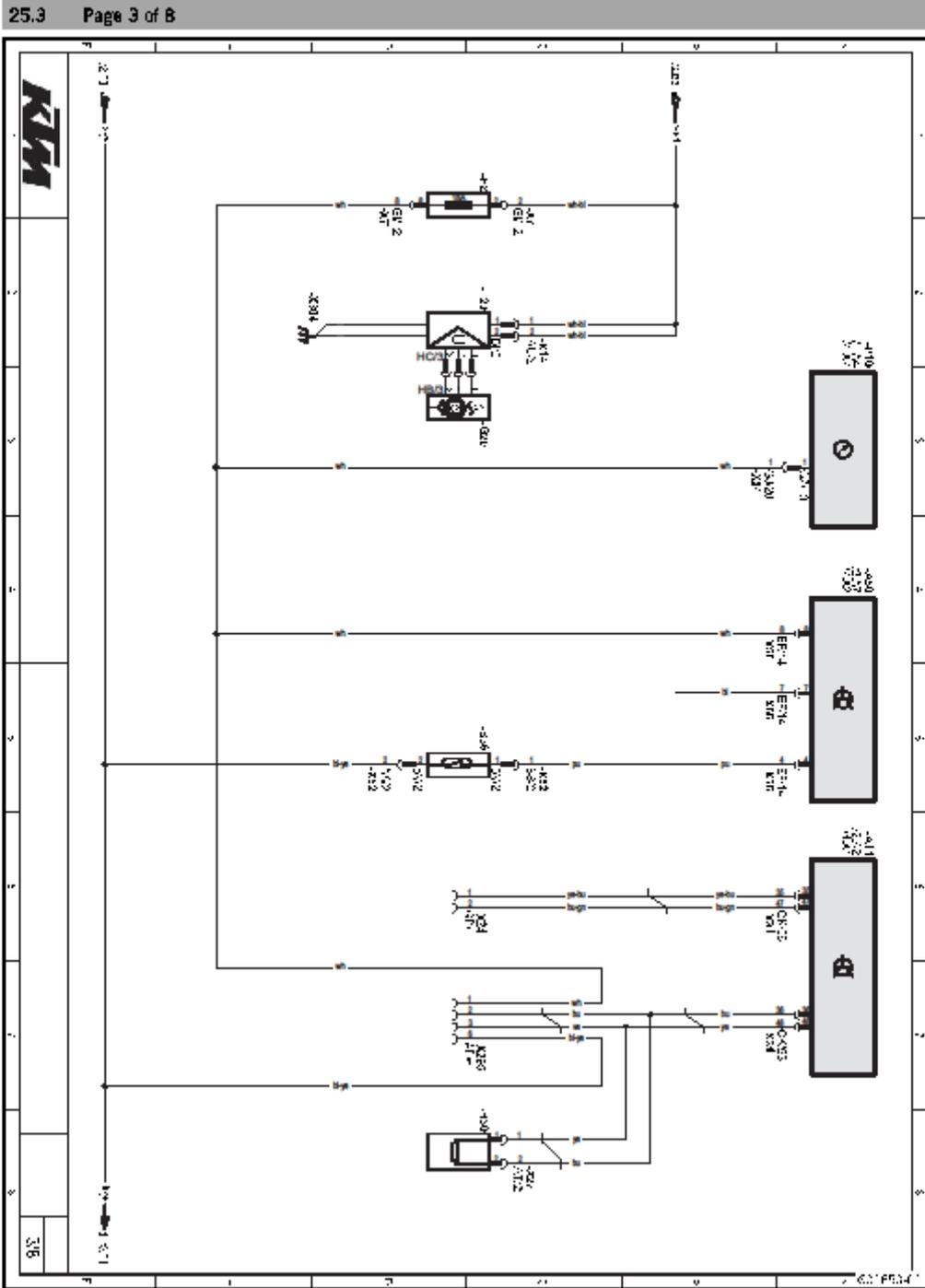


25 WIRING DIAGRAM

217

Components:

ACU	E-I control unit
ASV	Air system (optional)
F3	Fuse
F5	Fuse
F6	Fuse
K10	Fuel relay
K11	Fuel pump relay
K50	Relay for fan
F13	Fuel pump
F14	Relay for fan
SC1	Ign. and steering lock

