

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOY

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

“Análisis, diseño y simulación del estudio energético
de una motocicleta eléctrica de competición”

Autor:

OSCAR JUDAS PALAO MAÍZ

Dirigido por:

FRANCISCO MANUEL LÓPEZ ESTEVE

ADOLFO HILARIO CABALLERO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

CAMPUS D'ALCOY

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

**“Análisis, diseño y simulación del estudio energético de una
motocicleta eléctrica de competición”**

Autor:

OSCAR JUDAS PALAO MAÍZ

Dirigido por:

FRANCISCO MANUEL LÓPEZ ESTEVE

ADOLFO HILARIO CABALLERO

MAYO, 2019

RESUMEN

“Análisis, diseño y simulación del estudio energético de una motocicleta eléctrica de competición”

En este trabajo final de grado abordaremos los cálculos necesarios para modelar una moto de competición propulsada de manera cien por cien eléctrica. Además, calcularemos los parámetros físicos necesarios para ello, bien de manera numérica o de manera experimental. Una vez modelada, simularemos mediante Matlab/Simulink su comportamiento para realizar 8 vueltas en el Circuito MotorLand Aragón. Finalmente, obtendremos su demanda energética y la distribución de las baterías para alcanzar los parámetros de tensión y capacidad necesarios.

SUMMARY

“Analysis, design and simulation of the energy study of a racing electric motorcycle”

In this final grade work we will deal with the calculations necessary to model a electric racing motorbike. In addition, we will calculate the physical parameters necessary for this, either numerically or experimentally. Once modeled, we will simulate through Matlab / Simulink their behavior to perform 8 laps in the MotorLand Aragón Circuit. Finally, we will obtain your energy demand and the distribution of the batteries to reach the necessary voltage and capacity parameters.

RESUM

“Anàlisi, disseny i simulació de l'estudi energètic d'una motocicleta elèctrica de competició”

En aquest treball final de grau abordarem els càlculs necessaris per a modelar una moto de competició propulsada de manera cent per cent elèctrica. A més, calcularem els paràmetres físics necessaris per a això, bé de manera numèrica o de manera experimental. Una vegada modelada, simularem mitjançant *Matlab/*Simulink el seu comportament per a realitzar 8 voltes en el Circuit *MotorLand Aragó. Finalment, obtindrem la seua demanda energètica i la distribució de les bateries per a aconseguir els paràmetres de tensió i capacitat necessaris.

AGRADECIMIENTOS

Nunca sabes quienes son aquellos quienes merecen los agradecimientos hasta que no finalizas el trabajo final de grado. Pero una vez hecho, es algo que te sale solo...

Gracias a todas esas personas que han tenido que aguantarme en estas fechas tan llenas de estrés, días malos y todo lo que ello conlleva. En especial a A.M.A. por ser quien es, y por esa maravillosa relación que no tiene nadie, no de esa forma. Por otro lado, también a E.C.M. quien se ha empeñado en sufrirme día tras día.

La vida es una preparación para el futuro; y la mejor preparación para el futuro es vivir como si no hubiese ninguno. - A. Einstein

Tabla de Contenidos

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN | 3 |
| SUMMARY..... | 4 |
| RESUM | 5 |
| ABREVIATURAS | 9 |
| I. INTRODUCCIÓN | 11 |
| I.1. ANTECEDENTES..... | 12 |
| I.1.1. Breve historia del transporte. | 12 |
| I.1.2. Motores empleados en la automoción. | 13 |
| I.1.3. Tipos de baterías..... | 16 |
| I.1.4. Puntos de carga. | 21 |
| <i>I.1.4.1. Tipos de vehículos eléctricos.</i> | <i>21</i> |
| <i>I.1.4.2. Tipos de conectores y de puntos carga</i> | <i>22</i> |
| I.1.5. Impacto del vehículo eléctrico..... | 24 |
| I.1.6. Residuos y tratamientos requeridos | 28 |
| I.2. JUSTIFICACIÓN. | 30 |
| II. OBJETIVOS | 31 |
| II.1. OBJETIVO GENERAL. | 32 |
| II.2. OBJETIVOS PARTICULARES..... | 32 |
| III. DESARROLLO DEL TRABAJO | 33 |
| III.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO. | 34 |
| III.2. DISEÑO PRELIMINAR. | 35 |
| III.2.1. Parte de alta tensión. | 35 |

| | |
|--|-----------|
| III.2.2. Parte de baja tensión. | 40 |
| III.3. NORMATIVA APLICABLE. | 41 |
| III.4. SELECCIÓN DE COMPONENTES. | 63 |
| III.5. CÁLCULOS Y SIMULACIONES. | 65 |
| III.5.2. Modelización matemática de la motocicleta eléctrica. | 65 |
| <i>III.5.2.1. Modelo de componentes.</i> | <i>65</i> |
| <i>III.5.2.2. Modelo dinámico del vehículo.</i> | <i>75</i> |
| III.5.3. Parametrización del ciclo de conducción. | 78 |
| III.5.4. Consumo energético de la motocicleta eléctrica. | 84 |
| III.5.5. Dimensionado del acumulador. | 89 |
| IV. CONCLUSIONES..... | 90 |
| VI. APÉNDICES | 92 |
| VI.1. REFERENCIAS..... | 93 |
| VI.2. PLANOS Y ESQUEMAS TÉCNICOS..... | 95 |
| VI. 3. LISTADO DE FIGURAS | 96 |
| VI.4. LISTADO DE TABLAS | 98 |

ABREVIATURAS

| | |
|--------------|---|
| α | Inclinación o pendiente |
| θ | Inclinación del piloto en curva |
| a | Rendimiento de la transmisión |
| A_f | Área frontal |
| angulo | Matriz con los valores de la inclinación del circuito |
| b | Constante normal |
| c | Constante aerodinámica |
| Ccel | Capacidad por celda |
| c_d | Coefficiente aerodinámico |
| Cda | Resistencia aerodinámica prototipo |
| c_r | Coefficiente de rodadura |
| Dair | Densidad del aire |
| Demenerg | Demanda energética requerida por el prototipo |
| Df | Diámetro rueda delantera |
| df | Distancia de frenado |
| Dr | Diámetro rueda trasera |
| dv/dt | Aceleración |
| F | Fuerza |
| F_a | Fuerza aerodinámica |
| F_N | Fuerza normal |
| F_R | Fuerza de rodadura |
| F_{Resist} | Fuerzas en oposición al movimiento |
| Ftotal | Fuerza neta de empuje del prototipo |
| F_{trac} | Fuerza de tracción |
| Fuerza_total | Matriz que representa la gráfica motor |
| g | Gravedad |
| gas | Matriz con unos y ceros determinando las zonas de aceleración |
| i | Relación de transmisión |
| Iwf | Inercia rueda delantera |
| Iwm | Inercia motor |
| Iwr | Inercia rueda trasera |
| Lcirc | Longitud del circuito |
| m | Masa equivalente |
| Mmotor | Matriz con los valores de par entregados por el motor |
| m0 | Masa del prototipo más masa piloto |
| Pmotor | Matriz con los valores de potencia entregada por el motor |
| pn | Presión de los neumáticos |
| r_rueda | Radio rueda |
| Rc | Radio de giro en curva |
| Stop_time | Tiempo de simulación |
| T | Paso de integración |

| | |
|---------|--|
| t | tiempo |
| T_max | Par máximo que entrega el motor |
| T_min | Par mínimo que entrega el motor |
| T_total | Vector par del motor |
| tau_f | Ratio de velocidad de giro rueda delantera |
| tau_m | Ratio de velocidad de giro piñón |
| tau_r | Ratio de velocidad de giro rueda trasera |
| v | Velocidad del prototipo |
| V_1 | Velocidad donde el par deja de ser constante |
| Vc | Velocidad crítica o máxima en curva |
| vf | Velocidad en curva |
| vi | Velocidad antes de curva |
| V_max | Velocidad máxima |
| wmotor | Matriz con los valores de velocidad de giro del motor |
| wrueda | Matriz con los valores de velocidad de giro de la rueda motriz |
| x_1 | Resistencia aerodinámica extrapolada 1 |
| x_2 | Resistencia aerodinámica extrapolada 2 |
| Zc | Número de dientes de la corona |
| Zp | Número de dientes del piñón |

I. INTRODUCCIÓN

I.1. ANTECEDENTES.

I.1.1. Breve historia del transporte.

Desde hace unos 12.000 años que se crearon los primeros asentamientosⁱ el ser humano empezó a experimentar la necesidad de moverse de un sitio a otro. Ya fuese para comerciar, cazar o conquistar nuevos territorios. Debido a esta necesidad, llegó la domesticación de los animales. Muchos de ellos empleados para trabajos físicos en la agricultura, pero también se emplearon para transporte de materiales e incluso personas.

Posteriormente, aunque no se ha determinado su lugar exacto de nacimiento, sobre el año 3500 a.C.ⁱⁱ y gracias a la evolución de la inteligencia humana, se desarrolló la rueda, dando lugar a vehículos equipados con ellas que hacían más sencillo el transporte.

Ahora ya tenemos todo lo que necesita un vehículo a falta de la propulsión. Como era de esperar los primeros vehículos eran propulsados físicamente por animales e incluso en algunas ocasiones por personas. Pero no fue hasta 1769 cuando Nicolas Cugnot implementó el motor de vapor, patentado durante la primera revolución industrial en 1768 por James Watt quien mejoró la máquina a vapor creada por Thomas Newcomen en 1712.ⁱⁱⁱ

Posteriormente, llegaron los coches eléctricos entre 1832 y 1839 aunque el rendimiento de estas y su autonomía eran muy reducidos por lo que fueron sustituidos.

Finalmente, llegarían los motores de combustión interna. En 1886 el de gasolina y en 1936 el primer coche diésel.^{iv}

Debido a sus prestaciones, sustituyeron a los eléctricos.

I. Introducción

I.1.2. Motores empleados en la automoción.

El primer motor que se empleó en un vehículo, fue en 1769 cuando Nicolas Cugnot implementó el motor de vapor en su automotor de tres ruedas.



Ilustración 1: Primer automóvil propulsado.

Posteriormente y al contrario de las creencias actuales, el coche eléctrico es anterior al de combustión. Ya en 1828 Ányos Jedlik, quien es considerado, por húngaros y eslovacos, el padre desconocido de la dinamo y el motor eléctrico, desarrolló el primer motor eléctrico formado por un rotor y un estator.^v



Ilustración 2: Motor eléctrico creado por Ányos Jedlik.

Como ya hemos comentado anteriormente en 1886 llegó el primer motor de combustión que debido a su rendimiento y autonomía es, junto al motor diésel, el que ha convivido con nosotros hasta la actualidad.

I. Introducción

En estos últimos años y debido a la reducción de los combustibles fósiles, nos hemos visto obligados a buscar alternativas a estos. Para ello, hemos retomado el motor eléctrico ya que, debido a los nuevos avances tanto en materiales como en tecnología, hemos conseguido tener motores eléctricos más potentes. No ha sido el único aspecto que hemos mejorado, ya que las baterías también han sido mejoradas y llevadas al siguiente nivel debido a los nuevos materiales que empleamos para realizarlas. También hemos combinado ambos motores, dando lugar a los coches híbridos.

Otra alternativa olvidada, es el motor a vapor. Éste, tuvo su mayor auge al principio del siglo XX, llegando a tener más de la mitad del mercado estadounidense. Con la tecnología actual podría reducirse su tiempo de arranque a segundos y reducir su peso con los nuevos y más ligeros materiales de los que disponemos.^{vi}

Para poder comparar el motor de cada uno de ellos, compararemos un vehículo de cada uno de los tipos de vehículos que tengan un precio de mercado lo más similar posible. Los vehículos elegidos son el Volkswagen polo 1.0 Edition, Renault ZOE y el Hyundai gama IONIQ.

Tabla 1. En la siguiente tabla se comparan algunos modelos con cada uno de los motores.

| | Volkswagen Polo 1.0 Edition ^{vii} (Combustión) | Renault ZOE ^{viii} (Eléctrico) | Hyundai gama IONIQ ^{ix} (Híbrido) |
|-------------------------|---|--|---|
| Autonomía (km) | 800 | 300 | 1100 |
| Peso (kg) | 1105 | 1473 | 1650* |
| Contaminación (g/km) | 131 | 0 | 85 |
| Potencia (cv) | 80 | 92 | 105 |
| Precio (€) | 15.553 | 15.700* | 20.990 |

I. Introducción

Como conclusión podríamos obtener que estamos en una etapa de transición donde cada vez más, las prestaciones de los vehículos eléctricos alcanzan e incluso superan a los vehículos tradicionales de combustión interna. Aun así, queda mucho para que el coche eléctrico sustituya por completo al vehículo de combustión interna.

I. Introducción

I.1.3. Tipos de baterías.

Adentrémonos en el mundo de los vehículos eléctricos. Más concretamente en tema de las baterías, ya que son al fin y al cabo quienes proporcionan toda la energía que necesita nuestro vehículo para moverse.

Aunque las baterías parezcan una de las últimas tecnologías descubiertas, se cree que la invención de éstas data del año 250 a.C. ya que se han encontrado unas vasijas de barro con cilindros de cobre y una barra de hierro corroída.^x

Su funcionamiento es sencillo: Son dispositivos capaces de almacenar energía eléctrica de forma química para posteriormente liberarla en forma de corriente continua de forma controlada. Para ello, necesitamos un ánodo y un cátodo sumergido en un electrolito. De esta manera, si conectamos una resistencia entre el ánodo y el cátodo, produciremos una corriente de electrones que circulará del primero al segundo.

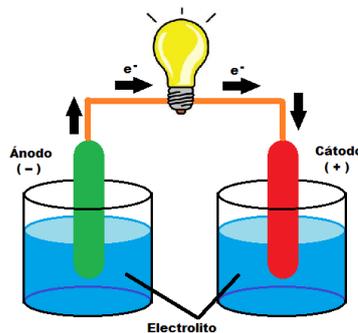


Ilustración 3. Funcionamiento básico de una batería.

Hay varios tipos de baterías:

Plomo - Ácido.

En 1860 Gastón Planté construyó la primera batería de este tipo, las cuales tardaron en ser aceptadas. Estaban constituidas por electrodos de plomo sumergidos en ácido sulfúrico. Pero el mayor de sus logros es que esta batería era capaz de invertir el sentido de su corriente y por ello recargarse, haciéndola idónea para el sector de la automoción. Aun así, tenía el gran inconveniente de que sufrían gran cantidad de derrames. En 1960 pudo solventarse gracias a las baterías de celdas tipo gel formado por

I. Introducción

ácido sulfúrico mezclado con polvo de sílice. Son las más empleadas en los vehículos ya que todos llevan una para realizar el arranque del mismo.

Níquel - Cadmio.

Estas son las más usadas cotidianamente. Además, son recargables y admiten un gran rango de temperaturas de trabajo, aunque de baja densidad energética. Utilizan un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo compuesto de cadmio y el electrolito es de hidróxido de potasio.^{xi}

Níquel - hidruro metálico.

Este tipo de baterías son empleadas en los coches híbridos ya que son más baratas que las que usan los eléctricos puro (Baterías de litio) y son más seguras debido a que no están compuestas por líquidos inflamables.

El ánodo está compuesto por oxihidróxido de níquel y el ánodo por un hidruro metálico. De esta forma, sustituimos el cadmio que es bastante caro por gas de hidrógeno. El electrolito empleado continúa siendo de hidróxido de potasio. Poseen mejores características de las de níquel cadmio y además reducen el coste de fabricación.^{xii}

Baterías de litio.

Son las baterías empleadas en vehículos eléctricos debido a su elevada densidad energética. Esto les permite crear baterías con un peso reducido en comparación a otro tipo de batería. Otra ventaja es que carecen de efecto memoria como pasa con las baterías anteriores a ésta. También tienen un elevado voltaje por célula, una descarga muy lineal y baja tasa de autodescarga. Por el contrario, tienen menos vida útil que los tipos de baterías anteriormente mencionados. De estas baterías existen tres tipos dependiendo del material empleado en el cátodo:

Óxido de cobalto-litio

Son las baterías denominadas Li-ion (LiCoO_2). Este tipo de batería tiene su uso extendido en aparatos eléctricos portables ya que, tienen una relación peso/energía elevada, una tasa de autodescarga muy baja y carecen de efecto memoria. La de ventaja

I. Introducción

que presentan es que tienen una baja capacidad de descarga por lo que no permite entregar una gran cantidad de energía en poco tiempo.

Óxido de magnesio-litio

Son las baterías denominadas LiPo. Se diferencian de las demás debido al electrolito empleado. Este electrolito es sólido y de baja conductividad, presentando una alta resistencia interna y poca capacidad de descarga. A todo esto, se le suma que su temperatura se eleva fácilmente por encima de los 60 grados haciéndola inviable para numerosos usos por lo que se le suele añadir un gel electrolito para contrarrestar este inconveniente. A su favor, suelen ser muy ligeras ya que suelen ir encapsuladas en bolsas flexibles de aluminio y pueden comprimirse a espesores muy reducidos.

Fosfato de hierro

Son las baterías denominadas Li-ion (LiFePO_4). Éstas tienen una gran densidad energética, pero son menos seguras que las demás baterías de litio. Suelen necesitar ayuda electrónica para controlar y evitar las descargas completas ya que no son permitidas. Pueden cargarse sin estar descargadas completamente sin afectar a su vida útil.^{xiii}

I. Introducción

Comparativa de los distintos tipos de baterías.^{xiv}

A continuación, compararemos las características de cada una de las baterías nombradas anteriormente. Así como su estructura interna.

Tabla 2: Comparativa de distintos tipos de baterías.^{xv}

| | Pb | Ni-Cd | Ni-MH | Litio |
|--|-----------------|-------------|--------------------|---|
| Tensión por célula (V) | 2 | 1.2 | 1.2 | 3.3-3.7 |
| Ciclos de vida | 500 | 1500 | 700 | 400-1800 |
| Densidad energética (Wh/kg) | 40 | 60 | 70 | 125-300 |
| Vida útil (años) | 4-5 | 7-8 | 7-8 | 2-3 |
| Efecto memoria | Sí | Sí | Sí | No |
| Tasa de autodescarga (%/mes) | 5 | 10 | 20 | 6 |
| Eficiencia carga/descarga (%) | 50-70 | 80 | 60-70 | 80-99 |
| Problemas a temperaturas extremas ¹ | 5 | 8 | 5 | 2 |
| Otras desventajas destacable | Carga muy lenta | Son tóxicas | Bajo ciclo de vida | Riesgo de sobrecalentamiento y costosas de producir |

¹ Valorado del 1 al 10 donde 1 es baja tolerancia y 10 muy buena tolerancia a altas temperaturas

I. Introducción

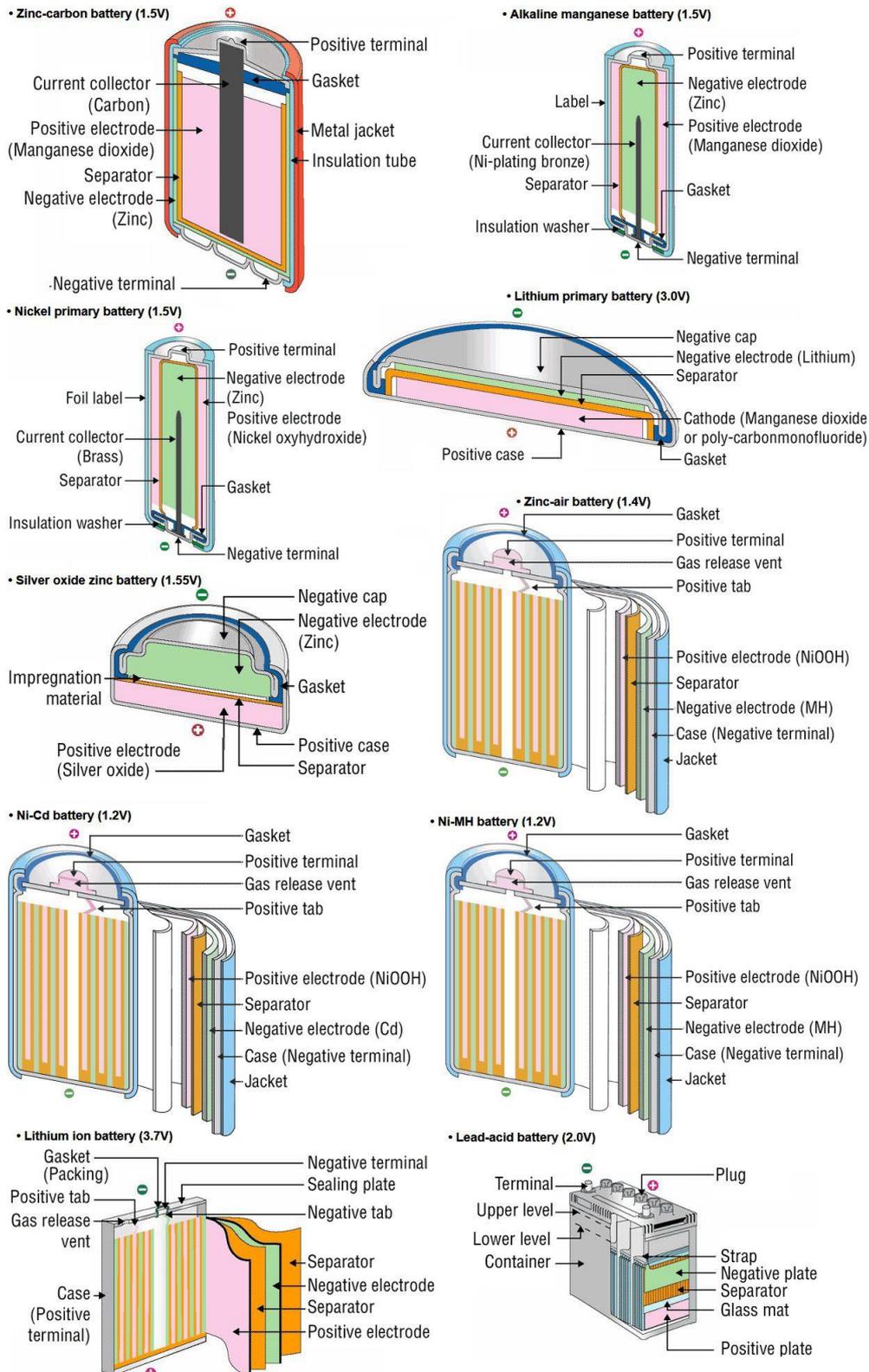


Ilustración 4: Estructura interna de los distintos tipos de baterías

I. Introducción

I.1.4. Puntos de carga.

