



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para
vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia
máxima 700W.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de la Energía

AUTOR/A: Llopis García, Álvaro

Tutor/a: Llovera Segovia, Pedro

Cotutor/a: González Medina, Raúl

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

RESUMEN

A lo largo del siguiente proyecto se describe el diseño, la construcción y la puesta en marcha de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W. El objetivo del banco es medir el par entregado por la rueda al banco, la velocidad de la rueda y el rendimiento del patinete desde la batería.

Se detalla el diseño mediante SolidWorks de cada una de las piezas que constituyen este montaje y por qué se han elegido las que componen el montaje final. Posteriormente se explica paso a paso el montaje de este y la justificación de los materiales que se han usado. Cabe destacar que algunas piezas han sido diseñadas e impresas en 3D en el material PLA, se detalla el procedimiento que se ha seguido para conseguir un diseño que resulte óptimo tanto para ser impreso como para poner el montaje en marcha de forma efectiva y segura.

Se realizan diferentes ensayos para la caracterización de las pérdidas del banco de ensayos mediante un motor de inducción, un generador de continua y el mismo montaje además de los equipos de medida necesarios como tacómetro, voltímetros, amperímetros, analizador de redes y osciloscopio.

Finalmente se ensayará un patinete eléctrico de 250W de potencia y obtendremos parámetros como par y rendimiento para diferentes modos de funcionamiento.

Palabras Clave: Banco de ensayos, patinete eléctrico, vehículo de movilidad personal.

RESUM

Al llarg del següent projecte es descriu el disseny, la construcció i la posada en marxa d'un banc d'assajos electromecànics per a vehicles elèctrics de mobilitat personal de potència màxima 700W. L'objectiu del banc és mesurar el parell entregat per la roda al banc, la velocitat de la roda i el rendiment del patinet des de la bateria.

Es detalla el disseny mitjançant SolidWorks de cadascuna de les peces que constitueixen este muntatge i per què s'han triat les que componen el muntatge final. Posteriorment s'explica pas a pas el muntatge d'este i la justificació dels materials que s'han usat. Cal destacar que algunes peces han sigut dissenyades i impreses en 3D en el material PLA, es detalla el procediment que s'ha seguit per a aconseguir un disseny que resulte òptim tant per a ser imprès com per a posar el muntatge en marxa de manera efectiva i segura.

Es realitzen diferents assajos per a la caracterització de les pèrdues del banc d'assajos mitjançant un motor d'inducció, un generador de contínua i el mateix muntatge a més dels equips de mesura necessaris com a tacòmetre, voltímetres, amperímetres, analitzador de xarxes i oscil·loscopi.

Finalment s'assajarà un patinet elèctric de 250W de potència i obtindrem paràmetres com a parell i rendiment per a diferents modes de funcionament.

Paraules Clau: Banc d'assajos, patinet elèctric, vehicle de mobilitat personal.

ABSTRACT

The following project describes the design, construction and commissioning of an electromechanical test bench for personal mobility electric vehicles with a maximum power of 700W. The aim of the bench is to measure the torque delivered by the wheel to the bench, the wheel speed and the performance of the scooter from the battery.

The design using SolidWorks of each of the parts that make up this assembly and why the parts that make up the final assembly have been chosen are detailed. Subsequently, a step-by-step explanation of the assembly and the justification of the materials that have been used is given. It should be noted that some parts have been designed and 3D printed in PLA material, and the procedure followed to achieve a design that is optimal both for printing and for setting up the assembly effectively and safely is detailed.

Different tests are carried out to characterize the losses of the test bench using an induction motor, a DC generator and the assembly itself, as well as the necessary measuring equipment such as a tachometer, voltmeters, ammeters, a network analyzer and an oscilloscope.

Finally, a 250W electric scooter will be tested and we will obtain parameters such as torque and performance for different operating modes.

Keywords: Test bench, electric scooter, personal mobility vehicle.