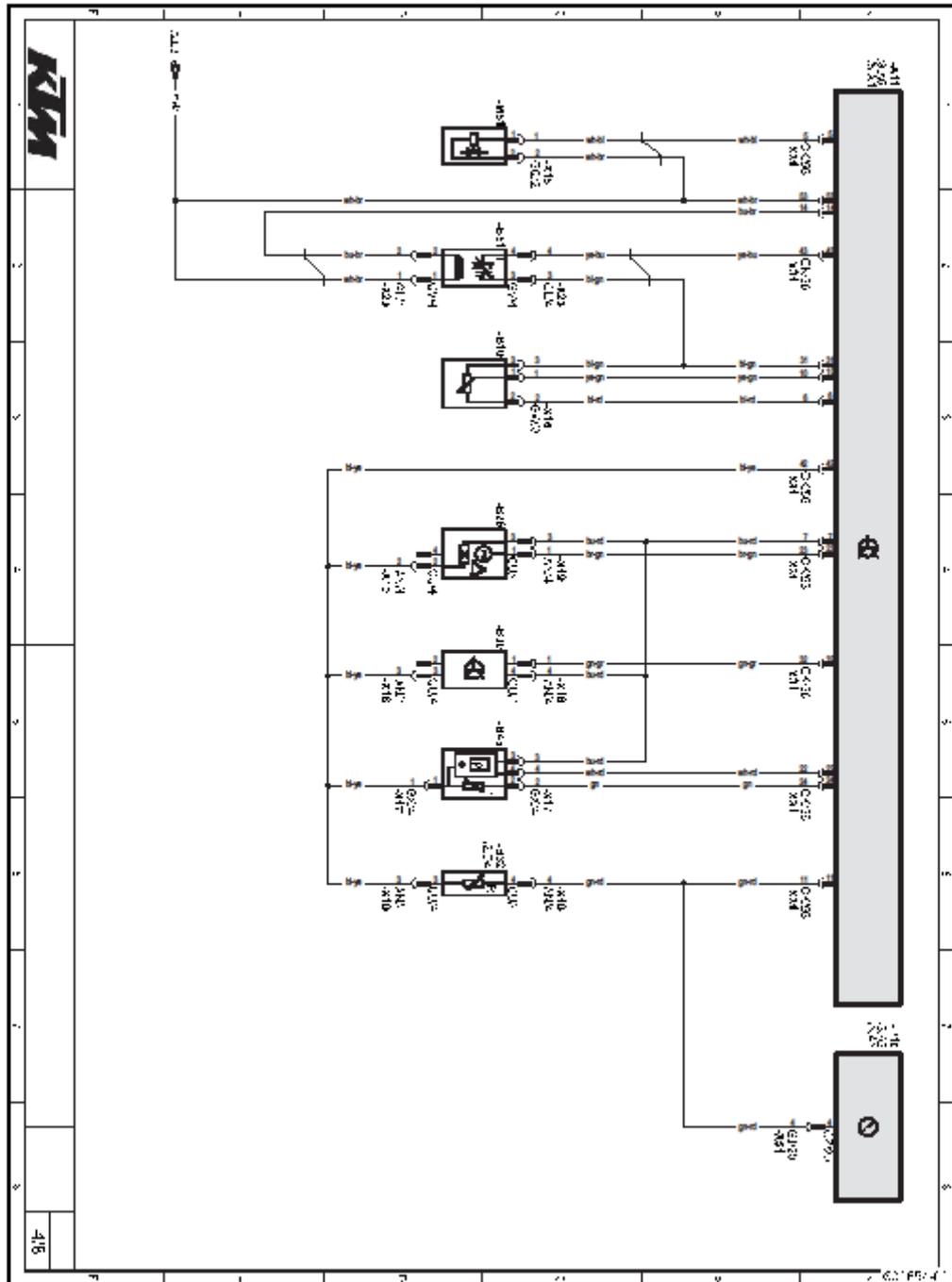


25 WIRING DIAGRAM

219

Components:

A11	E-I control unit
A50	Alarm system (optional)
B36	Alarm system switch (optional)
F2	Fuse
PCU	Control panel instrument
R20	Relay
R30	CAN-bus terminating resistor
T20	Voltage regulator
X225	Diagnostics connector