Como cualquier otro vehículo, necesitamos unas infraestructuras para garantizar la fuente de energía que impulsa nuestro vehículo, en nuestro caso, la electricidad. Para este cometido, se barajan varias posibilidades, así como distintas formas de recarga de baterías, en ocasiones, debido al tipo de vehículo que tenemos, necesitaremos unas u otras. Por ello, haremos un breve repaso de los tipos de vehículos eléctricos y posteriormente hablaremos de los distintos tipos de puntos de recarga.^{xvi}

I.1.4.1. Tipos de vehículos eléctricos.

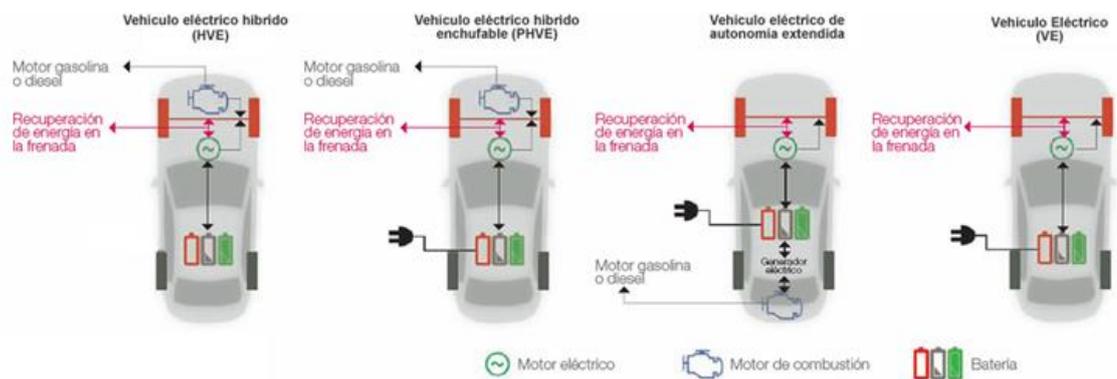


Ilustración 5: Tipos de vehículos eléctricos.

Vehículo híbrido (HEV)

Este tipo de vehículos combina un motor de combustión con uno eléctrico. A bajas velocidades es el motor eléctrico quien actúa y cuando se requiere una mayor potencia, como al adelantar o a altas velocidades, es el motor de combustión interna quien entra en acción y aporta la potencia, además se emplea para recargar las baterías. La frenada se aprovecha para hacer uso de los frenos regenerativos y recargar las baterías del vehículo.^{xvii}

Vehículo híbrido enchufable (PHEV)

Sigue el mismo comportamiento que el híbrido, pero nos deja la posibilidad de cargar las baterías enchufándolo a la red eléctrica.^{xviii}

I. Introducción

Vehículo eléctrico de autonomía extendida

Este tipo de vehículos emplea solo energía eléctrica para moverse, pero cuando la energía almacenada en sus baterías se agota, entra en funcionamiento un motor de combustión interna para poner en movimiento un generador que alimenta los motores eléctricos.^{xix}

Vehículo eléctrico a baterías (VE/BEH)

Este tipo de vehículo puede ir propulsado por uno o varios motores. La energía eléctrica la obtienen de las baterías que llevan incorporadas mediante un conexionado eléctrico. Este tipo de vehículos suelen cargarse de forma lenta y el precio de las baterías, a pesar de que gracias a la tecnología se ha abaratado bastante, todavía siguen siendo caras.^{xx}

I.1.4.2. Tipos de conectores y de puntos carga

Al igual que hay distintos tipos de vehículos eléctricos, cada uno soporta un tipo de carga, así como posee un conector distinto. A continuación, una imagen con cada uno de ellos.

Schuko

- Conector doméstico
- Homologado 10A/16A
- Monofásica 2,3kW



CHAdeMO

- Recarga rápida DC
- Fabricantes japoneses
- Hasta 62,5kW



Tipo 1

- “Yazaki”
- SAE J1772
- Monofásica hasta 7,4kW



Combo/CSS

- Recarga rápida DC
- Fabricantes europeos
- Hasta 90kW



Tipo 2

- “Mennekes”
- IEC 62196-2
- Monofásica y trifásica
- Hasta 43kW



Otros

- Tesla

Ilustración 6: Tipos de conectores.^{xxi}

I. Introducción

Dependiendo del tipo de vehículo que tengamos podremos recargarlo de una forma más rápida o más lenta o incluso no tener que recargarlo (eléctricamente hablando) como pasa con los vehículos híbridos.

Recarga lenta

Este tipo de recargas es la idónea para realizar en casa. Se realiza en corriente alterna monofásica y 230V con una intensidad de 16A (Tensión y corriente empleada en uso doméstico). El tiempo de carga completa de batería oscila entre las seis u ocho horas.

Recarga semi-rápida

Recarga que se realiza en trifásica con una tensión de 400V e intensidad de 64A. Con este tipo de recargas, tardamos entre cuatro o seis horas en recargar las baterías de nuestro vehículo. Este tipo de recargas actualmente no está muy extendido debido a que necesita una instalación concreta y solo la acepta determinados vehículos eléctricos, pero es de esperar que con el tiempo adquiera mayor importancia.

Recarga rápida

Es un tipo de recarga que está admitida por muy pocos fabricantes ya que se carece de infraestructura y es de mayor complejidad para poder llevarla a cabo. Por lo que se espera que con el tiempo y las nuevas tecnologías sea más fiable. Con esta recarga, cargamos las baterías con corriente continua a 400V y hasta 400A de corriente. El tiempo estimado de recarga pasa a ser de entre quince y treinta minutos.

Intercambio de baterías

Es otra de las alternativas que se han llegado a barajar. Con ella al llegar a la estación solo tienes que quitar tus baterías y sustituirlas por otras ya cargadas. De esta forma eliminamos el tiempo de recarga. Actualmente ya hay compañías de vehículos que venden el vehículo alquilando las baterías a un precio más económico.

I. Introducción

I.1.5. Impacto del vehículo eléctrico

Al hablar de adoptar el vehículo eléctrico como sistema de movilidad, no nos damos cuenta de todo lo que esto involucra. La transición del vehículo de combustión interna a uno más sostenible no se puede hacer de la noche a la mañana pues queda involucrada toda la red de puntos de recarga, instalaciones del hogar para poder recargarlo, cómo tarificar este servicio a la hora de comunidades de vecinos, cómo afrontamos las horas punta de carga de vehículos para generar la electricidad suficiente, de dónde sacamos esa energía, reciclaje de residuos y desechos... Son muchos de los temas que se deben afrontar y cuestionar para que cambiar a un sistema más ecológico y que de verdad solucione el tema de la contaminación y no que se contamine más debido a los deshechos que se generan y no se reciclan.

Según Ozzie Zehner, autor del libro "Green Illusions: The Dirty Secrets of Clean Energy and the Future of Environmentalism"^{xxii} producir vehículos eléctricos es tan costoso energéticamente hablando que incluso con el ahorro que después suponen, no se compensa la energía extra suministrada para crearlos.

Pongámonos en situación. El coche eléctrico sustituye al coche de combustión y en uso diario es suficientemente autónomo como para aguantar las exigencias de una familia sin quedarse sin carga. De este modo, al llegar la noche sería cuando se cargaría el vehículo en cada uno de los hogares. Por tanto, llegados a este punto, debemos preguntarnos si tenemos suficiente infraestructura como para que al conectar los más de veinticuatro millones de vehículos que en 2018 tenemos en España según la DGT ^{xxiii}. Por otro lado, si decidimos realizar un trayecto largo, ¿Qué red de infraestructuras necesitamos para poder recargar nuestro vehículo?, ¿Qué tipo de carga emplearemos?, ¿Cuánto tiempo emplearé en realizar la carga completa de mi vehículo y continuar mi viaje? Actualmente, no disponemos ni mucho menos de esta infraestructura por lo que todavía queda mucho trabajo para que el vehículo eléctrico sea una alternativa viable.

Ahora en vez de centrarnos solo en España, centrémonos en Europa. Según el "Statistical pocketbook 2018"^{xxiv} la mayor cantidad de kilómetros realizados es mediante el coche, llegando a más de 4500 billones de kilómetros.

I. Introducción

EU-28 Performance for Passenger Transport 1995-2016 – BY MODE 2.3.1

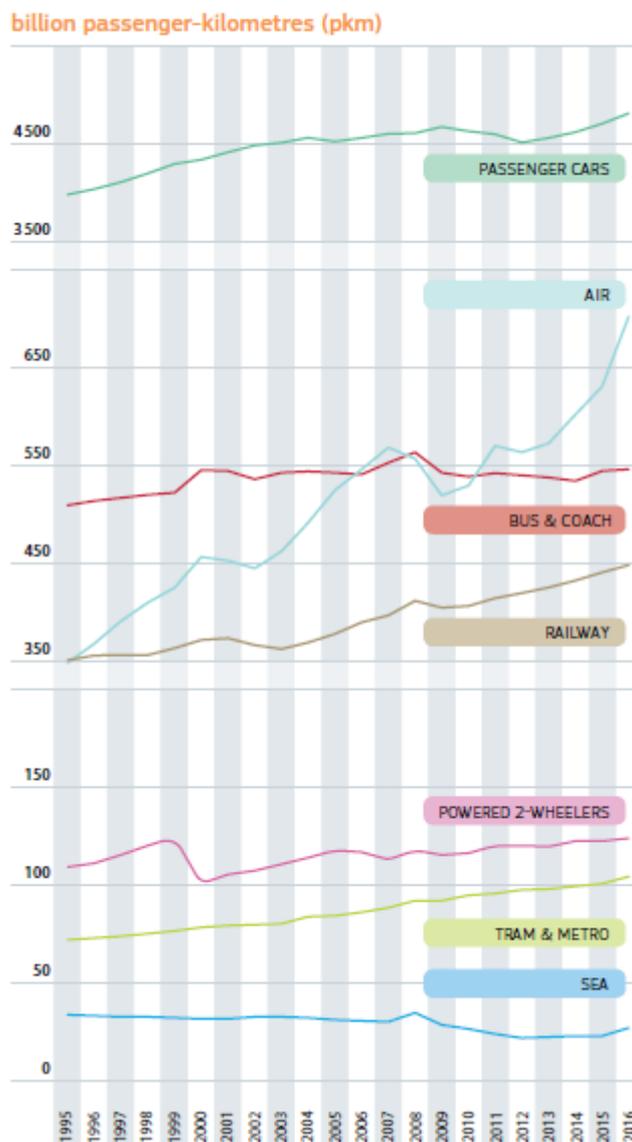


Ilustración 7: Km realizados por cada medio de transporte.

También nos informa que en 2016 hay registrados un total de más de 259 millones de coches, llegando a acaparar el 33.2% de la energía consumida. Por ello reducir en este sector podría beneficiarnos a preservar de mejor manera los recursos que nos da nuestro planeta.

I. Introducción

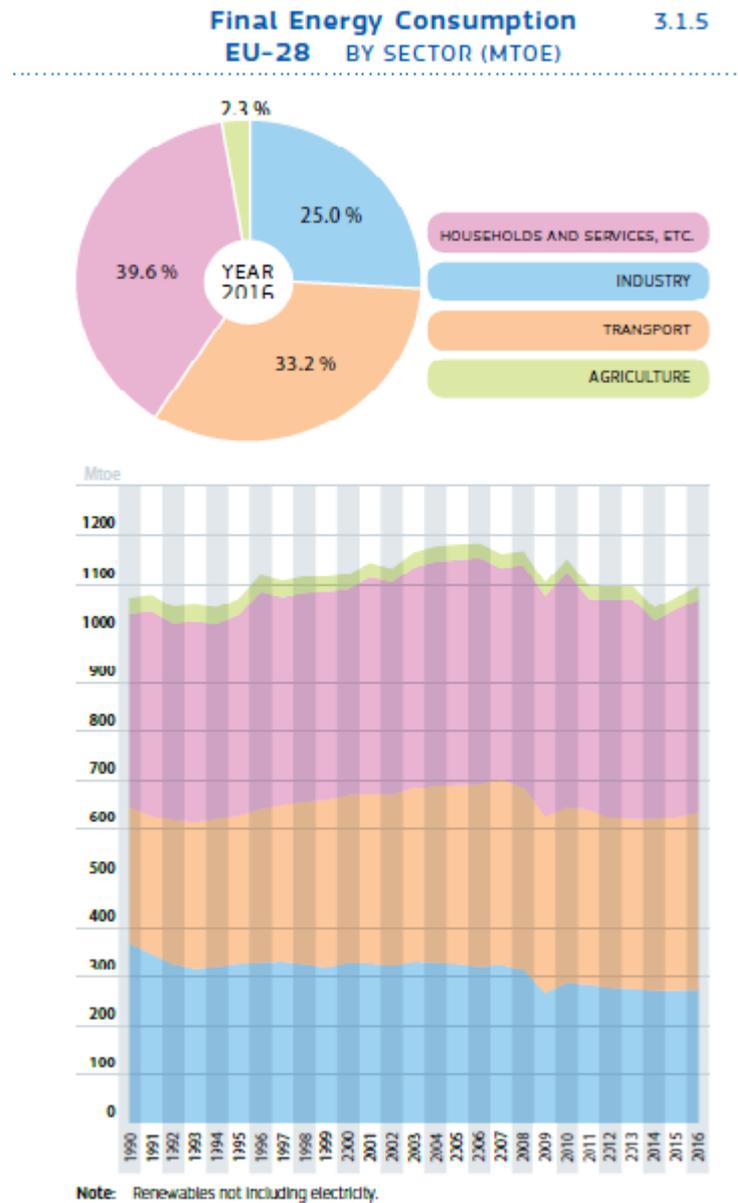
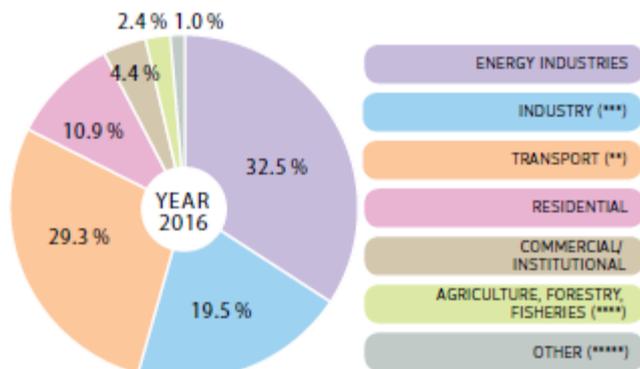


Ilustración 8: Energía consumida por cada uno de los sectores.

Así mismo la cantidad producida de CO₂ el transporte es la segunda mayor razón, siendo el 72% transporte por carretera.

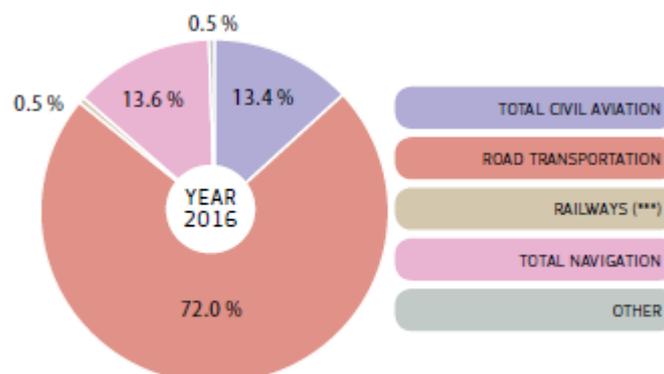
I. Introducción

CO₂ Emissions (*) EU-28 3.2.10



Notes: (*) Excluding LULUCF (Land Use, Land – Use Change and Forestry) emissions and international maritime, including international aviation and indirect CO₂.
 (**) Excluding international maritime (international traffic departing from the EU), including international aviation.
 (***) Emissions from Manufacturing and Construction, Industrial Processes and Product Use.
 (****) Emissions from Fuel Combustion and other Emissions from Agriculture.
 (*****) Emissions from Other (Not elsewhere specified), Fugitive Emissions from Fuels, Waste, indirect CO₂, and Other.

CO₂ Emissions from Transport EU-28 – BY MODE (SHARES %) 3.2.12



Notes: (*) Excluding International Bunkers (international traffic departing from the EU).
 (**) Including International Bunkers and indirect CO₂, but excluding LULUCF.
 (***) Excluding indirect emissions from electricity consumption.
 (****) Combustion emissions from all remaining transport activities including pipeline transportation, ground activities in airports and harbours, and off-road activities.
 (*****) Total transport share in total emissions.

Ilustración 9: Emisiones por transporte y por cada tipo de transporte.

En resumen, al hablar del impacto que puede suponer el adoptar los vehículos eléctricos en lugar de los de combustión interna, puede llegar a cifras incalculables suponiendo una gran reducción de contaminantes y de energía empleada para el transporte. Y en el aspecto económico una gran inversión que a la larga podría traer cantidades muy elevadas de beneficios.

I. Introducción

I.1.6. Residuos y tratamientos requeridos

En la actualidad, se habla mucho de lo limpios que son los vehículos eléctricos, de la cantidad de CO₂ que reducimos y también se oye mucho hablar que dejaremos de contaminar en el sector de transporte. Pero en realidad, el hecho de adoptar el vehículo eléctrico como medio de transporte no soluciona nada, si, por ejemplo, la energía con la que los recargamos viene de centrales nucleares, o cualquier método que no sea renovable. En tal caso, lo único que hacemos es trasladar el problema de la contaminación de las ciudades a los puntos donde obtenemos la energía.

Gillaume Majeau-Bettez, uno de los autores de una investigación sobre la contribución al calentamiento global de vehículos eléctricos, le explicó a BBC que “el auto eléctrico tiene un gran potencial para mejorar, pero lo que al final lo conducirá al éxito o al fracaso desde un punto de vista ambiental es cuán limpia es nuestra red eléctrica, tanto para la electricidad que usas para conducir tu auto como para la que se usa para producirlo”.^{xxv} Esto es debido a que en el estudio llegaron a determinar que en determinados países donde la energía eléctrica se obtiene del carbón, es mayor la contaminación que genera que la contaminación que el vehículo eléctrico deja de emitir.

Tampoco se habla de la cantidad de residuos que generaríamos de las propias baterías, ya que al agotar los ciclos de vida de las baterías de nuestros vehículos debemos cambiarlas por otras. Con ello a los 259 millones de vehículos que hay solo en Europa, si les tenemos que cambiar las baterías tendríamos unos 38.85 toneladas de baterías cada 10 años en el mejor de los casos.^{xxvi} Por eso, en vez de hablar de contaminación en forma de CO₂ pasaríamos a hablar de contaminación por minerales como el litio, níquel o cobre o incluso de las atmósferas que se crean cuando se emplean dichos materiales a la hora de fabricar o reciclar las baterías. Se añadiría el riesgo de contaminación de aguas con filtraciones.

Actualmente el reciclaje del litio carece de interés económico para las grandes empresas ya que el precio del mismo es demasiado bajo. A esto se le suma que los procesos para su reciclaje tampoco están estandarizados ni especializados para abaratar

I. Introducción

los costes de trabajar con su reciclaje. Sin embargo, otros metales como el cobalto que triplica su precio en el mercado sí suele reciclarse. Actualmente el reciclaje de las baterías solo se lleva a cabo en el 5% de las que se venden.^{xxvii}



Ilustración 10: Reserva de litio en Bolivia.

I.2. JUSTIFICACIÓN.

La finalidad del trabajo es determinar el sistema de acumulación de una moto de competición propulsada de manera 100% eléctrica para poder participar en MotoStudent. Empleando las nuevas y emergentes tecnologías del sector automovilístico para capacitar al prototipo a realizar 8 vueltas al circuito de MotorLand en Aragón.

II. OBJETIVOS

II. Objetivos

II.1. OBJETIVO GENERAL.

El objetivo general de este trabajo final de grado es determinar el acumulador necesario de una motocicleta propulsada de forma 100% eléctrica para poder competir en el circuito de MotorLand de Aragón.

II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

Como objetivos específicos tendríamos los siguientes:

- **Determinar modelo matemático del prototipo.**
- **Simular el comportamiento del prototipo en el circuito de MotorLand.**
- **Determinar la demanda energética del prototipo por vuelta mediante Simulink.**
- **Selección de materiales adecuados para las baterías que formarán el acumulador del prototipo.**
- **Dimensionar las baterías y determinar el esquema que siguen las mismas.**
- **Determinar el coste del acumulador.**

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

III.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO.

En primer lugar, se realiza la introducción, buscando información en distintas fuentes y contrastando la veracidad de la misma. Conforme se redacta y se colocan imágenes y tablas se van introduciendo en el índice correspondiente.

En segundo lugar, se realiza el diseño preliminar. Para ello se obtiene en AutoCAD el modelo del prototipo con los distintos componentes que lo componen. Seguidamente se les asigna el material del que están compuesto cada uno de ellos y se observan las propiedades. Aquellos materiales que exceden su peso con el peso real, son pesados de forma manual en el taller y se ajusta el peso para determinar de forma correcta los valores de inercia. Una vez obtenidos los valores de inercia, peso, velocidad máxima y otros parámetros necesarios del prototipo, también necesitamos conocer ciertos parámetros del circuito de MotorLand como distancia, pendiente... Para ello, por parte de la organización, disponemos de datos de la geometría del circuito. Este, se introduce en AutoCAD y calculamos los radios de giro de los pasos por curva para poder determinar velocidad máxima de paso por curva, distancia de frenado etc. Ahora, ya estamos listos para realizar la simulación.

En tercer lugar, mediante Matlab y Simulink, generamos un programa y un esquema del prototipo para simular su comportamiento en el circuito. De esta manera obtenemos el consumo energético necesario para realizar las 8 vueltas al circuito.