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG:

- Memoria
- Planos
- Presupuesto

ÍNDICE DE LA MEMORIA:

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO	1
CAPÍTULO 2. DISEÑO Y MONTAJE	2
2.1 ESTRUCTURA	4
2.2 PIEZA ACOPLE MONTAJE-MÁQUINA	4
2.3 RUEDAS	7
2.3.1 RUEDA DEL EJE PRIMARIO	7
2.3.1 RUEDA DEL EJE SECUNDARIO	11
2.4 EJES	12
2.5 RODAMIENTOS CON SOPORTE	14
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN	15
3.1 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS RODAMIENTOS	15
3.2 PÉRDIDAS POR LA RESISTENCIA DEL ROTOR DEL GENERADOR DE CONTINUA	18
3.3 PÉRDIDAS POR ROZAMIENTO, VENTILACIÓN Y EN EL HIERRO DEL GENERADOR DE CONTINUA	19
3.4 TABLA RESUMEN DE PÉRDIDAS	23
CAPÍTULO 4. PRIMER ENSAYO CON PATINETE ELÉCTRICO	25
4.1 PRIMER ENSAYO	25
4.2 DATOS QUE SE OBTIENEN DEL PRIMER ENSAYO	27
4.3 PÉRDIDAS TOTALES	27
4.4 CÁLCULO DE PARÁMETROS	28
4.5 CONCLUSIÓN DEL PRIMER ENSAYO	28
CAPÍTULO 5. SEGUNDO ENSAYO CON PATINETE ELÉCTRICO	29
5.1 SEGUNDO ENSAYO	30
5.2 RESULTADOS DEL SEGUNDO ENSAYO	32

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

5.2.1 Tabla de velocidades:	33
5.2.2 Tabla de potencias batería	33
5.2.3 Tabla de par	33
5.2.4 Tabla de rendimiento	34
5.3 CONCLUSIÓN DEL SEGUNDO ENSAYO	34
CAPÍTULO 6. CÁLCULOS CON PYTHON	36
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES	45

ÍNDICE DE LOS ANEXOS:

ANEXO 1: PLANOS

ANEXO 2: PRESUPUESTO

ÍNDICE DE LOS ILUSTRACIONES:

Ilustración 1: Diseño montaje en SolidWorks	2
Ilustración 2: Montaje final	3
Ilustración 3: Escuadra	4
Ilustración 4: Engranaje acoples máquinas.....	5
Ilustración 5: Pieza acople montaje-máquina en SolidWorks 1.....	5
Ilustración 6: Pieza acople montaje-máquina en SolidWorks 2.....	5
Ilustración 7: Pieza acople montaje-máquina impresa	6
Ilustración 8: Pieza acople montaje-máquina impresa	6
Ilustración 9: Rueda principal entera SolidWorks.....	7
Ilustración 10: Rueda principal por partes SolidWorks.....	8
Ilustración 11: Rueda principal por partes impresa 1	8
Ilustración 12: Rueda principal por partes impresa 2	9
Ilustración 13: Rueda principal entera impresa	9
Ilustración 14: Ficha de datos rueda secundaria.....	11
Ilustración 15: Rueda secundaria	12
Ilustración 16: Ejes	12
Ilustración 17: Encaje pieza acople con el eje 1.....	13
Ilustración 18: Encaje pieza acople con el eje 2.....	13
Ilustración 19: Encaje rueda principal con el eje 1.....	14
Ilustración 20: Encaje rueda principal con el eje 2.....	14
Ilustración 21: Rodamiento con soporte.....	14
Ilustración 22: Ensayo cálculo de pérdidas en los rodamientos	15
Ilustración 23: Ensayo con el patinete	25
Ilustración 24: app m365.....	26
Ilustración 25: Patinete eléctrico con equipos de medida a la salida de la batería 1.....	29
Ilustración 26: Patinete eléctrico con equipos de medida a la salida de la batería 2.....	30
Ilustración 27: Marcas en el acelerador del patinete eléctrico.....	31
Ilustración 28: Visualización de PicoScope.....	32