25 WIRING DIAGRAM

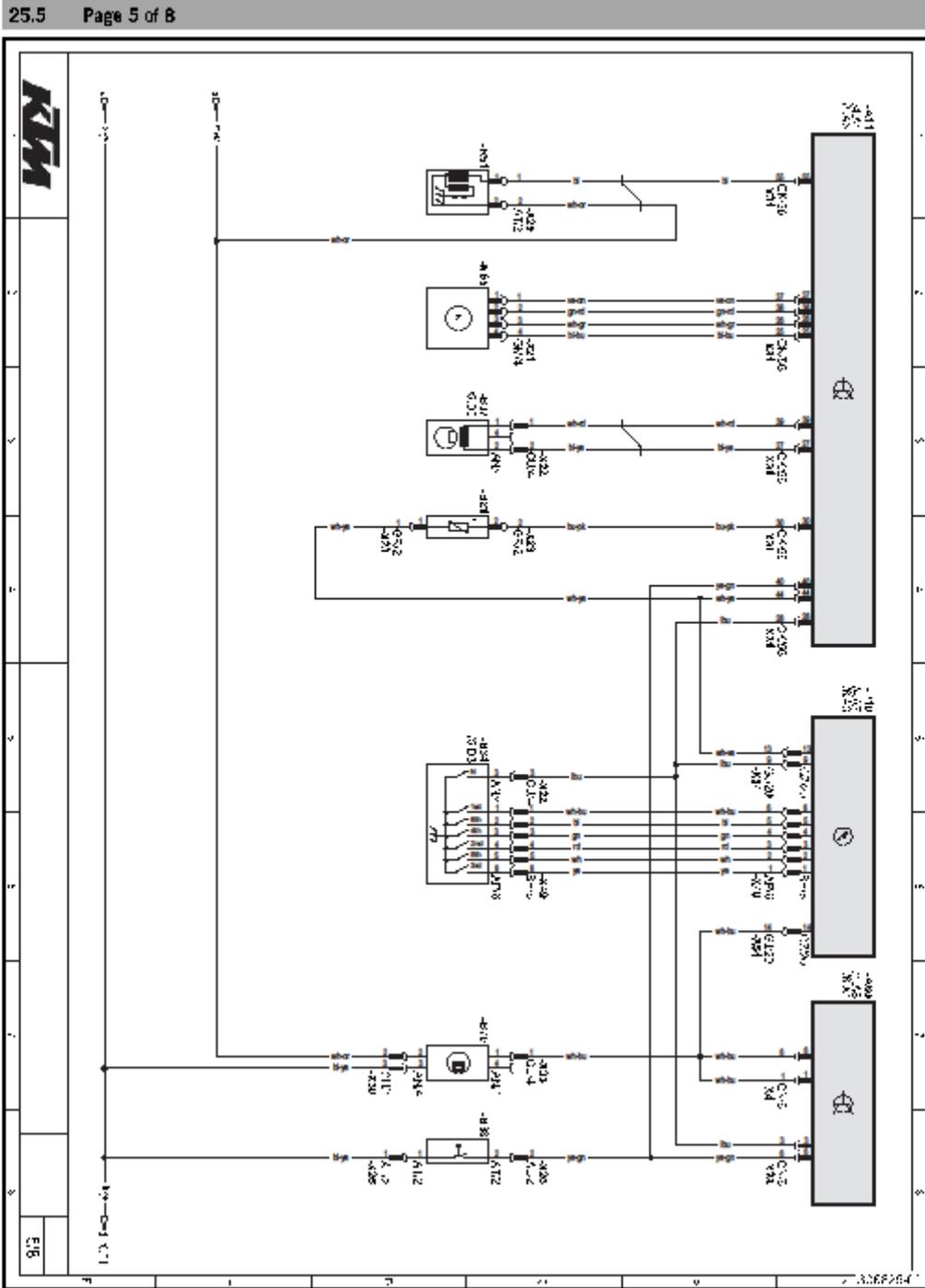
221

Components:

ECU	E-C control unit
ETC	Throttle position sensor (T.P.S.)
ESV	Roll-over sensor
ESW	Steering wheel lock
ETP	Temperature and manifold absolute pressure sensor
ELF	Fuel level indicator
ELC	Lambda sensor (cylinder 1)
ESI	Injection (cylinder 1)
PIB	Control panel instrument