Finalmente, dimensionaremos el acumulador final que necesitaremos para que nuestro prototipo pueda completar ocho vueltas al circuito de MotorLand de Aragón.

III.2. DISEÑO PRELIMINAR.

El prototipo se compone de dos partes eléctricas, las denominaremos parte de alta tensión y parte de baja tensión. En el sistema de alta estarán todos los componentes que trabajan a más de 50V.

III.2.1. Parte de alta tensión.

Esta parte está compuesta por el sistema motriz del prototipo. Estos elementos son principalmente el motor, controlador, BMS y acumulador.

El esquema de conexionado de esta parte sería el siguiente:

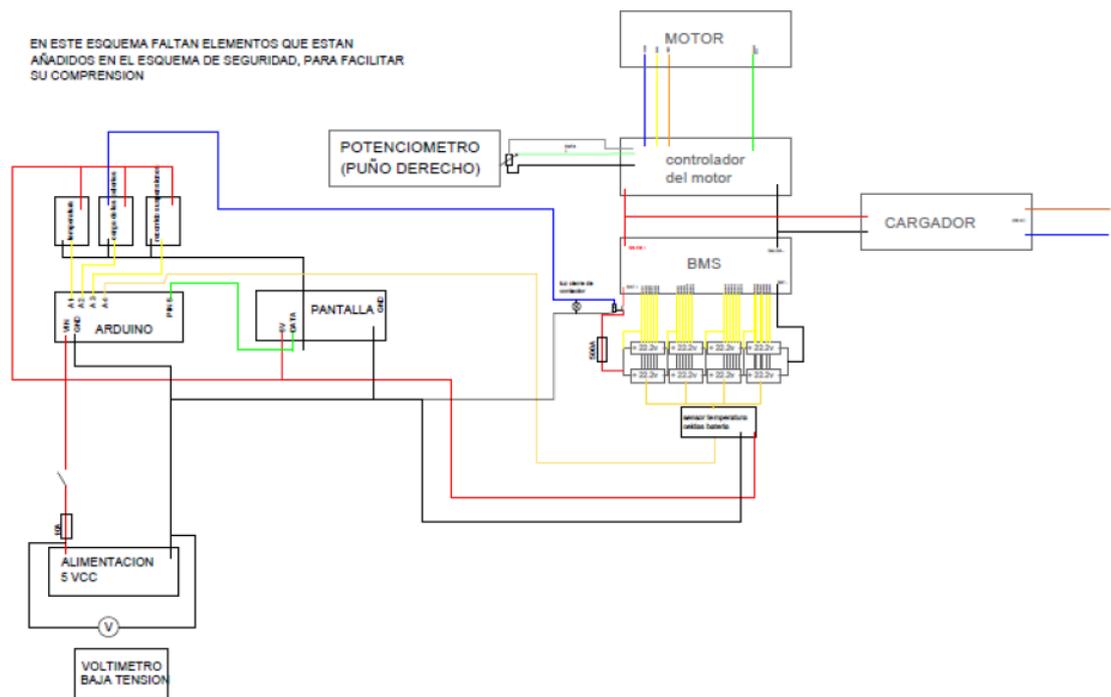


Ilustración 11: Esquema de alta tensión.

Para el acumulador, contamos con disponer de unas baterías ya ensambladas y distribuirlas para disponer de las prestaciones necesarias. Estas baterías eran Batería Lipo Brutepower 6s 16000mah 25C con las siguientes especificaciones:

III. Desarrollo del trabajo

- Voltaje: 22,2V
- versión: 6S1P
- Capacidad: 16000mAh
- tasa descarga continua: máx. 25c (400A)
- Peso: 1941gramos
- Dimensiones: 183x74x64 (largo,ancho,alto)
- balanceador: JST- XH
- conector: AS150-XT150



Ilustración 12: Batería singular LiPo.

De esta forma conectaríamos 5 de estas baterías en serie con tres bloques en paralelo. Con esta distribución, nuestro acumulador tendría las siguientes especificaciones:

- Voltaje: 111V
- Capacidad: 48000mAh
- tasa descarga continua: máx. 25c (400A)
- Peso: 29.115 gramos
- Dimensiones: 183x148x128 (largo,ancho,alto)

El esquema de dicho acumulador sería el siguiente:

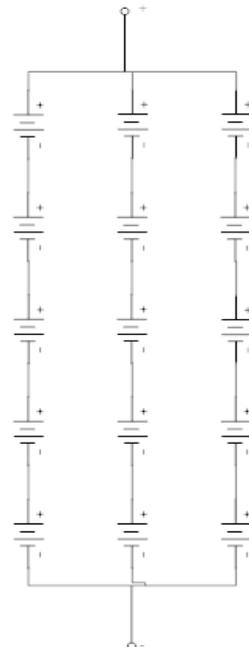


Ilustración 13: Esquema primer acumulador.

La ubicación pensada para su colocación era la siguiente:

III. Desarrollo del trabajo

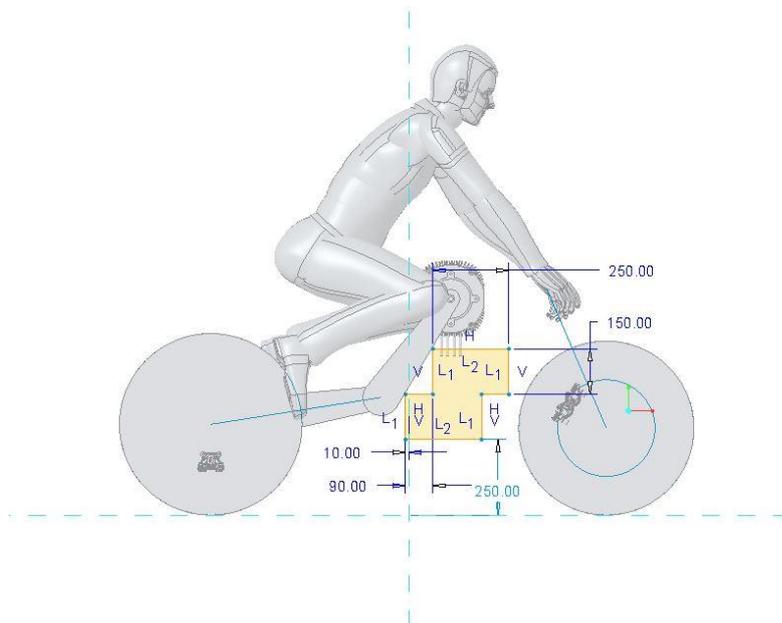


Ilustración 14: Boceto posición baterías.

Tras contactar con el proveedor nos dio la opción de adquirir celdas individuales para poder crear nuestro acumulador más personalizadamente y ahorrar algo de peso y espacio. Estas celdas que son las que finalmente adquirimos, tienen las siguientes especificaciones:

- **Voltaje: 3,7V**
- **Capacidad: 10.000mAh**
- **tasa descarga continua: máx. 10C (100A)**
- **Peso: 258 gramos**
- **Dimensiones: 156x59x10 (largo, ancho, alto)**



Ilustración 15: Celda del acumulador.

La ubicación final de las baterías junto con el depósito de las mismas, sería en el lugar normal del depósito de una moto de combustión como podemos apreciar en la siguiente foto:

III. Desarrollo del trabajo

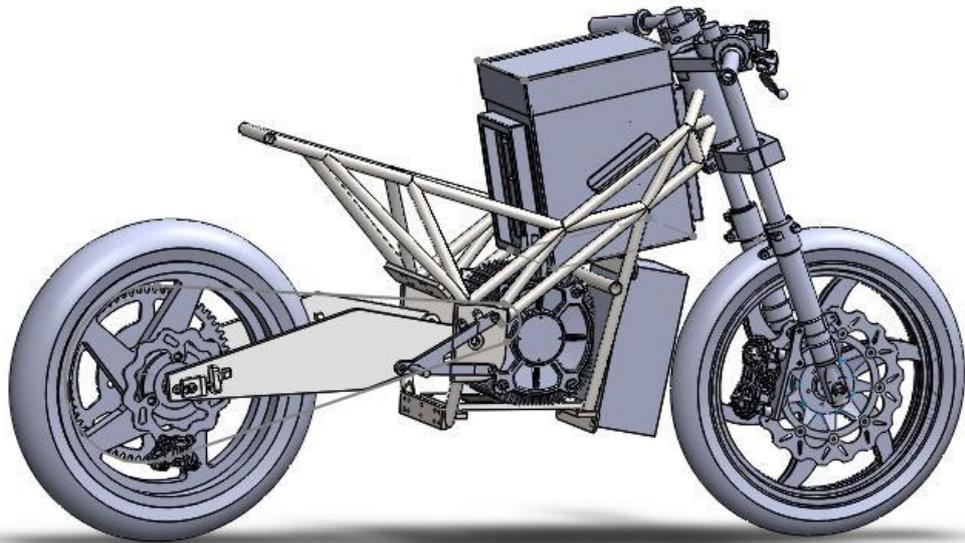


Ilustración 16: Posición final baterías

El BMS es el encargado de balancear las cargas y descargas que sufre el acumulador para protegerlo de sobrecargas extremas y evitar dañar las celdas. Las características de este componente, son las siguientes:

- 1 placa de protección compatible con 8-36 celdas
- 2 tensión de la batería de la detección de rango de detección de voltaje 1-5 v
- función de coulómetro de alta precisión.
- Compatible con Android phone set diferentes parámetros de batería, ver la información de voltaje único y corriente.
- La pantalla muestra el estado de la batería, los parámetros y el voltaje de cada unidad.
- Medición independiente de la temperatura de 6 vías
- Fuente de alimentación de Pantalla 24 V-150 V

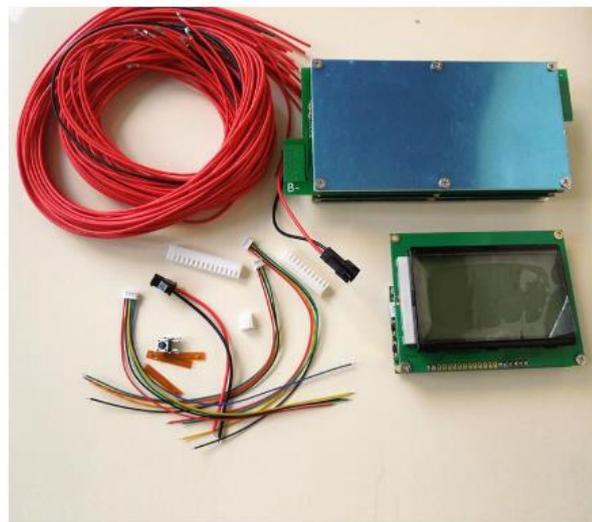


Ilustración 17: BMS del prototipo.

El esquema de conexionado del BMS es el siguiente:

III. Desarrollo del trabajo

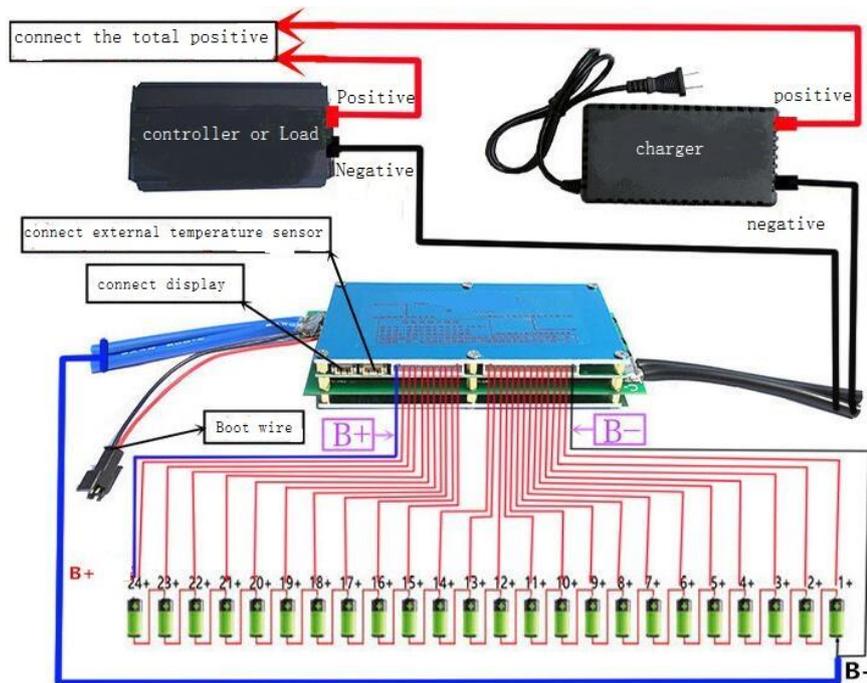


Ilustración 18: Esquema conexionado BMS.

El motor para el prototipo es el otorgado por la competición. Sus características generales son:

- Tipo: Motor Brushless de imanes permanentes
- Voltaje de trabajo: 96-116V
- RPM max: 8000 rpm
- Rated power: 12Kw
- Potencia pico: 20 Kw
- Par pico: 65 Nm
- Peso: 21.4 Kg



Ilustración 19: Motor.

Finalmente nos queda el controlador. El modelo elegido para el prototipo es el Sevcon Gen4 size 6. Posee las características siguientes:

III. Desarrollo del trabajo

- **Modelo:** Size 6
- **Voltaje nominal de la batería:** 96-120V
- **Voltaje máximo:** 150V
- **Voltaje mínimo:** 48V
- **Corriente pico:** 450A



Ilustración 20: Controlador.

III.2.2. Parte de baja tensión.

Para la parte de baja se emplea básicamente el display que viene incorporado con el BMS.

III.3. NORMATIVA APLICABLE.

La normativa aplicada para el desarrollo del prototipo es la correspondiente a la competición de MotoStudent 2016/2018.

ARTÍCULO 1: DEFINICIONES Y ASPECTOS GENERALES

D.1.1 Alta Tensión (High Voltage - HV), Baja Tensión (Low Voltage - LV), Voltios de Corriente Continua (Volts Direct Current - VDC).

Cualquier circuito con una diferencia de potencial mayor que 40 VDC, formará parte del sistema de Alta Tensión (HV) del vehículo. Por debajo de esa tensión, será considerado como parte del sistema de Baja Tensión (LV).

D.1.1.1 La tensión máxima permitida del sistema HV será de 110 VDC (baterías a plena carga).

D.1.2 Sistema de Alta Tensión (High Voltage System - HVS)

El sistema de Alta Tensión (HVS) está formado por todas las piezas eléctricas que forman parte del motor, controlador, acumulador o de cualquier otra parte eléctrica conectada a ellos. El sistema HVS será un sistema de Alta Tensión (HV) según especifica el Art. D.1.1 del presente Reglamento.

D.1.2.1 El HVS debe estar aislado eléctricamente del chasis o masa del vehículo.

D.1.2.2 El acumulador del sistema HVS, se define como cualquier celda, batería o supercondensador (o conjunto de ellos), capaz de almacenar energía eléctrica para el sistema de propulsión eléctrica.

D.1.2.3 El HVS deberá intercalar un dispositivo controlador entre el motor y el acumulador, de tal forma que no sea posible la conexión directa entre motor y acumulador.

III. Desarrollo del trabajo

D.1.2.4 Es obligatoria la inclusión de etiquetas de aviso de peligro claramente visibles en las carcasas o zonas cercanas a los componentes que trabajen con Alta Tensión (HV), en las que se incluya el texto “HIGH VOLTAGE”.



Ilustración 21: Etiqueta de alto voltaje

D.1.2.5 Se deberá instalar un display en el cuadro de instrumentos que indique en todo momento la tensión entre bornes del sistema HVS. El Cuerpo Técnico de la Organización podrá realizar mediciones aleatorias para comprobar si el valor mostrado en el display se corresponde con el valor real de la tensión del HVS.

D.1.3 Sistema de Baja Tensión LV conectado a masa (Ground Low Voltaje System - GLVS)

El sistema LV conectado a masa (GLVS) está formado por cualquier circuito o parte eléctrica del vehículo (chasis) y que por lo tanto no forma parte del HVS.

D.1.3.1 El GLVS deberá ser un sistema LV, es decir, de una tensión inferior a 40 VDC.

D.1.4 Aislamiento entre HVS y GLVS

D.1.4.1 El HVS y el sistema GLVS estarán aislados galvánicamente.

D.1.4.2 En el caso de uso de un convertidor DC/DC, éste deberá cumplir con esa especificación.

III. Desarrollo del trabajo

ARTÍCULO 2: MOTOR ELÉCTRICO Y DEMANDA DE POTENCIA

La Organización suministrará un motor eléctrico común para los equipos inscritos en la categoría MotoStudent Electric.

D.2.1 Precintado

Es obligatorio el uso del motor proporcionado por la Organización. El motor se entregará precintado por la Organización y queda totalmente prohibida su manipulación. Cualquier precinto roto o deteriorado será causa de no conformidad técnica.

En caso de avería o mal funcionamiento de alguna parte interna a la que no se permita el acceso el equipo deberá comunicarlo a la Organización, que tomará las medidas oportunas.

D.2.2 Características del motor eléctrico

La información técnica sobre el motor será remitida por la Organización a todos los equipos inscritos en la Competición.

D.2.2.1 El motor suministrado por la Organización no puede ser modificado estructuralmente, ni siquiera en sus anclajes, carcasas exteriores o sistema de refrigeración/ventilación.

D.2.3 Regeneración de energía

Se permite la generación de energía usando el motor como generador en las frenadas.

D.2.4 Potenciómetro acelerador

Es obligatoria la inclusión de un potenciómetro acelerador comandado desde el puño de la moto en el semimanillar derecho. La señal de este potenciómetro deberá servir para configurar la demanda de par o velocidad al motor.

III. Desarrollo del trabajo

D.2.4.1 Se permite configurar el freno motor con el mismo potenciómetro, mapeándolo en un tramo por debajo del tramo de aceleración.

III. Desarrollo del trabajo

ARTÍCULO 3: ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

D.3.1 Sistemas de acumulación permitidos

Se permitirán como sistemas de acumulación de energía cualquier tipo de batería, exceptuando las baterías de sal fundida (baterías térmicas) y las pilas de combustible.

D.3.1.1 Se permite el uso de supercondensadores.

D.3.1.2 La tensión suministrada de las baterías será, de un máximo de 110 VDC con el acumulador totalmente cargado, tal y como describe el Art.D.1.1.

D.3.1.3 Se deberá presentar a la Organización el esquema de conexión utilizado (celdas en serie y en paralelo).

D.3.2 Contenedor de baterías

Todas las celdas de batería y supercondensadores que formen parte del acumulador, deberán instalarse en el interior de un contenedor o cárter de baterías.

D.3.2.1 Se permite el uso de varios contenedores de baterías. Cada uno de ellos deberá cumplir las prescripciones exigidas para el caso de contenedor de baterías único.

D.3.2.2 Si el contenedor de baterías no es fácilmente accesible, la Organización podrá requerir en cualquier momento fotografías de la disposición y montaje de éste.

D.3.2.3 Será obligatoria la entrega de una descripción detallada del sistema de acumulación, antes de proceder a su montaje. Asimismo, también será obligatoria la entrega de fotografías de las diferentes fases del montaje del mismo, mostrando la totalidad de los componentes utilizados. El incumplimiento de alguno de estos dos requisitos podrá implicar la exclusión del prototipo para la Fase MS2 de la Competición. (Ver Art.D.13.1.1)

D.3.3 Configuración eléctrica del acumulador

III. Desarrollo del trabajo

D.3.3.1 Si el contenedor está fabricado en un material conductor de la electricidad, los bornes de las celdas o supercondensadores, deberán estar correctamente protegidos y aislados con un material eléctricamente aislante.

D.3.3.2 Si el contenedor está fabricado en un material conductor de la electricidad (metales, fibra de carbono, etc.), el cuerpo de las celdas no podrá estar directamente en contacto con la pared interior del cárter, debiéndose colocar un material aislante. Las celdas prismáticas de carcasa rígida aislante quedan excluidas de esta prescripción.

D.3.3.3 Cada contenedor deberá incluir en su interior al menos un fusible, cuya intensidad nominal esté por debajo del poder de corte del contactor.

D.3.3.4 Cada contenedor deberá incluir, al menos, un contactor de línea de tipo normalmente abierto, instalado uno en el borne positivo del acumulador.

D.3.3.5 El cierre del contactor de línea, y por lo tanto la presencia de Alta Tensión (HV) a la salida del acumulador, deberá quedar señalizado a través de una señal luminosa de color rojo ubicada en el dashboard, según las pautas indicadas en el Art. D.10.1.1.

D.3.3.6 No se permite la unión directa entre bornes de celdas por medio de soldadura. Sí se permite la soldadura indirecta a través de un material conductor (placas, pletinas, cables, hilo fusible). Sí se permite la soldadura de los conductores del BMS a los bornes.

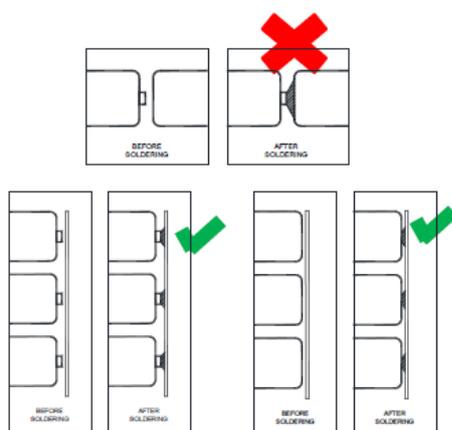


Ilustración 22: Unión entre bornes

III. Desarrollo del trabajo

D.3.4 Configuración mecánica del acumulador

D.3.4.1 Los contenedores de baterías deberán construirse a partir de un material mecánicamente resistente e instalarse anclados correctamente al chasis.

D.3.4.2 El contenedor de baterías podrá formar parte del chasis de la moto, siempre que cumpla con las condiciones de rigidez y resistencia apropiadas para ello.

D.3.4.3 Los contenedores de baterías que no formen parte del chasis deberán estar protegidos contra impactos laterales por el propio chasis de la moto.