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Velocidad máxima que podría alcanzar vehículo en función de la rueda del montaje.	10
Tabla 2: Motor de inducción sin el montaje acoplado.....	16
Tabla 3: Motor de inducción con el montaje acoplado	16
Tabla 4: Pérdidas por rozamiento	17
Tabla 5: Motor de inducción + generador de continua en vacío con $I_{exc}=0,5A$	20
Tabla 6: Motor de inducción + generador de continua en vacío con $I_{exc}=1,0A$	20
Tabla 7: Motor de inducción + generador de continua en vacío con $I_{exc}=1,5A$	20
Tabla 8: Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=0,5 A$).....	21
Tabla 9: Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=1,0 A$).....	21
Tabla 10: Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=1,5 A$).....	21
Tabla 11: Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=2,0 A$).....	22
Tabla 12: Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=2,5 A$).....	22
Tabla 13: Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=3,0 A$).....	22
Tabla 14: Fórmulas para calcular pérdidas.....	24
Tabla 15: Datos obtenidos del ensayo	27
Tabla 16: Fórmulas para calcular pérdidas 2.....	27
Tabla 17: Pérdidas totales	27
Tabla 18: Cálculo de parámetros.....	28
Tabla 19: Puntos de funcionamiento del banco	32
Tabla 20: Velocidades (*) Velocidad en la rueda del patinete no en el generador	33
Tabla 21: Potencia en la batería.....	33
Tabla 22: Par.....	33
Tabla 23: Rendimiento	34
Tabla 24: Tabla de rendimientos en función del par y la velocidad.....	35

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

ÍNDICE DE GRÁFICAS:

Gráfica 1: Curvas potencia-velocidad del motor de inducción	17
Gráfica 2: Pérdidas en los rodamientos	18
Gráfica 3: Caracterización de la R del rotor	19
Gráfica 4: Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro según la corriente de excitación	23

ÍNDICE DEL CÓDIGO:

código 1: Importación de librerías	36
código 2: Lectura de los datos de PicoScope e importación en DataFrames	37
código 3: Visualización de un DataFrame	37
código 4: Borrado de la primera fila de todos los DataFrames.....	38
código 5: Transformación de los datos a valores numéricos	38
código 6: Media de los datos	39
código 7: Creación de las variables con las velocidades	39
código 8: : Creación de las variables con las corrientes de excitación.....	40
código 9: Función de pérdidas en los rodamientos	40
código 10: Función de pérdidas en el cobre	40
código 11: Función de pérdidas por ventilación, rozamiento y en el hierro del generador de continua	41
código 12: Función para calcular el par	41
código 13: Función para calcular el rendimiento.....	41
código 14: Cálculo del par en todos los puntos	41
código 15: Cálculo del rendimiento en todos los puntos.....	42
código 16: Creación de tabla de velocidades.....	42
código 17: Visualización de la tabla de velocidades	42
código 18: Creación de tabla de potencia en la batería.....	43
código 19: Visualización de la tabla de potencia en la batería	43
código 20: Creación de tabla de par.....	43
código 21: Visualización de la tabla de par	44
código 22: Creación de tabla de rendimientos	44
código 23: Visualización de la tabla de rendimiento	44

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTUALIZACIÓN

En los últimos años, el panorama de la movilidad urbana ha experimentado transformaciones en términos de movilidad. Esto ha sido impulsado tanto por factores medioambientales, económicos como por avances tecnológicos.

En un entorno como el actual entra en juego el patinete eléctrico, una opción cada vez más aceptada por aquellos que buscan alternativas ecológicas, eficientes, económicas y ágiles para la movilidad dentro de entornos urbanos.

Un aumento en el uso de este tipo de vehículos de movilidad personal sugiere importantes desafíos en cuanto su diseño y optimización, en particular, en lo referente a parámetros como el par, y el rendimiento en función de la velocidad y de la carga mecánica.