25 WIRING DIAGRAM

222



25 WIRING DIAGRAM

223

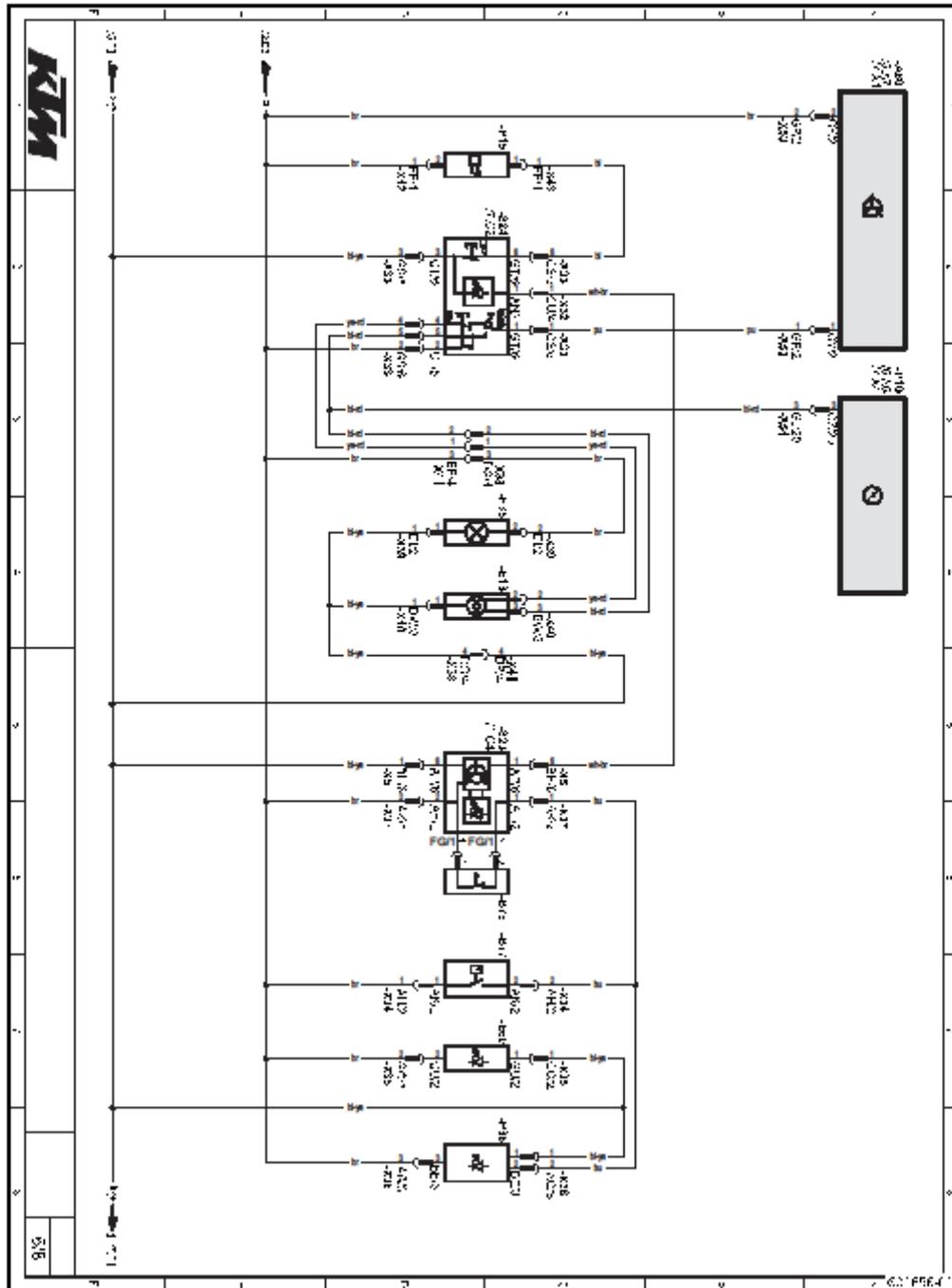
Components:

ACU	E-I control unit
MSA	Vehicle control unit
B21	Engine coolant temperature sensor (cylinder 1)
D14	Gear oil temperature
B37	Ignition pulse generator
D1A	Clock oil pump
B70	Front wheel speed sensor
M55	Idle speed actuator
P20	Control panel instrument
R51	Ignition coil (cylinder 1)