D.3.4.4 Las celdas deberán estar apropiadamente protegidas y fijadas ante cualquier desplazamiento relativo (horizontal y vertical) en el interior del contenedor.

D.3.4.5 Únicamente se permiten orificios de comunicación entre el interior y el exterior del contenedor para el paso de los cables conductores correctamente aislados y para la refrigeración y ventilación.

D.3.4.6 Las aberturas de ventilación no podrán ocupar un lateral completo del contenedor.

D.3.4.7 Las aberturas de ventilación deberán incluir algún tipo de elemento filtrante, para evitar la posible entrada de polvo, partículas y líquidos al interior del contenedor.

D.3.4.8 Si un contenedor estuviera completamente sellado de manera estanca, se deberá incluir una válvula de escape para impedir que la concentración de gases alcance una presión crítica.

D.3.4.9 Se permite el uso o adaptación de contenedores o cárter comerciales, siempre y cuando cumplan con las características impuestas en el presente artículo.

D.3.5 Sistema de Gestión de Baterías (Battery Management System - BMS)

D.3.5.1 Es obligatoria la instalación de un sistema de gestión de baterías (BMS).

III. Desarrollo del trabajo

D.3.5.2 El BMS deberá leer la tensión de cada celda, para mantener las celdas dentro de los límites de tensión indicados por el fabricante.

D.3.5.3 El sistema BMS deberá leer la temperatura de las celdas en su punto más caliente a través de un sensor de temperatura compatible. Será obligatorio leer la temperatura de, al menos, 4 celdas instaladas, siendo al menos dos de ellas, las correspondientes a las zonas que se prevé que se alcancen mayores temperaturas.

D.3.5.4 En el caso de utilización de un sistema pasivo de balanceo o equilibrado de celdas (no obligatorio), deberán utilizarse resistencias capaces de disipar la energía correspondiente al balanceo, de tal manera que, durante el periodo de balanceo, no se supere nunca la temperatura indicada por el fabricante de la resistencia (o del BMS) y que no afecte a las celdas de batería o circuitos impresos cercanos.

D.3.5.5 Para mejorar la velocidad de balanceo, se permite la activación de la refrigeración artificial del contenedor de baterías durante el proceso de balanceo.

D.3.5.6 El sistema BMS deberá desactivar la tracción del vehículo en el caso de descargarse la tensión de una de las celdas hasta la tensión mínima crítica o superarse la temperatura máxima crítica de la celda, según los valores indicados por el fabricante. Esta desactivación obligatoria deberá ser puntual con la apertura del contactor del acumulador de baterías. (Ver esquema del Art. D.6.1.2).

D.3.5.7 Aparte de las condiciones expuestas en el Art.D.3.5.6, se permite limitar progresivamente la potencia eléctrica entregada al motor hasta ser igual a cero en el punto de tensión crítico de la celda o temperatura máxima de la celda.

D.3.5.8 El sistema BMS deberá asimismo desactivar el sistema de recarga cuando se superen los niveles máximos de tensión o temperatura de celda. Esta desactivación podrá ser progresiva y/o puntual.

III. Desarrollo del trabajo

ARTÍCULO 4: CONTROLADOR

D.4.1 Controlador motor o variador motor

Se entiende por controlador motor o variador motor como el dispositivo hardware que controla la velocidad y el par de un motor eléctrico.

El controlador forma parte del HVS y puede integrar una parte del GLVS.

D.4.1.1 Se permite la utilización de cualquier tipo de controlador comercial.

D.4.1.2 Se permite el desarrollo propio del controlador, o la adaptación de cualquier dispositivo comercial.

D.4.1.3 Los componentes de hardware serán compatibles con los valores de tensión e intensidad de trabajo.

D.4.1.4 El controlador deberá cumplir todas las prescripciones que le puedan afectar del presente Reglamento Técnico.

D.4.2 Software de control

El software de control del motor es de configuración libre, pudiendo utilizarse tanto herramientas de software comerciales como de desarrollo propio.

D.4.2.1 El mapa de gestión del sistema de propulsión es de configuración libre.

D.4.2.2 Se permite la implementación de distintos mapas de gestión.

III. Desarrollo del trabajo

ARTÍCULO 5: GENERALIDADES DEL SISTEMA DE ALTA TENSIÓN (HVS)

D.5.1 Separación del HVS y GLVS

D.5.1.1 Los sistemas HVS y GLVS deben estar separados físicamente.

D.5.1.2 No podrá haber ningún contacto entre el HVS y el chasis del vehículo o cualquier parte metálica expuesta al exterior.

D.5.1.3 Si alguna parte o pieza del HVS y del GLVS han de estar juntos en el interior de un contenedor, deberán respetar la separación mínima indicada en la tabla adjunta, salvo en los casos excepcionales descritos en el Art. D.5.1.4 y Art. D.5.1.5:

| Tensión HVS | Distancia de separación |
|-------------|-------------------------|
| < 100 VDC | 10 mm |
| > 100 VDC | 20 mm |

Ilustración 23: Separación.

D.5.1.4 Las distancias reflejadas en el Art. D.5.1.3 no serán de aplicación obligatoria siempre que los componentes del HVS y GLVS estén separados por una barrera aislante a la humedad, que cumpla un grado de resistencia a la temperatura superior a 150 °C.

D.5.1.5 En el caso de que ciertos componentes pertenecientes al HVS y GLVS se instalen en una misma placa base, se colocarán en zonas claramente diferenciadas y marcadas a tal efecto sobre la placa. La separación entre ambas será de al menos, 6,4 mm sobre superficie, 3,2 mm a través del aire y de 2 mm si están bajo recubrimiento (estas distancias pueden no respetarse para el caso de optoacopladores cuya tensión nominal sea igual o mayor que la tensión del HVS).

D.5.2 Posicionamiento del sistema HVS

Todos los componentes del sistema HVS deben estar contenidas dentro de una estructura reforzada que garantice su integridad ante un accidente.

D.5.2.1 El chasis de la moto podrá ser considerado como estructura protectora del sistema HVS, siempre que por su diseño y construcción proteja completamente al

III. Desarrollo del trabajo

sistema en caso de accidente y siempre y cuando se cumplan las prescripciones indicadas en el Art. D.3.4.

D.5.3 Puesta a masa

Todas las partes metálicas del vehículo que puedan llegar a conducir la electricidad por estar a menos de 100 mm del HVS o GLVS deben conectarse a la masa de la moto.

D.5.4 Aislamiento y cableado

Todos los componentes del sistema HVS deben estar debidamente aislados y protegidos contra contactos directos.

D.5.4.1 Se deberá garantizar la protección del sistema HVS, de tal forma que sea imposible alcanzar las conexiones del HVS con una sonda cilíndrica de 100 mm de longitud y 6 mm de diámetro.

D.5.4.2 Las conexiones del HVS deben estar encapsuladas por componentes aislantes.

D.5.4.3 Los cables o conductores pertenecientes al sistema HVS deberán ser no combustibles grado UL-94 V0, FAR25 o equivalente.

D.5.5 Circuito de precarga

Es obligatoria la instalación de un circuito de precarga antes de que cierre el contactor del acumulador.

D.5.5.1 El nivel mínimo de precarga debe llegar a un 90% de la tensión real del acumulador, y/ó 10 V de máxima diferencia de tensión entre bornes.

D.5.5.2 Al abrirse el circuito de desconexión descrito en el Art.D.6.1 debe abrirse también el circuito de precarga, de tal manera que una nueva maniobra de activación de dicho circuito de desconexión, conlleve siempre previamente la maniobra de precarga.

D.5.6 Aviso de activación del HVS

III. Desarrollo del trabajo

Se instalará un avisador de luz roja, que se mantendrá encendido cuando el HVS esté activado, es decir, cuando el contactor del acumulador esté cerrado.

III. Desarrollo del trabajo

ARTÍCULO 6: SISTEMAS Y CIRCUITOS DE DESCONEXION

D.6.1 Circuito de desconexión del HVS

El circuito de desconexión gestiona el cierre y apertura del contactor de línea.

D.6.1.1 El circuito de desconexión constará de al menos:

- Un Interruptor General del Sistema de Tracción (Tractive System Master Switch - TSMS).
- Un Interruptor de Emergencia.
- Un vigilante de aislamiento (Insulation monitoring device - IMD).
- El sistema de desconexión gestionado por el BMS.

D.6.1.2 El circuito de desconexión deberá atenerse a uno de los siguientes

esquemas:

- Circuito de desconexión con contactor controlado directamente por el
- circuito de desconexión:

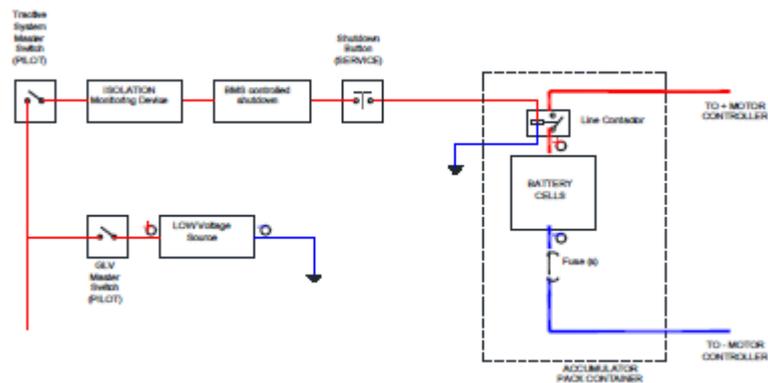


Ilustración 24: Contactores controlados directamente por el circuito de desconexión

- Circuito de desconexión con contactor controlado directamente por el controlador:

III. Desarrollo del trabajo

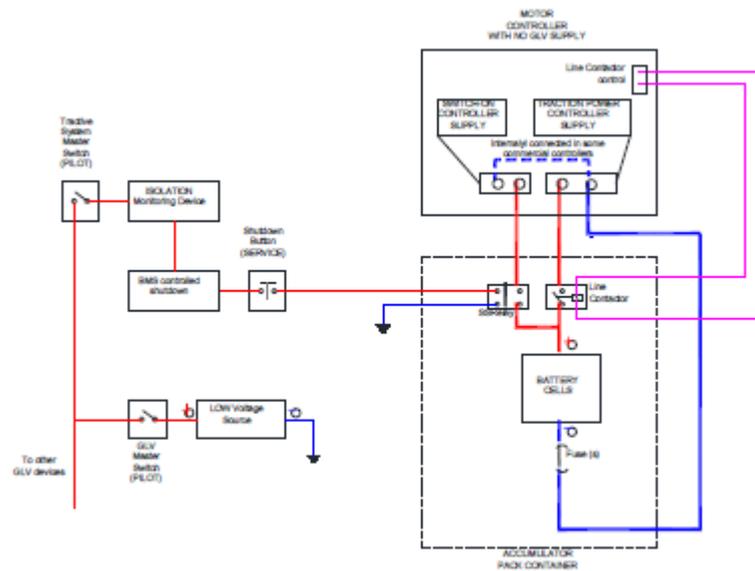


Ilustración 25: CIRCUITO DE DESCONEXIÓN - Contactores controlados directamente por el controlador.

D.6.1.3 En el caso de que la bobina de los contactores del acumulador de baterías esté controlada directamente por el controlador motor (o por otro dispositivo), entonces el circuito de desconexión deberá garantizar el apagado del controlador (o del correspondiente dispositivo) y por consiguiente el apagado de la bobina del contactor, quedando garantizando su apertura, tal y como se indica en el esquema D.6.1.2.

D.6.1.4 Una vez abierto el circuito de desconexión (contactor abierto) por la actuación de cualquiera de los dispositivos previstos (TSMS, Interruptor de Emergencia, BMS o IMD) el sistema quedará en estado “no listo para conducir”, y será necesario que el piloto lo reactive manual y voluntariamente (p.e. reiniciando el controlador), antes de que el circuito de desconexión vuelva a cerrarse.

D.6.2 Desconexión del sistema GLVS

Para garantizar el encendido y apagado independiente del sistema GLVS, deberá colocarse un Interruptor General del sistema de Baja Tensión (GLVMS).

D.6.3 Tipo de interruptores

D.6.3.1 El/los interruptor/es de emergencia deberán ser de tipo seta de color rojo con accionamiento “pulsar para abrir y girar para cerrar”.

III. Desarrollo del trabajo



Ilustración 26: Ejemplo de seta de emergencia.

D.6.3.2 El TSMS será del tipo rotatorio.

D.6.4 Desactivación del convertidor DC/DC

D.6.4.1 En el caso de utilizar un convertidor DC/DC como fuente de energía LV, se deberá garantizar la desconexión completa del convertidor para evitar autoconsumos.

D.6.5 Dispositivo Vigilante de Aislamiento (Insulation Monitoring Device - IMD)

La Organización suministrará dentro del Kit MotoStudent un vigilante de aislamiento (IMD) BENDER para garantizar el correcto aislamiento eléctrico entre el HVS y el chasis del prototipo.

D.6.5.1 La instalación de este Dispositivo Vigilante de Aislamiento es obligatoria.

D.6.5.2 El correcto funcionamiento del Dispositivo Vigilante de Aislamiento será comprobado durante las Verificaciones Técnicas, tal y como se indica en el Art. E.5.1 del presente Reglamento.

III. Desarrollo del trabajo

ARTÍCULO 7: FUSIBLES

D.7.1 Fusibles HV

El circuito del lado HV deberá estar protegido por al menos un fusible, según las condiciones indicadas en el Art. D.3.3.3

D.7.1.1 La corriente nominal del fusible estará por debajo de la corriente de cortocircuito calculada, y por el encima de la corriente máxima de servicio.

D.7.1.2 Si se colocan varias bancadas de celdas en paralelo, cada una de estas bancadas deberá estar protegida con su fusible independiente.

D.7.1.3 El fusible o fusibles deberán instalarse en el interior del contenedor o cárter de baterías.

D.7.2 Fusibles GLVS

Todos los circuitos del lado GLV deberán tener colocado un fusible que proteja el conductor y el dispositivo al que alimenta, evitando que se alcancen las corrientes máximas admisibles por estos.

III. Desarrollo del trabajo

ARTÍCULO 8: RECARGA DE ACUMULADORES

D.8.1 Cargadores

D.8.1.1 Se permiten todo tipo de cargadores cuya potencia nominal sea menor o igual de 22 kW nominales (máximo 32 Amperios nominales en configuración trifásica de lado red).

D.8.1.2 Quedan permitidas las configuraciones serie o paralelo de diferentes cargadores siempre que la suma total de las potencias unitarias de los cargadores no supere la potencia indicada en el Art.D.8.1.1.

D.8.1.3 El cargador deberá contar con su correspondiente conductor de masa correctamente conectado a la carcasa del cargador.

D.8.2 Conexión a red

La conexión a la red podrá ser del tipo monofásica (230 VAC, 50 Hz) o trifásica (400 VAC, 50 Hz).

D.8.2.1 Es obligatoria la conexión del conductor de masa a la base de enchufe.

D.8.3 Conexión a la moto

La conexión entre el cargador y la moto deberá cumplir unas condiciones mínimas de seguridad.

D.8.3.1 El conector de carga situado en la moto deberá disponer de un sistema de cierre manual o automático.

D.8.3.2 Los conductores del conector de recarga presente en la moto, deberán quedar inaccesibles cuando el conector esté cerrado.

D.8.3.3 El conector de carga la moto tendrá que cumplir un grado de estanqueidad IP-65 cuando se encuentre cerrado.

D.8.3.4 El conector de carga deberá situarse en una zona protegida de la moto ante posibles caídas, contactos o proyecciones.

III. Desarrollo del trabajo

D.8.4 Operación de recarga

El proceso de recarga de acumuladores deberá realizarse de manera segura.

D.8.4.1 Durante la operación de recarga de la moto durante el Evento final será obligatoria la presencia en todo momento de al menos un miembro del equipo que conozca al detalle la maniobra de recarga.

D.8.4.2 El integrante del equipo encargado de la operación de recarga deberá estar preparado para afrontar cualquier tipo de actuación durante la recarga (desconexión manual, desactivación, etc.) para aislar el vehículo de la red ante cualquier eventualidad.

D.8.4.3 Un extintor de incendios apto para la extinción del fuego eléctrico (agente extintor de CO₂ o similar) deberá disponerse a menos de dos metros de la moto durante la maniobra de recarga.

D.8.4.4 El sistema BMS deberá contar con un dispositivo de control de recarga tal y como se describe en el Art. D.3.5.

III. Desarrollo del trabajo

ARTÍCULO 9: INSTALACIÓN GENERAL Y CABLEADO

D.9.1 Aislamiento general

D.9.1.1 Todos los cables conductores y conectores deberán ir recubiertos de material aislante, a excepción de las conexiones directas a masa.

D.9.1.2 Las zonas, elementos y sistemas con alto riesgo eléctrico deberán ir correctamente protegidas ante posibles contactos y manipulaciones. Se recomienda la instalación de carcasas rígidas aislantes para una mayor protección.

D.9.2 Dimensionado

D.9.2.1 Todos los cables conductores y conectores deberán dimensionarse correctamente en base a los niveles de corriente solicitados.

D.9.3 Protección contra la humedad

D.9.3.1 Se deberá procurar que los componentes del sistema de propulsión estén altamente protegidos contra la humedad. Se recomienda un grado de protección IP65.

D.9.4 Cableado

D.9.4.1 La longitud de los cables deberá ser la justa, por lo que se prohíbe enrollar la longitud de cable sobrante.

D.9.4.2 Se deberá evitar, en la medida de lo posible, el paso de la instalación eléctrica por posibles puntos calientes.

D.9.4.3 La instalación eléctrica deberá estar perfectamente integrada en el conjunto de la moto, no dejando distancias mayores a 15cm de cableado sin sujetar.

D.9.4.4 Se deberán tener en cuenta y evitar las posibles interferencias que pueda presentar la instalación eléctrica con cualquier sistema mecánico de la moto, en todo el rango posible de geometrías (durante todo el recorrido de dirección, suspensiones, etc.).

III. Desarrollo del trabajo

ARTÍCULO 10: CONTROL Y MANDOS

D.10.1 Cuadro de instrumentos

El cuadro de instrumentos o Dashboard deberá ser perfectamente visible por el piloto en posición de pilotaje.

D.10.1.1 El cuadro de instrumentos deberá incluir un avisador luminoso de color rojo, que deberá encenderse cuando el Sistema de Alta Tensión HVS esté activado, tal y como se indica en el Art. D.5.6.

D.10.1.2 El cuadro de instrumentos deberá contar con un display que indique en todo momento la tensión entre bornes del sistema HVS, tal y como indica el Art. D.1.2.5.

D.10.2 Elementos de control

D.10.2.1 El piloto deberá ser capaz de activar, reactivar o resetear por completo el sistema de propulsión eléctrica sin ayuda de otras personas y sin necesidad de bajarse de la moto, desde la posición standard de pilotaje.

D.10.3 Seta de emergencia

El presente artículo afecta a la seta o setas de emergencia para la desconexión, descrita en el Art. D.6.1 del presente Reglamento.

D.10.3.1 La seta de emergencia deberá instalarse en un lugar protegido ante una caída o contacto accidental del piloto, pero a la vez accesible y reconocible por el Cuerpo de Comisarios de pista.

D.10.3.2 La seta de emergencia no podrá instalarse sobre ningún componente susceptible de un desmontaje rápido, como por ejemplo el carenado. Preferiblemente se deberán instalar sobre soportes fijados al chasis.

D.10.3.3 Si se estima la instalación de la seta de emergencia en la zona lateral de la moto, se deberán incluir entonces dos setas, una en cada lateral.

D.10.3.4 La seta o setas de emergencia instaladas deberán ser de color rojo.

III. Desarrollo del trabajo

ARTÍCULO 11: TRANSMISIÓN

D.11.1 Tipos de transmisión

El sistema de transmisión empleado para la categoría “MotoStudent Electric” es de configuración libre.

D.11.1.1 Se permite cualquier tipo de sistema de transmisión primaria: caja de cambios, variador CVT, etc.

D.11.1.2 Se permite la transmisión directa entre el eje de salida del motor y la rueda trasera.

D.11.1.3 No hay limitaciones en cuanto a la instalación de elementos de embrague entre componentes del sistema de transmisión.

D.11.2 Transmisión secundaria

D.11.2.1 No hay limitación en cuanto al tipo de transmisión secundaria utilizado: por cadena, correa, etc.

D.11.2.2 Cualquier elemento de la transmisión susceptible de posibles atrapamientos para el piloto deberá ir cubierto con una carcasa rígida.

III. Desarrollo del trabajo

ARTÍCULO 12: REFRIGERACIÓN

D.12.1 Generalidades de los sistemas de refrigeración

D.12.1.1 El diseño del sistema de refrigeración de los diferentes componentes es de configuración libre.

D.12.1.2 Se permite la refrigeración de componentes tanto por aire como por sistemas de refrigeración líquida.

D.12.2 Sistemas de refrigeración por aire

D.12.2.1 Se permite la refrigeración por conducción aerodinámica del aire.

D.12.2.2 Se permite la refrigeración por aire forzada mediante ventiladores u otros métodos de impulsión o extracción de aire.

D.12.3 Sistemas de refrigeración líquida

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

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

D.12.3.3 El número, la situación, el tamaño y la composición de los radiadores de líquido refrigerante son libres, siempre y cuando cumplan con los requerimientos dimensionales de las cotas generales de la motocicleta.

III. Desarrollo del trabajo

III.4. SELECCIÓN DE COMPONENTES.

Como ya hemos hablado en la introducción, hay diferentes materiales de los que, a lo largo de la historia, han estado compuestas las baterías. A la hora de elegir las baterías que emplearemos en nuestro prototipo, nos centraremos únicamente en las baterías de litio ya que son las que mayor capacidad poseen.