En este sentido, para la investigación de todos estos parámetros se presenta el banco de ensayos diseñado.

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo principal de este TFG es diseñar, desarrollar y poner en marcha un banco de ensayos para la medición y evaluación de diferentes parámetros de los patinetes eléctricos. Para lograr este objetivo, se va a concebir y diseñar el banco de ensayos, construirlo físicamente, validar su funcionamiento y hacer pruebas con un patinete eléctrico para corroborar su funcionamiento.

El objetivo del montaje es:

- Medir el par entregado en la rueda del patinete.
- Medir la velocidad de giro.
- Controlar el par de frenado del sistema.
- Calcular el rendimiento a la salida de la batería.

Este estudio busca contribuir al avance en la investigación de distintos parámetros de los patinetes eléctricos con el objetivo de tener un conocimiento de estos. También servir de antecedente a futuros estudios de optimización de los patinetes tanto para obtener mejoras en el funcionamiento de este, como para mejoras en cuanto ahorro energético o para estudios comparativos entre diferentes modelos.

Cabe destacar que el banco de ensayos cumple la función de servir no únicamente para ensayos con patinetes eléctricos, sino que el mismo diseño, haciendo las modificaciones pertinentes en el sistema de sujeción, se podría utilizar para hacer ensayos con otro tipo de vehículos no muy pesados. Siempre y cuando se aseguren unas condiciones de seguridad tanto para los elementos de los ensayos como para las personas que se encuentren alrededor.

CAPÍTULO 2. DISEÑO Y MONTAJE

Una vez establecidos los objetivos hay que diseñar un banco de ensayos que nos permita obtener los parámetros para realizar los cálculos necesarios:

- Para medir el par entregado en la rueda del patinete acoplaremos la rueda a un sistema de rodillos y de frenada que soporte los esfuerzos mecánicos.
- Para que el sistema sea mas estable el sistema de rodillos contará con dos rodillos.
- Para medir la velocidad de giro de la rueda haremos uso de un tacómetro.
- Para controlar el par de frenado del sistema se diseña una carga variable eléctrica a través de un generador, en este caso, de continua.
- Para calcular el rendimiento a la salida de la batería se medirá corriente y tensión a la salida de la batería, posible uso de las aplicaciones con comunicación bluetooth con el patinete.
- Para que el patinete esté sujeto y no haya movimientos indeseados se dotará al sistema de un sistema de sujeción.

En primer lugar, se comenta cómo es el montaje general para posteriormente hacer una revisión de este, pieza por pieza, explicando el porqué de ciertos aspectos importantes y determinando los puntos de unión entre estas.

Se busca un banco que nos asegure cierta durabilidad para poder realizar tantos ensayos como sea necesario para este TFG, así como poder utilizarlo para realizar otro tipo de ensayos con otras finalidades en un futuro.

El diseño final del montaje será el siguiente:



Ilustración 1: Diseño montaje en SolidWorks

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.



Ilustración 2: Montaje final

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

2.1 ESTRUCTURA

La estructura deberá ser suficientemente robusta como para aguantar todos los ensayos a los que se someta, deberá garantizar la seguridad tanto del patinete como de los equipos y por supuesto de las personas que hagan uso de este. Como se puede ver en la figura 1, la estructura del montaje se realizará con perfiles de aluminio, en este caso se usarán de 40x40mm, estos perfiles aportarán robustez, así como flexibilidad a la hora de modificar el montaje en un futuro si así se quisiese. Van unidos por escuadras (figura 3) lo que permite cambiar la posición de estos aportando la flexibilidad que se comentaba anteriormente.

Se necesitarán 7 perfiles de 400 mm de longitud y otros 4 de 52mm de longitud cada uno.

En cuanto a los de 400mm: 2 harán de base, 2 harán la función de dar apoyo a los rodamientos con soporte, y los 3 restantes tendrán la función de fijar el patinete para evitan movimientos laterales indeseados.