25 WIRING DIAGRAM

224

25.6 Page 6 of 8

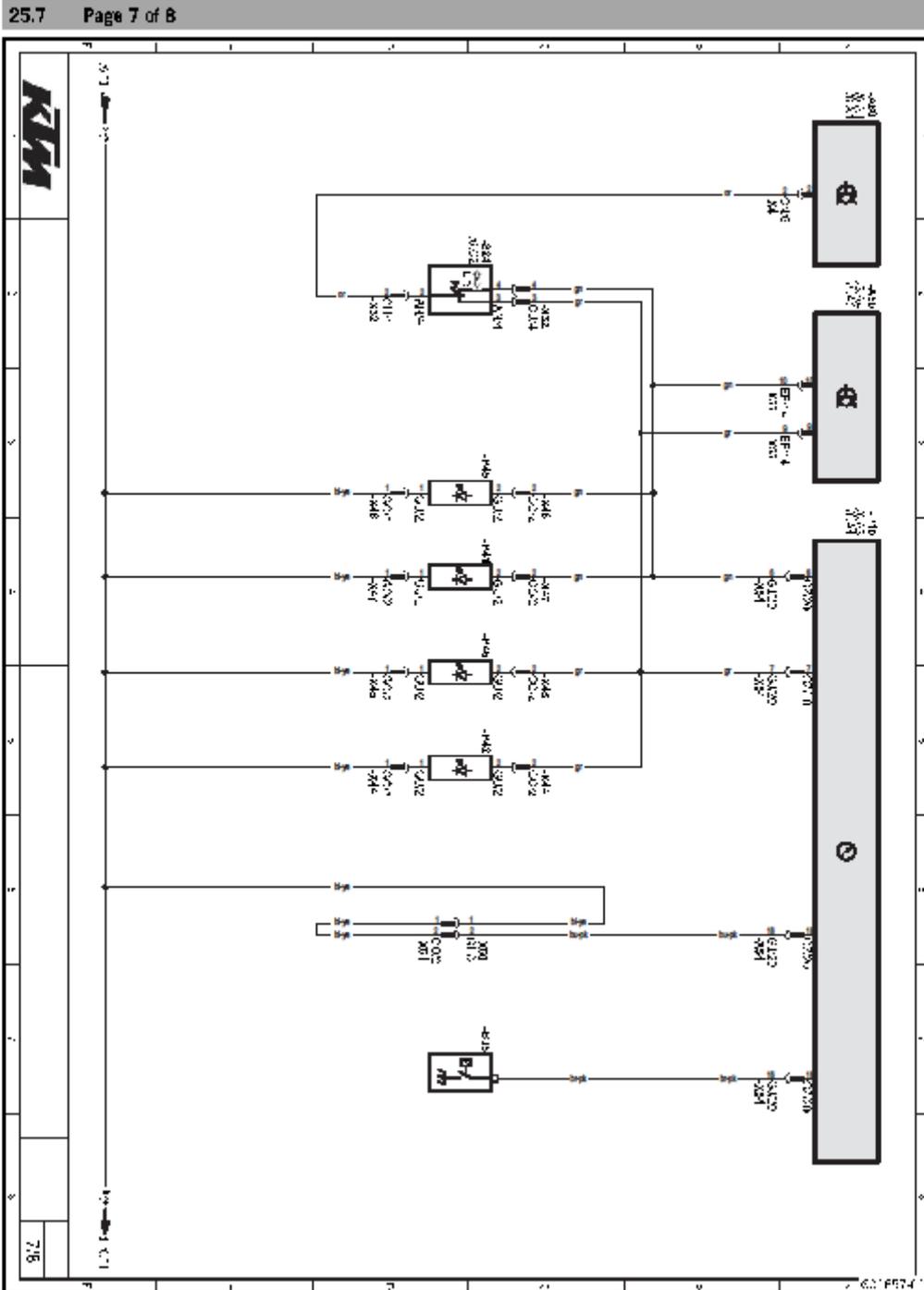


25 WIRING DIAGRAM

229

Components:

A50	Vehicle control unit
B76	Front brake light switch
B77	Brake light switch, rear
F75	Low beam, high beam
bb0	License plate lamp
P10	Coil on car instrument
P15	Horn
P35	Forking light
P36	Brake/Light
S23	Emergency OFF switch, emergency stop button
S24	Light switch, horn button, headlight, heater switch, turn signal switch