En primer lugar, compararemos las principales características de cada uno de los posibles componentes de las baterías:

Tabla 3: Comparativa tipos baterías de litio.

| | Oxido de cobalto ^{xxviii} LiCoO ₂ | Oxido de magnesio LiPo | Fosfato de hierro LiFePO ₄ ^{xxix} |
|--|--|---------------------------|--|
| Tensión por célula (V) | 3-3.3 | 3-3.3 | 3-3.3 |
| Ciclos de vida | 250-1.200 | 500 | 3.000-10.000 |
| Densidad energética (Wh/kg) | 200 | 160 | 120 |
| Efecto memoria | mínimo | mínimo | mínimo |
| Tasa de autodescarga (%/mes) | mínimo | mínimo | mínimo |
| Eficiencia carga/descarga (%) | 95-98% | 95-98% | 95-98% |
| Problemas a temperaturas extremas ² | 4 | 5 | 7 |
| Precio (€/Kwh) | 350 | 400 | 700 |

Finalmente, tras este abanico de posibilidades, por relación capacidad precio, escogimos unas celdas LIPO 3.7V 10.000mah 10C (100A).

A continuación, se muestra el montaje del acumulador y el tipo de celdas escogidas:

² Valorado del 1 al 10 donde 1 es baja tolerancia y 10 muy buena tolerancia a altas temperaturas

III. Desarrollo del trabajo



Ilustración 27: Celdas adquiridas para el acumulador.

Montaje del acumulador



Ilustración 28: Corte previo de la pestaña para su soldadura.

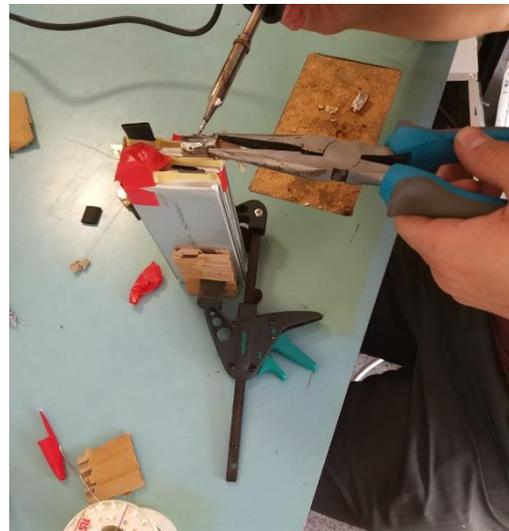


Ilustración 29: Soldadura trozo de cobre intermedio para cumplir normativa.

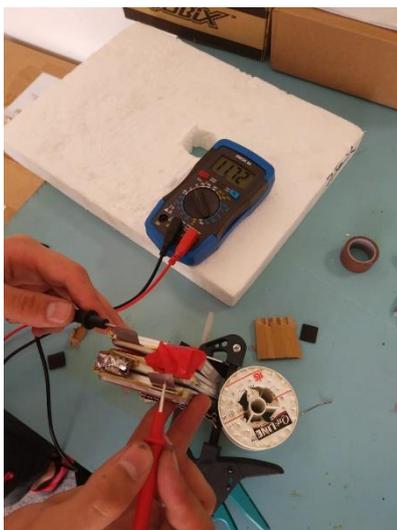


Ilustración 30: Comprobación del buen conexionado de las celdas.



Ilustración 31: Bloques de celdas soldados.

III. Desarrollo del trabajo

III.5. CÁLCULOS Y SIMULACIONES.

En este apartado, indicaremos el método seguido para calcular las constantes y coeficientes empleados en la simulación. Así como el código empleado en la misma. Posteriormente se incluirá el código empleado en la simulación y los resultados obtenidos en ella.

III.5.2. Modelización matemática de la motocicleta eléctrica.

III.5.2.1. Modelo de componentes.

III.5.2.1.1 Cálculo de inercias.

Se crea un cuerpo aproximado al rotor en el interior del motor para calcular su inercia. El peso de éste, como se puede apreciar es de 12.7363kg al ser el peso total de 21kg podemos concluir que es más que aceptable el peso que obtenemos.

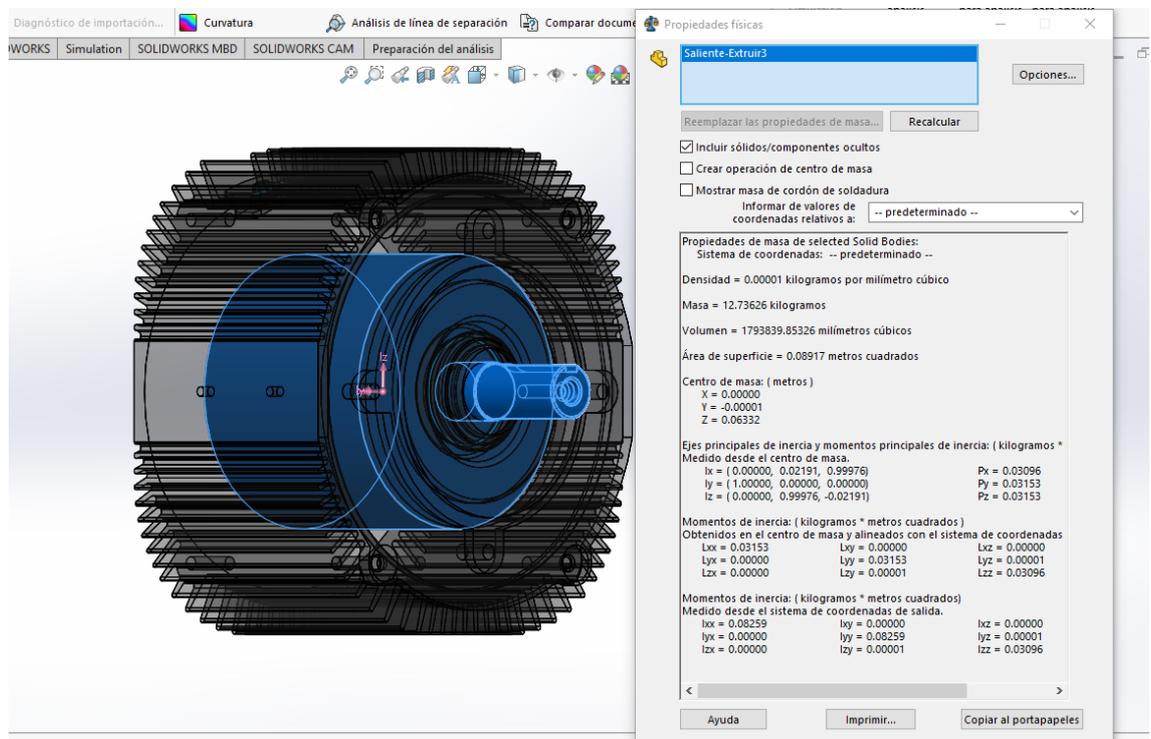


Ilustración 32: Rotor del motor.

III. Desarrollo del trabajo

Al modelar la rueda trasera, podemos comprobar que sale un peso demasiado elevado. En nuestro caso aparece 9.18kg. En la realidad, por documentación técnica de la que disponemos de Dunlop, sabemos que la llanta trasera pesa 3.9kg por lo que en propiedades físicas, forzamos el peso de nuestra llanta a dicho peso para ajustar la inercia y sea más similar a la que posee en la realidad.

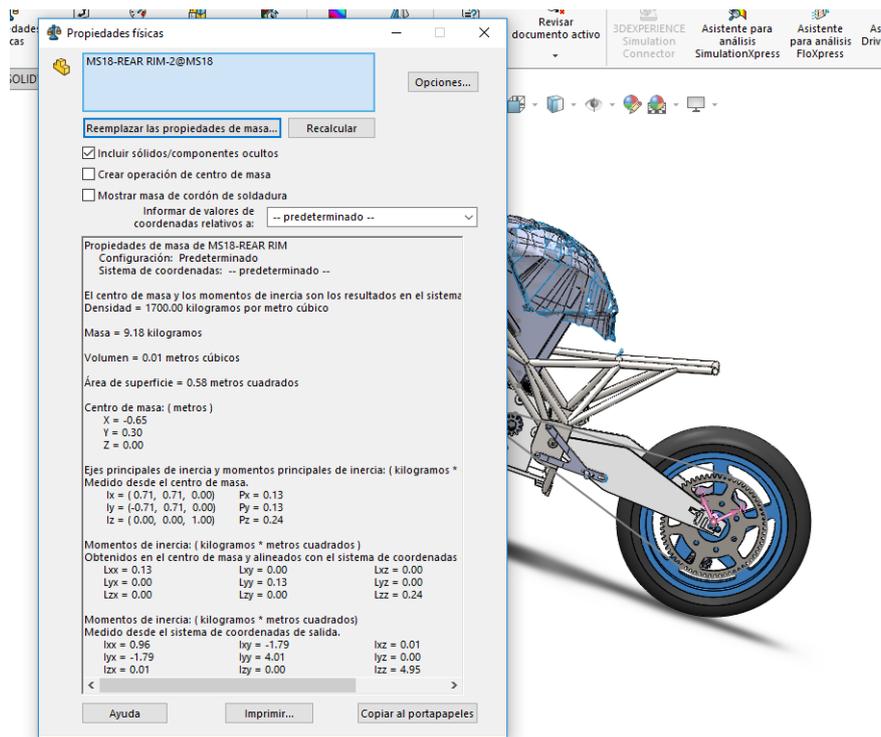


Ilustración 33: Inercia llanta trasera.

Al ajustar el peso de esta obtenemos una inercia de 2.1 kg*m² como podemos apreciar en la ilustración número 34.

III. Desarrollo del trabajo

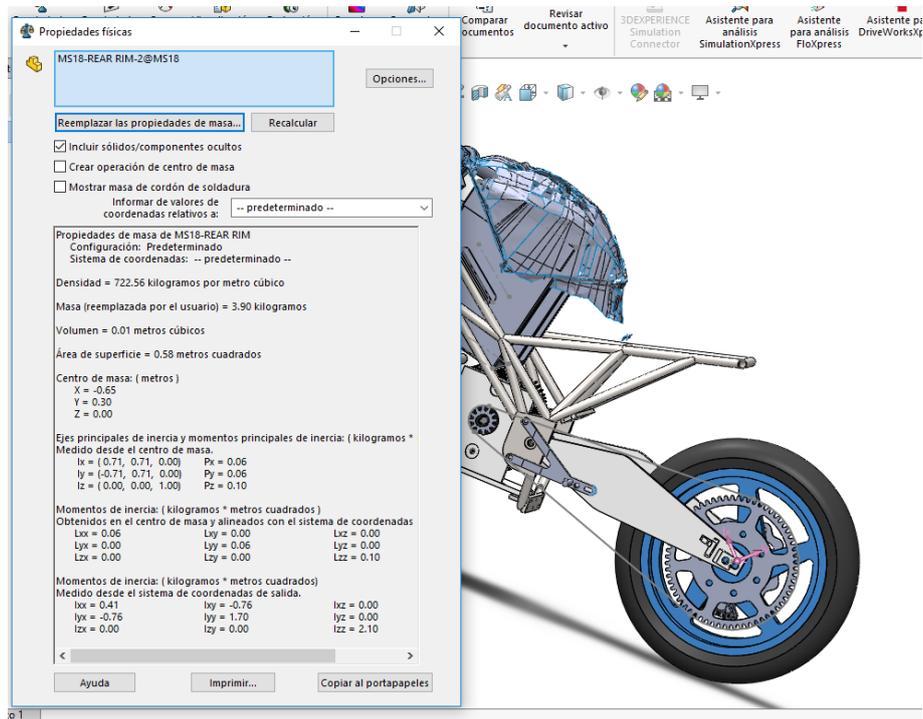


Ilustración 34: Inercia llanta trasera modificada.

Seguidamente calculamos la inercia que nos aporta la corona. Como podemos apreciar en la ilustración 35 nos da una inercia de 1.21 kg·m².

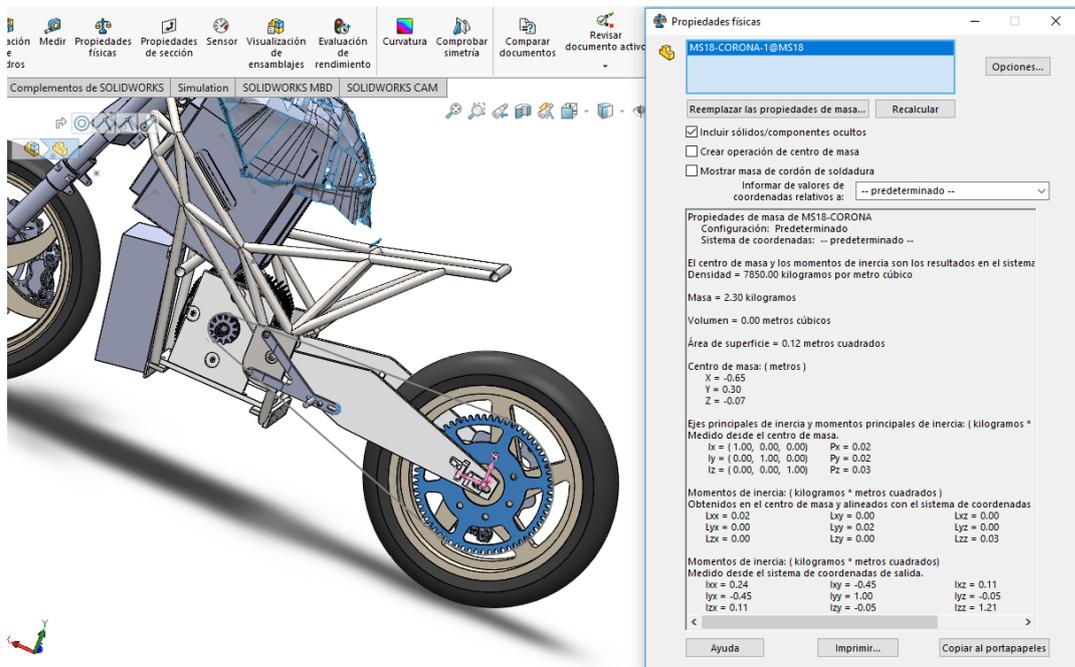


Ilustración 35: Inercia de la corona.

III. Desarrollo del trabajo

Finalmente, y con esto ya tendríamos la inercia de la rueda trasera en su conjunto, obtendríamos la inercia que aporta el neumático trasero. Como podemos apreciar en la ilustración numero 36 la inercia del neumático es de $2.18 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$. Así obtenemos una inercia total de:

$$2.1 + 1.21 + 2.18 = 5.48 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

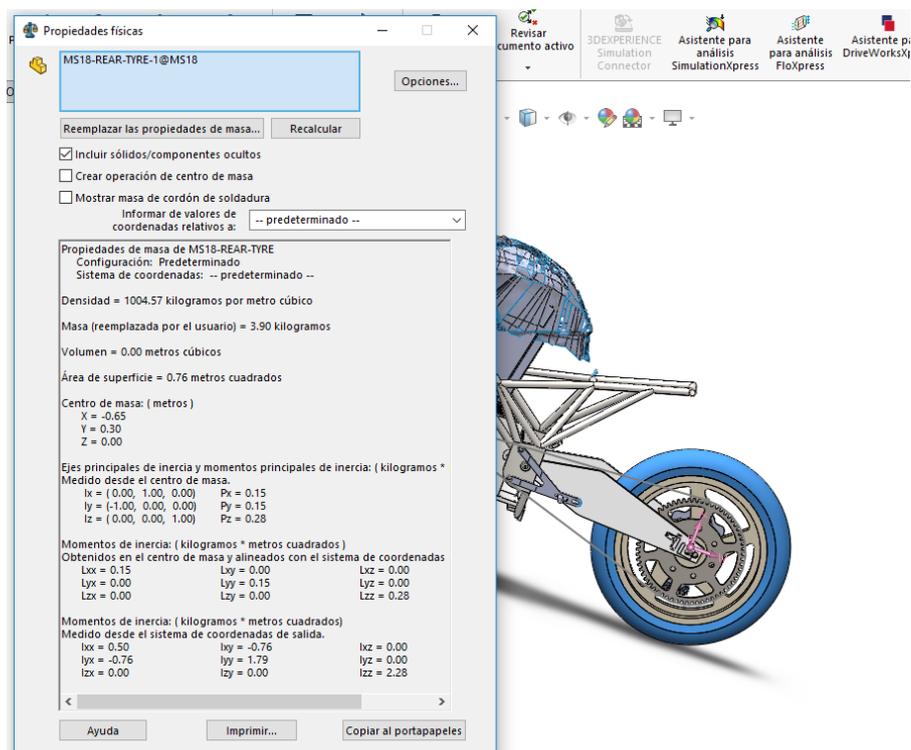


Ilustración 36: Inercia del neumático trasero.

Ahora calcularemos la inercia de la rueda delantera, compuesta por llanta y neumático. Para ello emplearemos el mismo proceso que para la rueda trasera. De solidworks obtenemos que el valor de la llanta delantera y neumático delantero son $1.43 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ y $1.57 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ respectivamente como ya podemos apreciar en las ilustraciones 37 y 38 componiendo una inercia total de $3 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$.

III. Desarrollo del trabajo

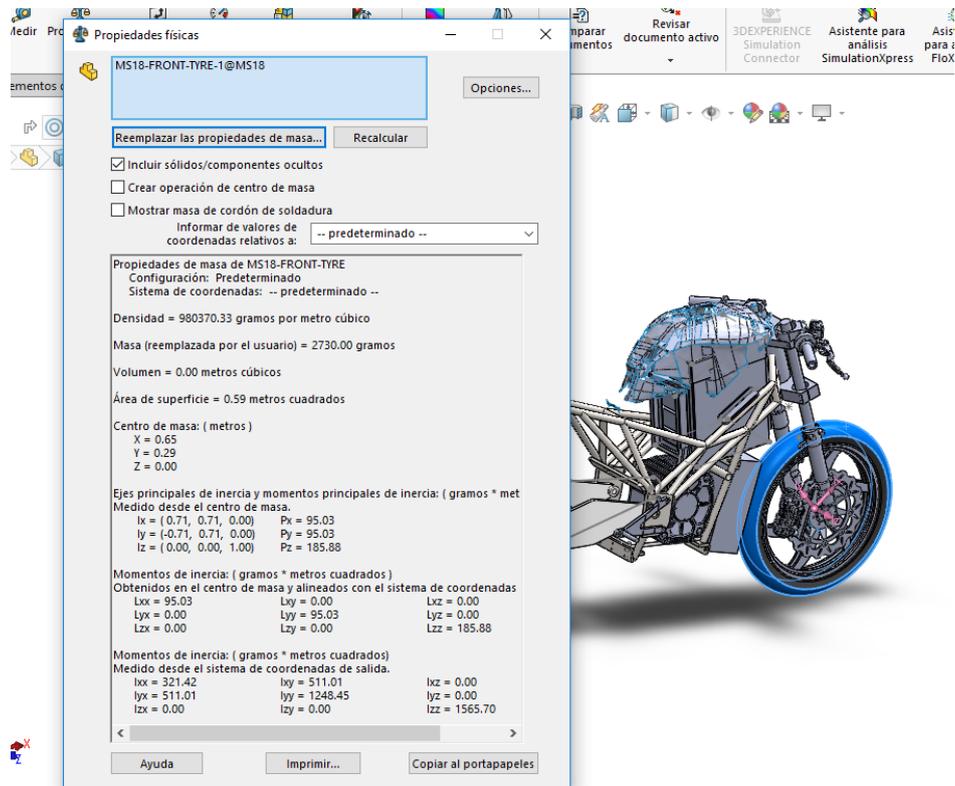


Ilustración 37: Inercia neumático delantero.

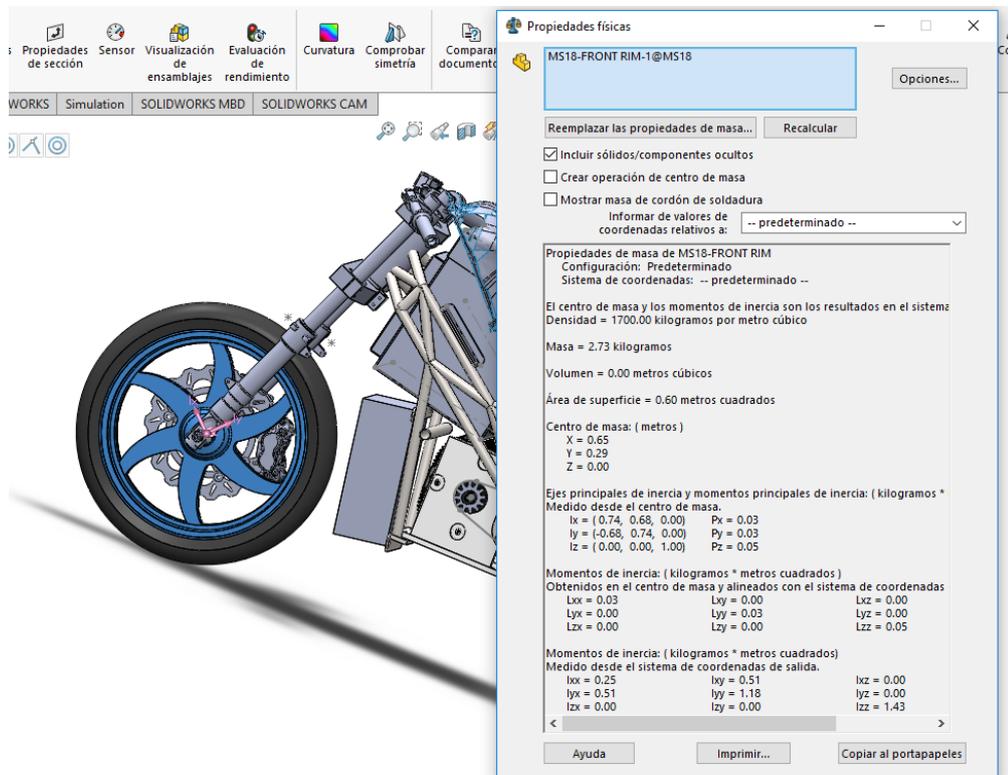


Ilustración 38: Inercia llanta delantera.

III. Desarrollo del trabajo

Ahora que ya disponemos de las inercias de cada uno de los componentes podemos calcular los ratios de velocidad de giro de cada uno de los componentes y con ello la masa equivalente del prototipo.

Para ello emplearemos las siguientes ecuaciones^{xxx}:

$$m = m_0 + I_{wr} * tau_r^2 + I_{wf} * tau_f^2 + I_{wm} * tau_m^2$$

De la ecuación reflejada en el libro, eliminamos las inercias y ratios correspondientes a las marchas ya que nuestro prototipo tiene transmisión directa.

$$tau_r = \frac{1}{\frac{Dr}{2}} ; tau_f = \frac{1}{\frac{Df}{2}} ; tau_m = \frac{1}{\frac{Dr}{2}} * i$$

De esta forma obtenemos los siguientes valores:

$$tau_f = 3.4483 \quad tau_m = 0.8333$$

$$tau_r = 3.3333 \quad m = 352.314 \text{ kg}$$

III. Desarrollo del trabajo

III.5.2.1.2. Cálculo coeficiente aerodinámico.

Para el cálculo del coeficiente aerodinámico emplearemos la siguiente tabla:

| Vehículo | C_dA (m ²) Piloto tendido | Piloto erguido |
|-----------------------------|--|-------------------|
| Honda RS500 (1984) | 0,243 | — |
| Yamaha TZ250 (1985) | 0,269 | 0,366 |
| Aprilia AF1 | 0,291 | 0,444 |
| Yamaha TZR250 | 0,296 | 0,421 |
| Bimota DB1 | 0,319 | 0,372 |
| Ducati Paso | 0,331 | 0,459 |
| Ducati 750SS | 0,341 | 0,438 |
| Honda CBR1000F | 0,349 | 0,438 |
| Yamaha FZR1000 | 0,351 | 0,404 |
| Kawasaki GPZ1000X | 0,354 | 0,474 |
| Kawasaki GPZ900R | 0,361 | 0,443 |
| Honda VFR750F | 0,366 | 0,447 |
| Suzuki GSX-R1100 | 0,398 | 0,430 |
| Honda VF1000F | 0,400 | 0,455 |
| BMW K100RS | 0,402 | 0,429 |
| Suzuki GSX-R750 | 0,410 | 0,455 |
| Suzuki GSX1100EF | 0,412 | 0,444 |
| BMW K75S | 0,414 | 0,439 |
| Yamaha FJ1100 | 0,433 | 0,483 |
| BMW R100RS | — | 0,435 |
| BMW K100RT | — | 0,495 |
| Honda XL600 Transalp | — | 0,515 |
| Vincent Black Prince (1953) | — | 0,562 |
| Kawasaki KLR600 | — | 0,565 |
| Kawasaki 1000GTR | — | 0,605 |
| Porche 924 | — | 0,56-0,59 |
| Renault 25TS | — | 0,61-0,63 |
| Peugeot 205GL | — | 0,61-0,64 |
| Ford Escort 1.3GL | — | 0,71-0,75 |
| Citroen 2CV | — | 0,84-0,86 |

Ilustración 39: Coeficientes aerodinámicos. Fuente: "Motocicletas. Chasis" John Robinson

Viendo los modelos reflejados en esta tabla y el carenado empleado en nuestro prototipo que es el de una Yamaha R6 del 2017, comparamos las medidas de tres modelos de Yamaha con las medidas de nuestro prototipo. De esta forma, posteriormente podemos extrapolar para determinar aproximadamente el coeficiente aerodinámico que posee nuestro prototipo según sus dimensiones.

III. Desarrollo del trabajo

| | TZR | FZR1000 | R6 2017 |
|--------------------------|-------|---------|---------|
| Longitud max. (mm) | 2005 | 2210 | 2230 |
| Anchura max. (mm) | 695 | 660 | 730 |
| Altura max. (mm) | 1125 | 1220 | 1150 |
| Altura sillín (mm) | 760 | 770 | 850 |
| Resistencia aerodinámica | 0.296 | 0.351 | 0.317 |

Tabla 4: Cálculo de resistencia aerodinámica.

Para calcular la resistencia aerodinámica empleamos una regla de tres compuesta con cada uno de los parámetros de las dimensiones:

Coefficiente aerodinámico según la anchura y altura máxima con el modelo Yamaha TZR:

$$1150 \rightarrow 1125$$

$$695 \rightarrow 660 \quad \rightarrow \quad \frac{1125}{1150} * \frac{660}{695} = \frac{0.296}{x_1} \rightarrow \boxed{x_1 = 0.319}$$

$$x_1 \rightarrow 0.296$$

Coefficiente aerodinámico según la anchura y altura máxima con el modelo Yamaha FZR1000:

$$1150 \rightarrow 1220$$

$$695 \rightarrow 730 \quad \rightarrow \quad \frac{1220}{1150} * \frac{730}{695} = \frac{0.351}{x_2} \rightarrow \boxed{x_2 = 0.315}$$

$$x_2 \rightarrow 0.351$$

Ahora obtenemos la media de los dos coeficientes obtenidos.

$$Cda = \frac{0.315 + 0.319}{2} \rightarrow \boxed{Cda = 0.317}$$

III. Desarrollo del trabajo

III.5.2.1.3. Transmisión y ruedas.

El diámetro de la rueda delantera montada, es de 0.58 metros

El diámetro de la rueda trasera montada, es de 0.6 metros

Ambos valores obtenidos de forma experimental.

La corona y el piñón empleados para la transmisión del prototipo son los siguientes:

Corona maciza de 52 dientes.

Piñón JTF326 de 13 dientes.

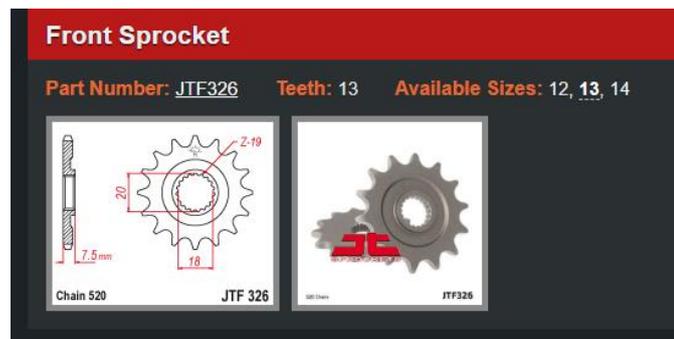


Ilustración 40: Piñón del prototipo.

Con esta configuración obtenemos una relación de transmisión tal que así:

$$i = \frac{Z_p}{Z_c}$$

Ecuación 1

$$i = \frac{13}{52} = \boxed{0.25}$$

Con esta transmisión, la velocidad máxima del prototipo es de 165km/h

El rendimiento estándar de una transmisión por piñón cadena como es en nuestro caso suele rondar el 0.98.^{xxxi}

III. Desarrollo del trabajo

III.5.2.1.4. Motor.

Para determinar el par que entrega el prototipo en cada momento del circuito, vamos a determinar el mapa motor del mismo gracias a los datos que nos facilita el fabricante. Estos datos son:

TECHNICAL SPECS

| | |
|-------------------|---------------------------------|
| Type | RFPM Electric Motor (Brushless) |
| Operatlon Voltage | 96-116 VDC |
| RPM Max. | 8.000 rpm |
| Rated power | 12 kW |
| Peak power | 20 kW |
| Peak torque | 65 Nm |
| Cooling | Air cooling system |
| Welght | 21,4 kg |

Ilustración 41: Datos facilitados por el fabricante del motor.

Para obtener la gráfica del motor ingresaremos el siguiente código en Matlab:

En primer lugar, estableceremos el par máximo, mínimo, diámetro de rueda, velocidad máxima y velocidad a la que el par deja de ser constante (La podemos obtener con la potencia máxima, par máximo y la relación que guardan que es $P=T*w$).

```
T_max = 65;%ficha de la organización lo da
T_min = 20000/(2*pi/60*8000);%Potencia max y rpm max
r_rueda = 0.3;

v_max = round(8000*i*2*pi/60*r_rueda,-1);
fprintf('\nVelocidad máxima: v_max = %0.1f\n\n',v_max*3.6)

v_1 = 2938.24*i*2*pi/60*r_rueda;

velocidad = [0 : 1 : v_max]';

index_v1 = find(velocidad>=v_1,1);
```

En segundo lugar, le decimos a Matlab cómo dibujar la gráfica y que la dibuje:

```
T_total = T_max*ones(1,index_v1);
tau = (v_max - v_1)/4;
T_baixant = T_min + (T_max-T_min)*exp(-[1:1:length(velocidad)-
length(T_total)]/tau);
T_total = horzcat(T_total,T_baixant);

fuerza_total = T_total/i/r_rueda;
```

III. Desarrollo del trabajo

```
plot(velocidad, fuerza_total)
xlabel ('velocidad (m/s)');
ylabel ('Fuerza (N)');
```

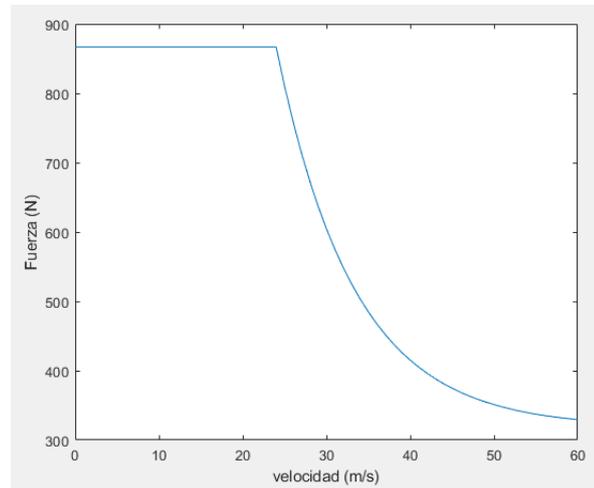


Ilustración 42: Gráfica motor calculada.

III.5.2.2. Modelo dinámico del vehículo

Para modelar el vehículo, emplearemos una ecuación diferencial. Para obtener esta, empezaremos por la primera ley de Newton que dice:

$$F = m * dv/dt \quad \text{Ecuación 2}$$

Aplicando la cinemática de la motocicleta podemos expresarla como sumatorio de las fuerzas que actúan sobre el prototipo es igual a la masa por la aceleración.

$$F_{trac} - F_{Resist} = m * \frac{dv}{dt}$$

Las fuerzas resistentes que actúan sobre el prototipo son la fuerza aerodinámica, la fuerza de rozamiento y la pendiente. Por lo que la ecuación anterior quedaría de la siguiente manera:

$$F_{trac} - F_a - F_R - F_N = m * \frac{dv}{dt}$$

Si detallamos cada una de las fuerzas resistentes nos queda:

III. Desarrollo del trabajo

$$F_{trac} - c_d * \frac{1}{2} * \rho_{air} * A_f * v^2 - c_r * m * g * \cos(\alpha) - m * g * \sin(\alpha) = m * \frac{dv}{dt} \quad \text{Ecuación 3}$$

La ecuación diferencial que emplearemos será una de primer orden que viene dada por la siguiente expresión:

$$m * \ddot{x} + \frac{b}{m} * \dot{x} + \frac{c}{m} * \dot{x}^2 + m * g * \sin(\alpha) + a = F_{total}$$

Despejamos \ddot{x} :

$$\ddot{x} = -\frac{b}{m} * \dot{x} - \frac{c}{m} * \dot{x}^2 - m * g * \sin(\alpha) + \left(\frac{F_{total} - a}{m}\right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Esta ecuación la podemos implementar en Simulink para su simulación de la siguiente manera.

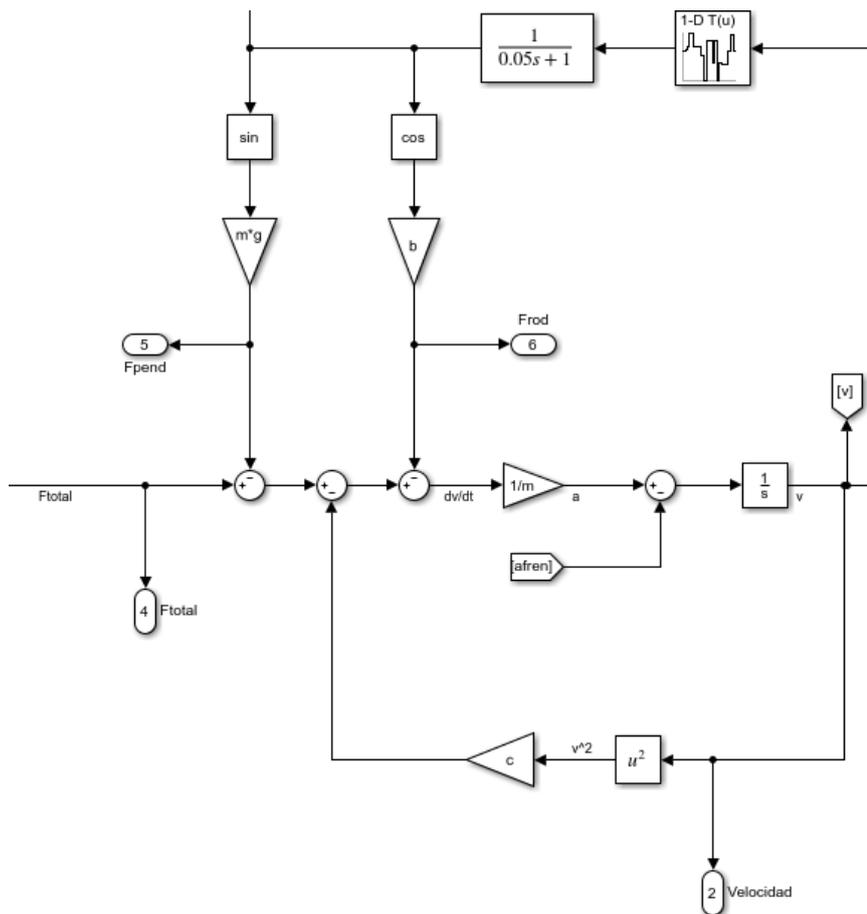


Ilustración 43: Esquema de Simulink

III. Desarrollo del trabajo

El código que emplearíamos para introducir los parámetros calculados en Matlab sería el siguiente:

```
%% Parámetros del modelo
Iwr=2.1+2.18+1.21; %Inercia de la llanta, corona y neumático
Iwf=4.43+1.5657; %Inercia de la llanta y neumático
Iwm=0.031; %inercia del motor

Dr= 0.6; %diámetro rueda trasera
Df= 0.58; %diámetro rueda delantera
Zp=13; %N° dientes piñón
Zc=52; %N° dientes corona
Vmax= 165/3.6; %Velocidad máxima m/s
i=Zp/Zc; %relación de transmisión
pn= 2.2; %presión de los neumáticos 2.2 bar según info dunlop

tau_r=1/(Dr/2); %ratio de velocidad de giro rueda trasera
tau_f=1/(Df/2); %ratio de velocidad de giro rueda delantera
tau_m=1/(Dr/2)*i; %ratio de velocidad de giro piñón

m0 = 80+130; % Masa del vehículo parado más peso del piloto
m = m0 + Iwr*tau_r^2+Iwf*tau_f^2+Iwm*tau_m^2;

Cr= 0.04;%sacada de la gráfica de cosalter
CdA = 0.317; %resistencia aerodinámica

g = 9.81;
Dair = 1.225; %a presión atmosférica y 15°C

a = 0.98;%rendimiento de la transmisión
b = Cr*m*g;
c = CdA*1/2*Dair;
```

III. Desarrollo del trabajo

III.5.3. Parametrización del ciclo de conducción.

Para la parametrización del circuito contamos con la geometría del circuito facilitada por la organización de la competición (Se adjunta en el apéndice). Para poder obtener el ciclo de conducción, se introduce la imagen del circuito y se ajusta a escala.

Si sumásemos la longitud de las polilíneas obtenidas en AutoCAD, obtendríamos una longitud de 5.062,66m frente a los 5.077m que nos da la organización. Por lo que tenemos un error del 0.3 por ciento y podemos dar la aproximación por correcta.



Ilustración 44: Realización en AutoCAD del circuito.

III. Desarrollo del trabajo

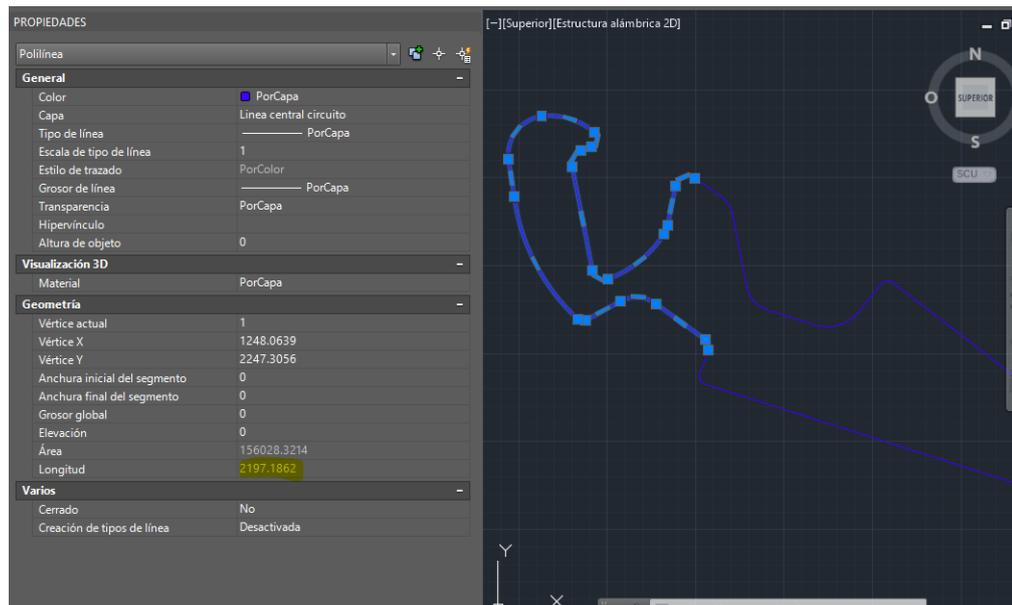


Ilustración 45: Longitud polilínea 1

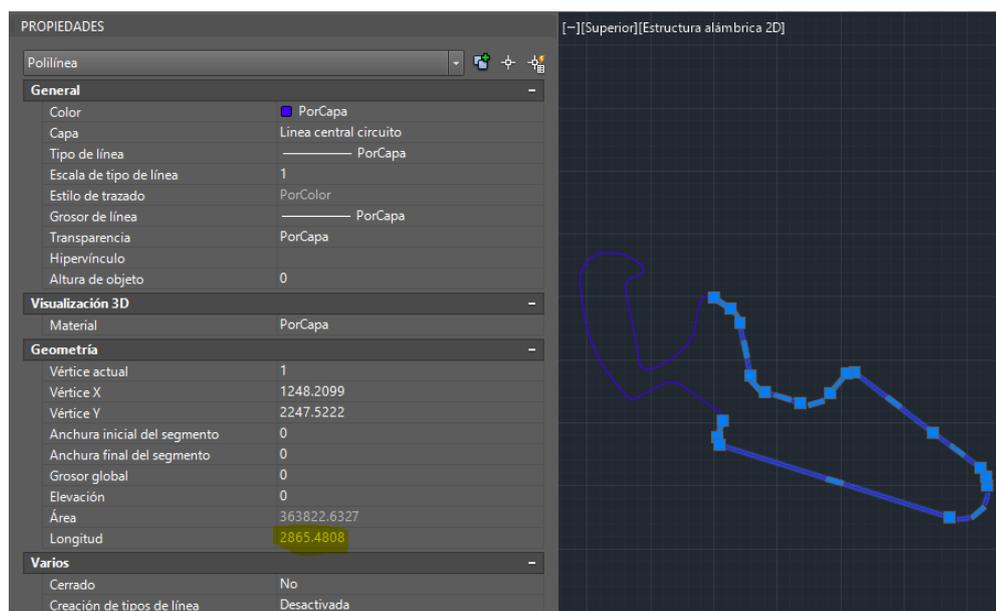


Ilustración 46: Longitud polilínea 2

Una vez tenemos el trazado del circuito, realizamos el ancho del mismo y podremos calcular la trazada ideal por la que circularía nuestro prototipo. Para ello, en cada una de las curvas, trazaremos un arco que sea tangente a la parte exterior de la recta antes de la curva, tangente al arco interior de la curva y tangente a la parte exterior de la recta de después de la curva.

III. Desarrollo del trabajo

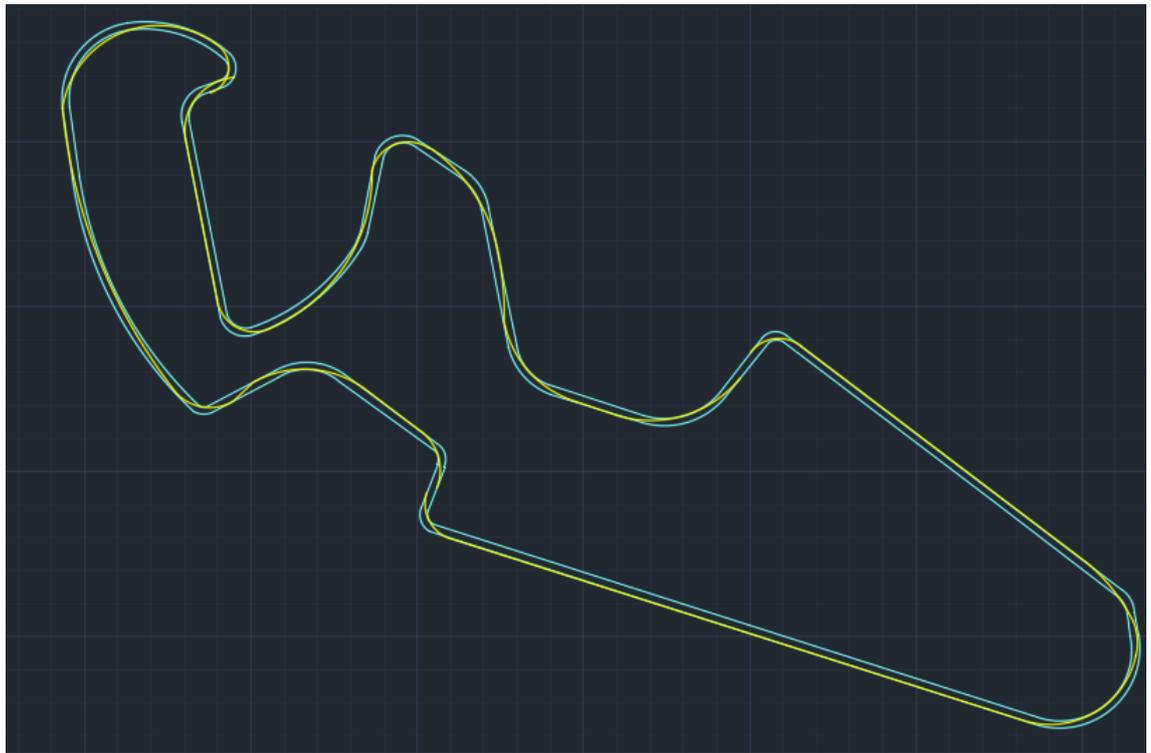


Ilustración 47: Circuito con la trazada ideal en amarillo.