25 WIRING DIAGRAM

227

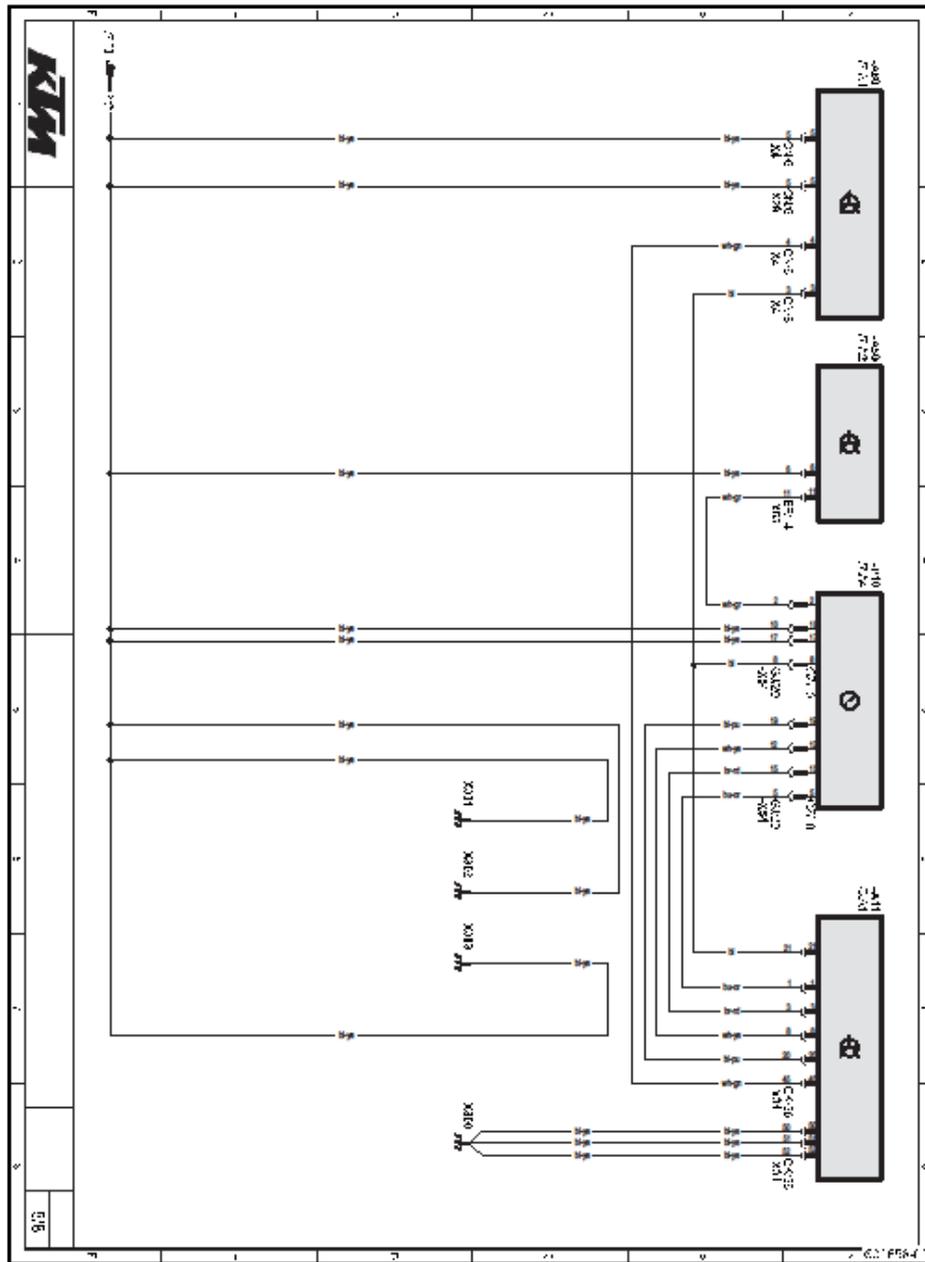
Components:

A60	Alarm system (optional)
A6A	Vehicle can no start
B33	Oil pressure sensor
P10	Combination fuel/airer
P11	Turn signal front left
P42	Turn signal front right
P15	Turn signal rear left
P46	Turn signal rear right
327	Light switch, fan blower, headlight flasher switch, turn signal switch

25 WIRING DIAGRAM

228

25.8 Page 9 of 8



25 WIRING DIAGRAM

229

Components:

ACU	E-I control unit
ASD	Air sys. AM (optional)
ASD	Vehicle control unit
P/A	Control air inlet area

Cable colors:

bl	Black
br	Brown
bl	Blue
gr	Green
gr	Gray
lbu	Light blue
or	Orange
pk	Pink
pl	Purple
rd	Red
wh	White
ye	Yellow

Bibliografía

- Reglamento de la competición MotoStudent: **MS1718_Regulations_V1_ESP**
- Libro del funcionamiento de las motocicletas: **Cossalter - Motorcycle Dynamics**
- Manuales sobre la unidad de control: **M400_M600_M800_M880_Manual_A5**
- Manuales de motocicletas con un esquema eléctrico similar: **KTM-DUKE-125-200-2012-Workshop-Repair-Manual**
- Documentación recibida sobre el motor: **MS1718 KTM INFO**
- Sustento teórico: **www.ingemecanica.com**