De esta forma obtenemos los siguientes radios de curvatura para los pasos por curva:

| Curva | Radio (m) | Curva | Radio (m) |
|-------|-----------|-------|-----------|
| R1 | 50.03 | R10 | 147.15 |
| R2 | 170.23 | R11 | 836.93 |
| R3 | 160.52 | R12 | 70.24 |
| R4 | 235.11 | R13 | 156.12 |
| R5 | 56.45 | R14 | 77.57 |
| R6 | 259.43 | R15 | 53.54 |
| R7 | 58.63 | R16 | 133.42 |
| R8 | 84.17 | R17 | 212.93 |
| R9 | 41.85 | | |

Tabla 5: Radios de giro por curva.

Ahora que disponemos de los radios de curvatura, podemos calcular las velocidades de pasos por curva. Para ello aplicaremos la siguiente fórmula:

$$\frac{v^2}{Rc} = \frac{g}{\tan(\theta)} \rightarrow v = \sqrt{\frac{Rc \cdot g}{\tan(\theta)}} \quad \text{Ecuación 5}$$

Para mayor agilidad y rapidez se calculará mediante Excel.

III. Desarrollo del trabajo

| Curva | Radio de curva (m) | Inclinación | Radio de giro (m) | Velocidad máxima (m/s) | Velocidad máxima (km/h) |
|-------|--------------------|-------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| T1 | 21.5 | 45 | 50.03 | 17.41 | 62.66 |
| T2 | 111 | 45 | 170.23 | 32.11 | 115.59 |
| T3 | 83 | 45 | 160.52 | 31.18 | 112.25 |
| T4 | -88 | 45 | 235.11 | 37.73 | 135.85 |
| T5 | -36 | 45 | 56.45 | 18.49 | 66.56 |
| T6 | 66 | 45 | 259.43 | 39.64 | 142.70 |
| T7 | 33 | 45 | 58.63 | 18.84 | 67.84 |
| T8 | 41 | 45 | 84.17 | 22.58 | 81.28 |
| T9 | -22 | 45 | 41.85 | 15.92 | 57.31 |
| T10 | -111 | 45 | 147.15 | 29.85 | 107.47 |
| T11 | -600 | 45 | 836.93 | 71.20 | 256.30 |
| T12 | -18 | 45 | 70.24 | 20.63 | 74.25 |
| T13 | 88 | 45 | 156.12 | 30.75 | 110.70 |
| T14 | 25 | 45 | 77.57 | 21.67 | 78.03 |
| T15 | -18 | 45 | 53.54 | 18.01 | 64.83 |
| T16 | -115 | 45 | 133.42 | 28.43 | 102.33 |
| T17 | -55 | 45 | 212.93 | 35.91 | 129.28 |

Tabla 6: Cálculo de velocidades de pasos por curva.

Una vez conocida la velocidad de paso por curva, podemos calcular las distancias de frenado. Para ello, lanzaremos la simulación del modelo con todas las fuerzas que actúan en el modelo a excepción de las frenadas.

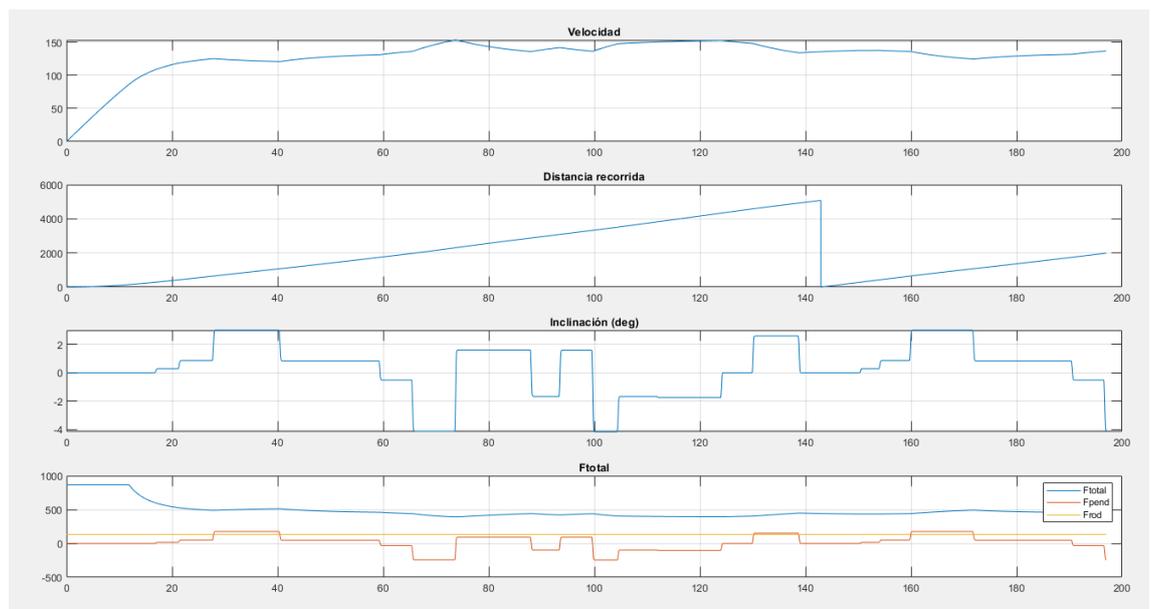


Ilustración 48: Simulación sin frenadas.

III. Desarrollo del trabajo

Una vez tenemos la velocidad que llevará el prototipo sin frenar, vamos a cada uno de los puntos del circuito donde se encuentran las curvas. Seguidamente nos vamos a la gráfica de velocidad y vemos la velocidad que lleva justo antes de comenzarla. Ahora podemos aplicar la fórmula:

$$d_f = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2 * a_f} \quad \text{Ecuación 6}$$

Y con ella obtenemos la distancia necesaria para tener la velocidad crítica antes de comenzar la curva. A continuación, lo vemos en el siguiente ejemplo en el que hemos calculado la distancia de frenado de la T2.

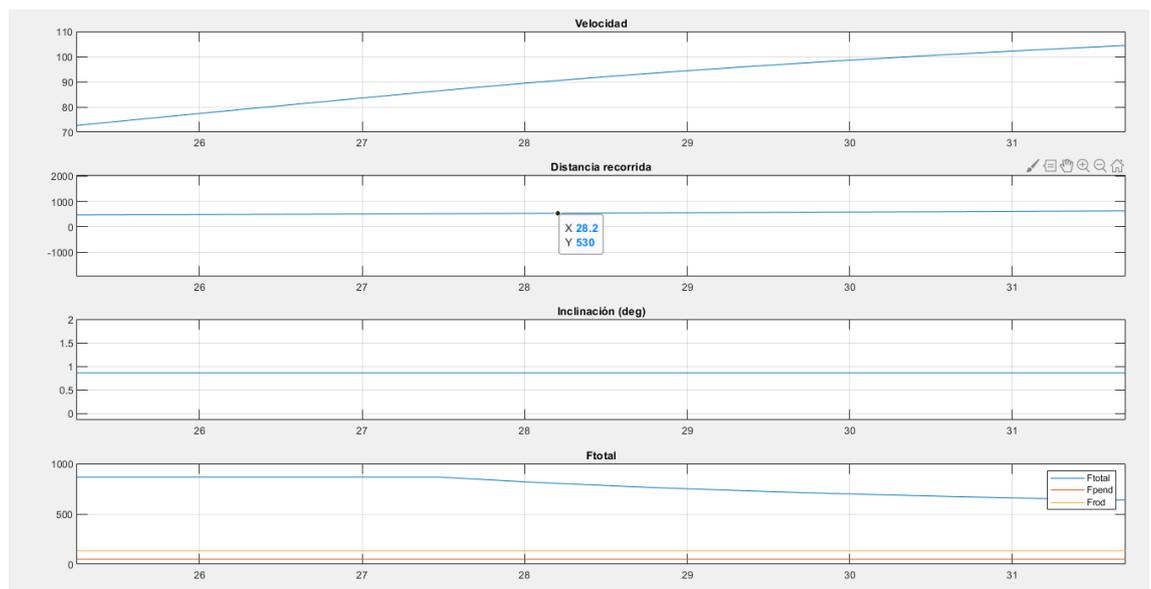


Ilustración 49: buscamos la posición 530 correspondiente a la T2.

Como podemos apreciar en la ilustración 49, para una y de 530 tenemos una t de 28.2. Ahora nos vamos a la gráfica de velocidad en el instante t igual a 28.2 y vemos el valor de la velocidad.

III. Desarrollo del trabajo

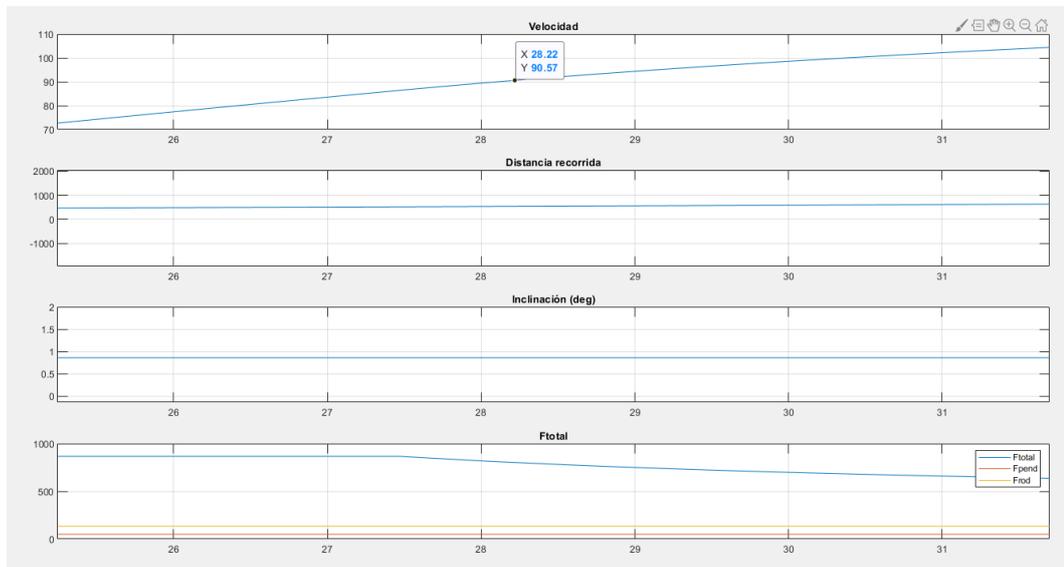


Ilustración 50: Velocidad para t igual a 28.2

Como podemos apreciar en la ilustración 50, para una t igual a 28.2 tenemos una velocidad de 90.57 km/h. Ahora podemos introducir esta velocidad en nuestra hoja de Excel llamada "Datos.xls" en la pestaña "Velocidad paso por curva" donde mediante la ecuación 6 obtenemos cada una de las distancias de frenado necesarias en cada una de las curvas del circuito obteniendo la siguiente tabla:

| Curva | Inclinación | Radio de giro (m) | Velocidad máxima (m/s) | Velocidad máxima (km/h) | Distancia frenado | Velocidad antes de curva |
|-------|-------------|-------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|--------------------------|
| T1 | 45 | 50.03 | 17.41 | 62.66 | -49.10 | 32.5 |
| T2 | 45 | 170.23 | 32.11 | 115.59 | 25.95 | 25.16 |
| T3 | 45 | 160.52 | 31.18 | 112.25 | 0.28 | 31.11 |
| T4 | 45 | 235.11 | 37.73 | 135.85 | 23.26 | 32.67 |
| T5 | 45 | 56.45 | 18.49 | 66.56 | -53.94 | 34.19 |
| T6 | 45 | 259.43 | 39.64 | 142.70 | 55.10 | 26.94 |
| T7 | 45 | 58.63 | 18.84 | 67.84 | -45.24 | 32.39 |
| T8 | 45 | 84.17 | 22.58 | 81.28 | -42.13 | 34 |
| T9 | 45 | 41.85 | 15.92 | 57.31 | -38.62 | 29.08 |
| T10 | 45 | 147.15 | 29.85 | 107.47 | -3.88 | 30.83 |
| T11 | 45 | 836.93 | 71.20 | 256.30 | 273.06 | 29.67 |
| T12 | 45 | 70.24 | 20.63 | 74.25 | -58.59 | 36.39 |
| T13 | 45 | 156.12 | 30.75 | 110.70 | 11.34 | 27.78 |
| T14 | 45 | 77.57 | 21.67 | 78.03 | -48.22 | 34.78 |
| T15 | 45 | 53.54 | 18.01 | 64.83 | -31.40 | 28.39 |
| T16 | 45 | 133.42 | 28.43 | 102.33 | -38.45 | 37.39 |
| T17 | 45 | 212.93 | 35.91 | 129.28 | 32.14 | 28.22 |

Tabla 7: Distancias de frenado.

III. Desarrollo del trabajo

Una vez tenemos calculadas las distancias de frenado las introducimos en la hoja de Excel llamada “parametroscircuito.xls” Para ello lo introducimos en la columna C

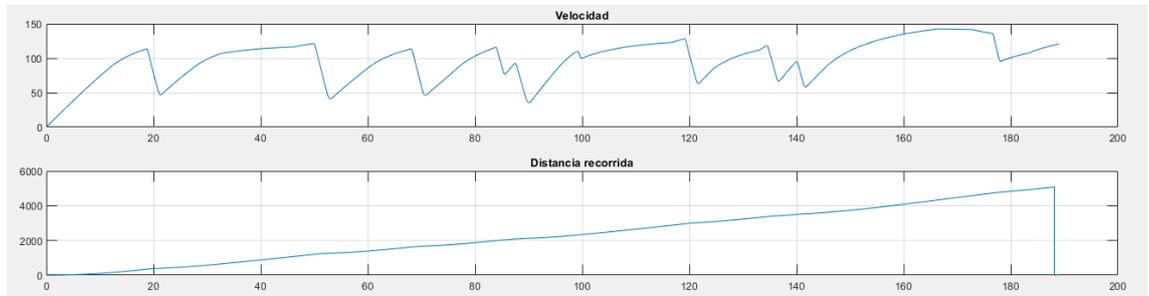


Ilustración 51: Velocidad y distancia recorrida por vuelta.

Para introducir estos datos en la simulación de Simulink, emplearemos el siguiente código:

```
%% Parámetros del circuito

Lcirc = 5080;%longitud del circuito

distancia = 0 : 10 : 5080;%creamos el vector distancia

angulo = transpose(xlsread('parametroscircuito.xlsx',1,'B2:B510'));
gas = transpose(xlsread('parametroscircuito.xlsx',1,'C2:C510'));
%damos los valores para las lookuptables de la inclinación y
aceleración

index_1 = find(gas~=0);
index_0 = find(gas==0);
freno(index_0) = 7.67;
freno(index_1) = 0;
%le decimos al programa que cuando no estemos acelerando, estaremos
aplicando una fuerza de frenado calculada con la media de fuerza de
frenado de los prototipos que participaron en la competición.
```

III.5.4. Consumo energético de la motocicleta eléctrica.

En primer lugar, habría que generar el código que nos hará posible que la simulación funcione. Para ello, comenzaremos con limpiar todas las variables y figuras que puedan haber generadas en Matlab con el siguiente código:

```
clc; clearvars; close all;
```

III. Desarrollo del trabajo

Seguidamente estableceremos las opciones de simulación introduciendo un paso de integración, un tiempo total de simulación y llamaremos al diagrama de bloques generado para poder trabajar sobre él.

```
%% Opciones de la simulación

T = 1e-4; % Paso de integración
stop_time = 1*189; % Tiempo total de simulación

diagrama_de_bloques = 'rodadura.slx';
```

Finalmente, solo nos queda indicar cómo resolver y calcular la velocidad. Para ello introduciremos el siguiente código de simulación:

```
%% Simulación

opcions = simset('Solver','ode8','FixedStep',T);

[t,x,y,v,incl,Ftotal,Fpend,Frod] = sim(diagrama_de_bloques, stop_time,
opcions);

% Con este código le decimos a matlab que resuelva por el método que
determine que es más correcto la simulación.

figure('Units','Normalized','Position',[0.5,0.1,0.4,0.9])

sub_v = subplot(4,1,1); plot(t,v*3.6); grid on; title('Velocidad');
sub_y = subplot(4,1,2); plot(t,y); grid on; title('Distancia
recorrida');
sub_inclinacion = subplot(4,1,3); plot(t,rad2deg(incl)); grid on;
title('Inclinación (deg)');
sub_F = subplot(4,1,4); plot(t,Ftotal,t,Fpend,t,Frod); grid on;
title('Ftotal');
legend('Ftotal','Fpend','Frod')

linkaxes([sub_v,sub_y,sub_inclinacion,sub_F],'x');

% Representamos los resultados obtenidos.
```

III. Desarrollo del trabajo

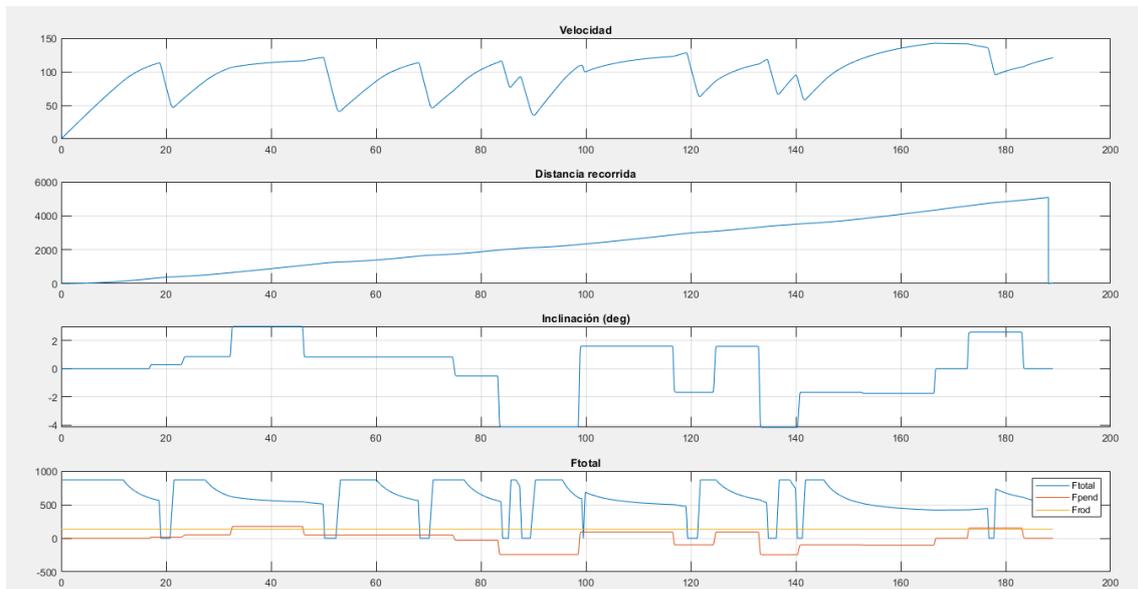


Ilustración 52: Resultados obtenidos de la simulación.

Finalmente introducimos el código para calcular la potencia.

```
%%Cálculo de potencia
Mmotor=Ftotal*r_rueda*i; %calculamos el par entregado por el motor
wrueda=v/r_rueda; %velocidad angular a la que gira la rueda
wmotor=wrueda/i; %velocidad angular a la que gira el motor
Pmotor=(Mmotor.*wmotor)/0.98/0.96/3600/1000;%Potencia consumida por el
motor en kWh

figure
('Units','Normalized','Position',[0.5,0.1,0.4,0.4])%representamos la
potencia consumida
plot(t,Pmotor);
grid on;
title('Potencia');

Dem_Energ=trapz(t,Pmotor);%realizamos la acumulada de potencia
consumida
CDem_Energ=cumtrapz(t,Pmotor);
figure ('Units','Normalized','Position',[0.5,0.1,0.4,0.4])
plot(CDem_Energ);
grid on;
title('Potencia acumulada por segundo');
```

El consumo final obtenido es 0.9



Ilustración 53: Resultado de la simulación.

III. Desarrollo del trabajo

Una vez obtenido estos resultados que son válidos, procedemos a incrementar el tiempo de simulación para que nuestro programa alcance a simular las 8 vueltas de autonomía que queremos en nuestro prototipo. Para ello modificamos el valor de la variable stop_time a 1435 segundos y simulamos.

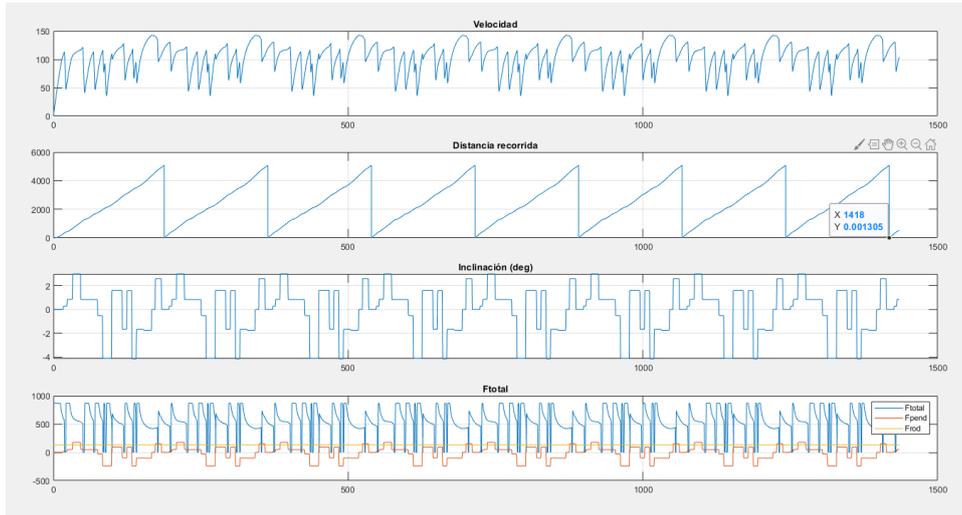


Ilustración 54: Simulación con tiempo aleatorio.

Como podemos observar en la ilustración 54, en el stop_time 1418 es justo en que completamos la octava vuelta. Por lo que para obtener un valor más exacto volveremos a simular con un stop_time de valor 1418.

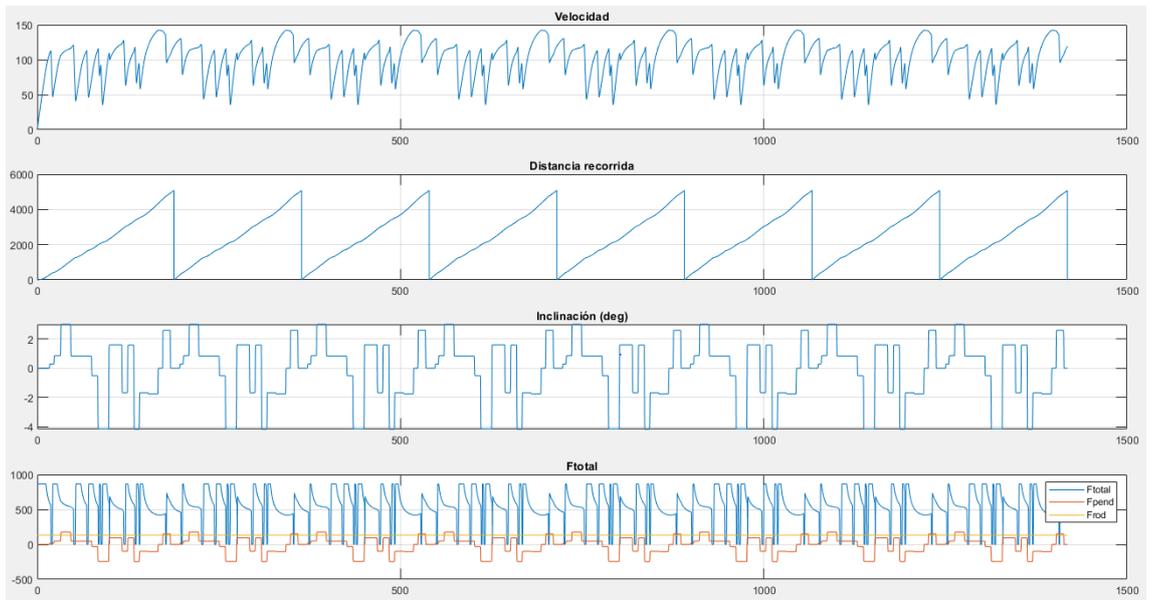


Ilustración 55: Resultados finales.

Y la demanda energética final para realizar el recorrido de MotorLand de Aragón es de 6.6KWh.

III. Desarrollo del trabajo

```
Command Window  
  
Velocidad máxima: v_max = 216.0  
  
Demanda energética (kWh): Dem_Energ = 6.6
```

Ilustración 56: Demanda energética para 8 vueltas.

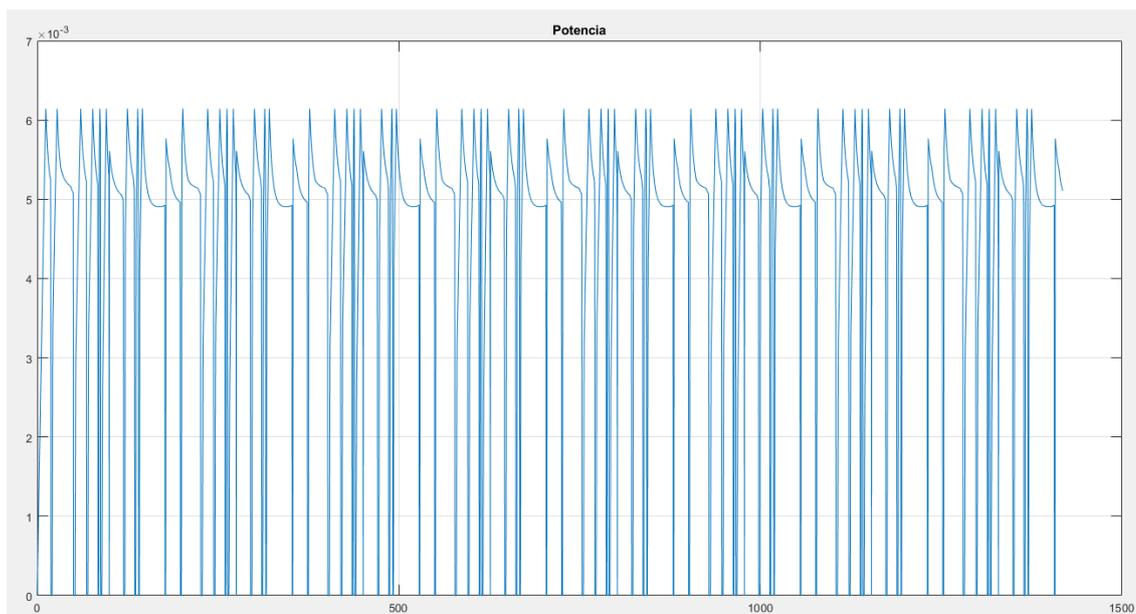


Ilustración 57: Potencia demandada en función del tiempo.

III. Desarrollo del trabajo

III.5.5. Dimensionado del acumulador.

Ahora ya sabemos todos los parámetros que necesitamos para nuestro acumulador:

| | |
|---------------------------------------|---------------|
| Demanda energética (Kwh) | 6.6 |
| Voltaje (V) | 90-110 |
| Efficiencia carga/descarga (%) | 95 |
| Carga máxima (%) | 90 |
| Descarga máxima (%) | 25 |

Tabla 8: Parámetros acumulador.

En primer lugar, calculamos la energía que necesitamos que tenga nuestro acumulador. Para ello dividimos la demanda energética entre la eficiencia y la carga máxima y la multiplicamos por 1.25 debido a la descarga máxima. Con ello obtenemos una capacidad de 9.65Kwh.

Con las celdas que elegimos para el prototipo, necesitaremos disponer para alcanzar el voltaje de 29 en serie. Con ello, alcanzamos un voltaje de 107.3V.

Para alcanzar la capacidad necesaria de 9.65Kwh necesitaremos un número determinado de bloques de 29 celdas en paralelo. Para determinar dicho número aplicaremos la fórmula siguiente:

$$Dem_{Energ} = C_{cel} * n^{\circ} \text{ de bloques en paralelo}$$

$$mAh = \frac{1Ah}{1000mAh} * \frac{1KWh}{1000Wh} * V_{acumulador} = C_{cel}$$

La C_{cel} que obtenemos es de 1.073kWh por lo que necesitamos 9 bloques para alcanzar la demanda necesaria ya que tendríamos una capacidad de 9.66kWh.

IV. CONCLUSIONES

IV. Conclusiones

Como conclusión podemos obtener que la simulación da algo elevada debido a que el prototipo lo simulamos sin ningún tipo de control de potencia, simulando un todo o nada durante el recorrido de la misma. Aun así, el valor obtenido nos da una aproximación general de lo que consumiría el prototipo en el circuito. Las características del acumulador necesario serían:

| | |
|----------------------------|--------------|
| Voltaje (V) | 107.3 |
| Capacidad kWh | 9.66 |
| N° celdas serie | 29 |
| N° bloques paralelo | 9 |

Tabla 9: Resumen acumulador.

VI. APÉNDICES

VI.1. REFERENCIAS

- i. "Sapiens. De animales a dioses: Una breve historia de la humanidad" de Yuval Noah Harari.
- ii. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-41728685>
- iii. <https://www.muyhistoria.es/curiosidades/preguntas-respuestas/quien-invento-la-maquina-de-vapor-581523355689>
- iv. <https://www.muyinteresante.es/curiosidades-motor/fotos/inventos-que-cambiaron-la-historia-del-automovil/2>
- v. https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%81nyos_Jedlik
- vi. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/02/130215_coches_vapor_ap
- vii. <https://stocklocator.volkswagen.es/polo>
- viii. <https://www.renault.es/electricos/zoe/datos-tecnicos.html>
- ix. <https://www.hyundai.es/gamaioniq/>
- x. <https://www.motoryracing.com/pruebas/noticias/la-historia-de-la-bateria-automoriz/>
- xi. https://www.ecured.cu/Bater%C3%ADas_de_Ni-Cd
- xii. <https://www.powerstream.com/NiMH.htm>
- xiii. https://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=3134
- xiv. <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/comparativa-distintas-tecnologias-baterias-acumulacion/>
- xv. "ESTUDIO DE BATERÍAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS". Por Carlos Peña Ordóñez. Universidad Carlos III de Madrid.
- xvi. "PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE VEHICULOS ELECTRICOS". Por Melissa García Ruíz. Universidad tecnológica de Pereira.
- xvii. <https://www.ford.es/compra/explora/hibridos-electricos/hibridos>
- xviii. <https://www.quetzalingeneria.es/hablemos-de-coches-electricos/>
- xix. <http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico.htm>
- xx. <http://electromovilidad.net/tipos-de-coches-electricos/>
- xxi. <http://www.mqe.es/tipos-conectores-coche-electrico/>

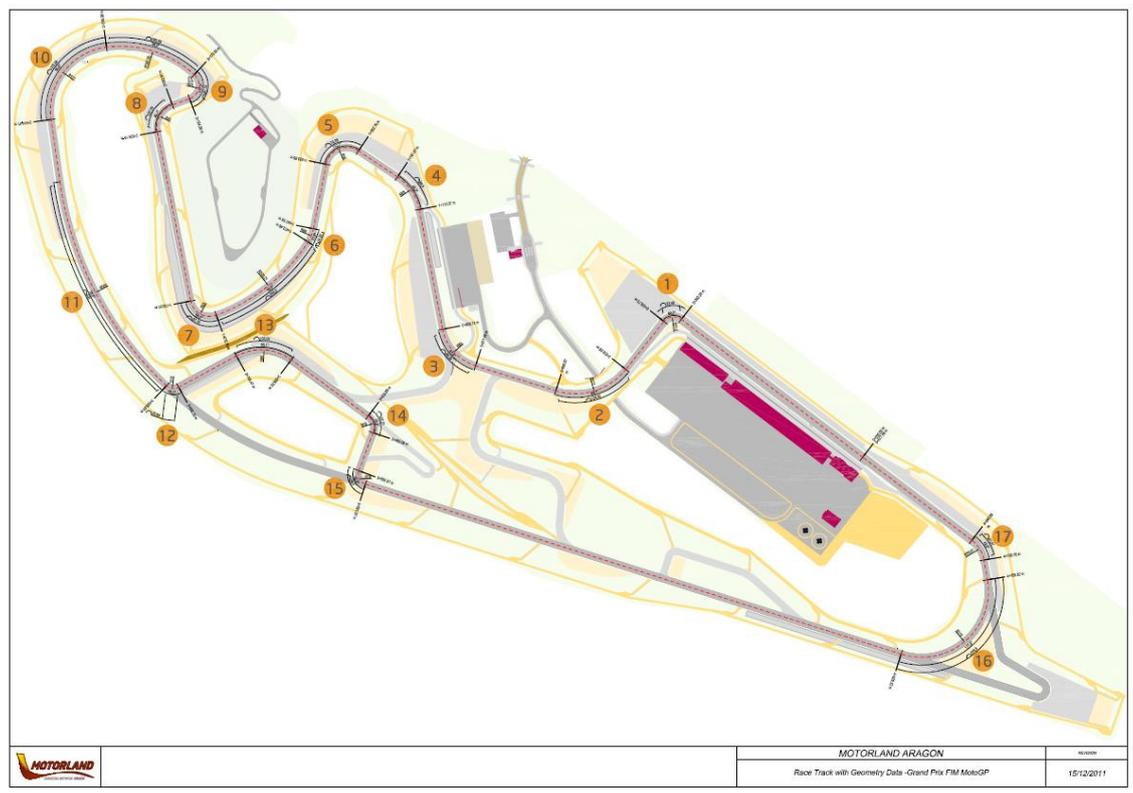
VI. Apéndices

- xxii. "Green Illusions: The Dirty Secrets of Clean Energy and the Future of Environmentalism". Por Ozzie Zehner.
- xxiii. <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/parque-vehiculos/tablas-estadisticas/>
- xxiv. https://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/pocketbook-2018_en
- xxv. <https://www.lavanguardia.com/natural/opinion-analisis/20150607/54431606836/baterias-tesla-solucion-para-coche-electrico-y-autoconsumo.html>
- xxvi. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/04/130412_tecnologia_autos_electr_icos_limpio_aa
- xxvii. <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/el-reciclado-de-las-baterias-de-litio-un-negocio-rentable-en-el-que-se-desecha-el-litio>
- xxviii. <http://www.hybridsteingroup.com/caracteristicas-baterias-linadium/>
- xxix. <http://www.hybridsteingroup.com/ventajas-baterias-linadium/>
- xxx. "Motorcycle dynamics" Vittore Cossalter.
- xxxi. <http://files.cesarruiz.webnode.com.co/200000094-cec46d0fac/TransmisionPorCadenas.pdf>

VI. Apéndices

VI.2. PLANOS Y ESQUEMAS TÉCNICOS.

PLANO CIRCUITO DE MOTORLAND.



VI. 3. LISTADO DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| ILUSTRACIÓN 1: PRIMER AUTOMÓVIL PROPULSADO..... | 13 |
| ILUSTRACIÓN 2: MOTOR ELÉCTRICO CREADO POR ÁNYOS JEDLIK. | 13 |
| ILUSTRACIÓN 3. FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE UNA BATERÍA..... | 16 |
| ILUSTRACIÓN 4: ESTRUCTURA INTERNA DE LOS DISTINTOS TIPOS DE BATERÍAS | 20 |
| ILUSTRACIÓN 5: TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS. | 21 |
| ILUSTRACIÓN 6: TIPOS DE CONECTORES. | 22 |
| ILUSTRACIÓN 7: KM REALIZADOS POR CADA MEDIO DE TRANSPORTE. | 25 |
| ILUSTRACIÓN 8: ENERGÍA CONSUMIDA POR CADA UNO DE LOS SECTORES..... | 26 |
| ILUSTRACIÓN 9: EMISIONES POR TRANSPORTE Y POR CADA TIPO DE TRANSPORTE. | 27 |
| ILUSTRACIÓN 10: RESERVA DE LITIO EN BOLIVIA. | 29 |
| ILUSTRACIÓN 11: ESQUEMA DE ALTA TENSIÓN. | 35 |
| ILUSTRACIÓN 12: BATERÍA SINGULAR LIPO. | 36 |
| ILUSTRACIÓN 13: ESQUEMA PRIMER ACUMULADOR. | 36 |
| ILUSTRACIÓN 14: BOCETO POSICIÓN BATERÍAS. | 37 |
| ILUSTRACIÓN 15: CELDA DEL ACUMULADOR. | 37 |
| ILUSTRACIÓN 16: POSICIÓN FINAL BATERÍAS | 38 |
| ILUSTRACIÓN 17: BMS DEL PROTOTIPO..... | 38 |
| ILUSTRACIÓN 18: ESQUEMA CONEXIONADO BMS. | 39 |
| ILUSTRACIÓN 19: MOTOR..... | 39 |
| ILUSTRACIÓN 20: CONTROLADOR. | 40 |
| ILUSTRACIÓN 21: ETIQUETA DE ALTO VOLTAJE..... | 42 |
| ILUSTRACIÓN 22: UNIÓN ENTRE BORNES..... | 46 |
| ILUSTRACIÓN 23: SEPARACIÓN..... | 50 |
| ILUSTRACIÓN 24: CONTACTORES CONTROLADOS DIRECTAMENTE POR EL CIRCUITO DE DESCONEXIÓN | 53 |
| ILUSTRACIÓN 25: CIRCUITO DE DESCONEXIÓN – CONTACTORES CONTROLADOS DIRECTAMENTE POR EL CONTROLADOR. | 54 |
| ILUSTRACIÓN 26: EJEMPLO DE SETA DE EMERGENCIA..... | 55 |
| ILUSTRACIÓN 27: CELDAS ADQUIRIDAS PARA EL ACUMULADOR..... | 64 |
| ILUSTRACIÓN 28: CORTE PREVIO DE LA PESTAÑA PARA SU SOLDADURA..... | 64 |
| ILUSTRACIÓN 29: SOLDADURA TROZO DE COBRE INTERMEDIO PARA CUMPLIR NORMATIVA..... | 64 |
| ILUSTRACIÓN 30: COMPROBACIÓN DEL BUEN CONEXIONADO DE LAS CELDAS..... | 64 |
| ILUSTRACIÓN 31: BLOQUES DE CELDAS SOLDADOS. | 64 |

VI. Apéndices

| | |
|---|----|
| ILUSTRACIÓN 32: ROTOR DEL MOTOR..... | 65 |
| ILUSTRACIÓN 33: INERCIA LLANTA TRASERA. | 66 |
| ILUSTRACIÓN 34: INERCIA LLANTA TRASERA MODIFICADA. | 67 |
| ILUSTRACIÓN 35: INERCIA DE LA CORONA..... | 67 |
| ILUSTRACIÓN 36: INERCIA DEL NEUMÁTICO TRASERO..... | 68 |
| ILUSTRACIÓN 37: INERCIA NEUMÁTICO DELANTERO..... | 69 |
| ILUSTRACIÓN 38: INERCIA LLANTA DELANTERA. | 69 |
| ILUSTRACIÓN 39: COEFICIENTES AERODINÁMICOS. FUENTE: "MOTOCICLETAS. CHASIS" JOHN ROBINSON..... | 71 |
| ILUSTRACIÓN 40: PIÑÓN DEL PROTOTIPO. | 73 |
| ILUSTRACIÓN 41: DATOS FACILITADOS POR EL FABRICANTE DEL MOTOR..... | 74 |
| ILUSTRACIÓN 42:GRÁFICA MOTOR CALCULADA. | 75 |
| ILUSTRACIÓN 43: ESQUEMA DE SIMULINK..... | 76 |
| ILUSTRACIÓN 44: REALIZACIÓN EN AUTOCAD DEL CIRCUITO. | 78 |
| ILUSTRACIÓN 45: LONGITUD POLILÍNEA 1..... | 79 |
| ILUSTRACIÓN 46: LONGITUD POLILÍNEA 2..... | 79 |
| ILUSTRACIÓN 47: CIRCUITO CON LA TRAZADA IDEAL EN AMARILLO..... | 80 |
| ILUSTRACIÓN 48: SIMULACIÓN SIN FRENADAS. | 81 |
| ILUSTRACIÓN 49: BUSCAMOS LA POSICIÓN 530 CORRESPONDIENTE A LA T2. | 82 |
| ILUSTRACIÓN 50: VELOCIDAD PARA T IGUAL A 28.2..... | 83 |
| ILUSTRACIÓN 51: VELOCIDAD Y DISTANCIA RECORRIDA POR VUELTA. | 84 |
| ILUSTRACIÓN 52: RESULTADOS OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN..... | 86 |
| ILUSTRACIÓN 53:RESULTADO DE LA SIMULACIÓN..... | 86 |
| ILUSTRACIÓN 54: SIMULACIÓN CON TIEMPO ALEATORIO. | 87 |
| ILUSTRACIÓN 55:RESULTADOS FINALES..... | 87 |
| ILUSTRACIÓN 56: DEMANDA ENERGÉTICA PARA 8 VUELTAS. | 88 |
| ILUSTRACIÓN 57: POTENCIA DEMANDADA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO..... | 88 |

VI.4. LISTADO DE TABLAS

| | |
|--|----|
| TABLA 1. EN LA SIGUIENTE TABLA SE COMPARAN ALGUNOS MODELOS CON CADA UNO DE LOS MOTORES. | 14 |
| TABLA 2: COMPARATIVA DE DISTINTOS TIPOS DE BATERÍAS. | 19 |
| TABLA 3: COMPARATIVA TIPOS BATERÍAS DE LITIO..... | 63 |
| TABLA 4: CÁLCULO DE RESISTENCIA AERODINÁMICA. | 72 |
| TABLA 5: RADIOS DE GIRO POR CURVA..... | 80 |
| TABLA 6: CÁLCULO DE VELOCIDADES DE PASOS POR CURVA..... | 81 |
| TABLA 7: DISTANCIAS DE FRENADO..... | 83 |
| TABLA 8: PARÁMETROS ACUMULADOR..... | 89 |
| TABLA 9: RESUMEN ACUMULADOR..... | 91 |

VI. Apéndices

jhbb

ⁱ Libro: "Sapiens. De animales a dioses: Una breve historia de la humanidad"

ⁱⁱ <https://www.bbc.com/mundo/noticias-41728685>

ⁱⁱⁱ <https://www.muyhistoria.es/curiosidades/preguntas-respuestas/quien-invento-la-maquina-de-vapor-581523355689>

^{iv} <https://www.muyinteresante.es/curiosidades-motor/fotos/inventos-que-cambiaron-la-historia-del-automovil/2>

^v https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%81nyos_Jedlik

^{vi} https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/02/130215_coches_vapor_ap

^{vii} <https://stocklocator.volkswagen.es/polo>

^{viii} <https://www.renault.es/electricos/zoe/datos-tecnicos.html>

^{ix} <https://www.hyundai.es/gamaioniq/>

xi

xii

xiii

xiv

xv

xvi

xvii

xviii

xix

xx

xxi

xxii

xxiii

xxiv

xxv

xxvi

xxvii

xxviii

xxix

xxx

xxxi