En cuanto a los de 52mm: Tendrán la función de elevar el montaje de forma que el eje principal quede a una altura adecuada para poder acoplarlo correctamente a la máquina que se ocupará de generar el par resistente, en este caso, un generador de continua del laboratorio de Electrotecnia Caminos del Departamento de Ingeniería Eléctrica. Además, se acoplará también un motor de inducción que servirá como máquina auxiliar para evaluar las pérdidas mecánicas del banco.



Ilustración 3: Escuadra

2.2 PIEZA ACOPLE MONTAJE-MÁQUINA

Para realizar el diseño del montaje se tiene en cuenta en primer lugar cuales van a ser las máquinas que se utilizarán en los ensayos que se realicen, ya que es primordial poder acoplar perfectamente el montaje a las máquinas que se utilicen. Estas máquinas son un motor de inducción y un generador de continua, las cuales se verán con más detalle en capítulos posteriores, por el momento lo que se ha de tener en cuenta es el acople que unirá el montaje con estas máquinas. Ambas máquinas constan de acoplamientos de plástico para laboratorios didácticos de la marca Alecoop.

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.



Ilustración 4: Engranaje acoples máquinas

Como se puede ver en la imagen hay que acoplar el montaje a las máquinas mediante un engranaje hembra cuyo centro esté a una altura de unos 165 mm. Para que esto sea posible la estructura deberá tener una altura adecuada como veremos más adelante, y el componente que se utilizará para hacer el acople que se diseñó mediante el software SolidWorks será el siguiente:

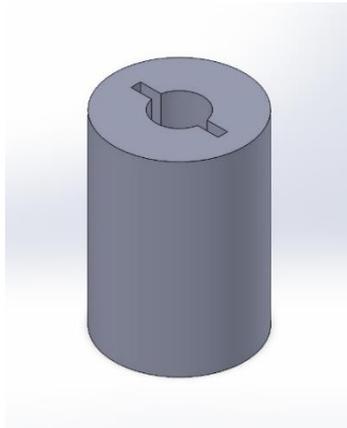


Ilustración 5: Pieza acople montaje-máquina en SolidWorks 1

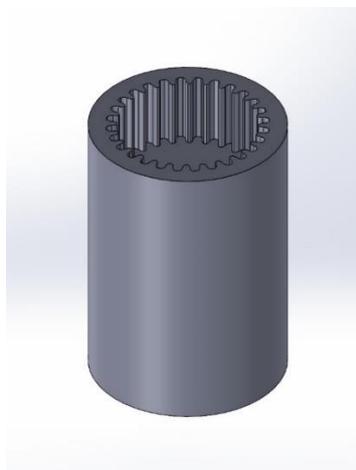


Ilustración 6: Pieza acople montaje-máquina en SolidWorks 2

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

Como se ve en la imagen, por un lado, el acople deberá tener el engranaje que permita el acople con las máquinas anteriormente comentadas y por otro lado deberá ir bien sujeto al eje, esta unión se verá más adelante.

Para poder disponer de este componente tal y como se ha diseñado recurrimos a la impresión en 3D del mismo, se imprimirá con el material PLA debido a su disponibilidad y su versatilidad. Para que resulte un componente con cierta resistencia y que sea duradero se le aplicará un relleno elevado a la hora de imprimir la pieza.



Ilustración 7: Pieza acople montaje-máquina impresa



Ilustración 8: Pieza acople montaje-máquina impresa

2.3 RUEDAS

Estará dispuesto de dos ruedas, una que haga girar el eje principal y otra que haga girar el eje secundario. Diferenciando entre el eje principal que es el que hará girar las máquinas que se requieran en cada ensayo y que permitirá determinar los parámetros que interesen y el eje secundario que servirá únicamente para proporcionar estabilidad.

2.3.1 RUEDA DEL EJE PRIMARIO

Para ello se diseña una rueda con el software SolidWorks que cumpla con las características que interesan, esta se dispondrá en el eje principal:

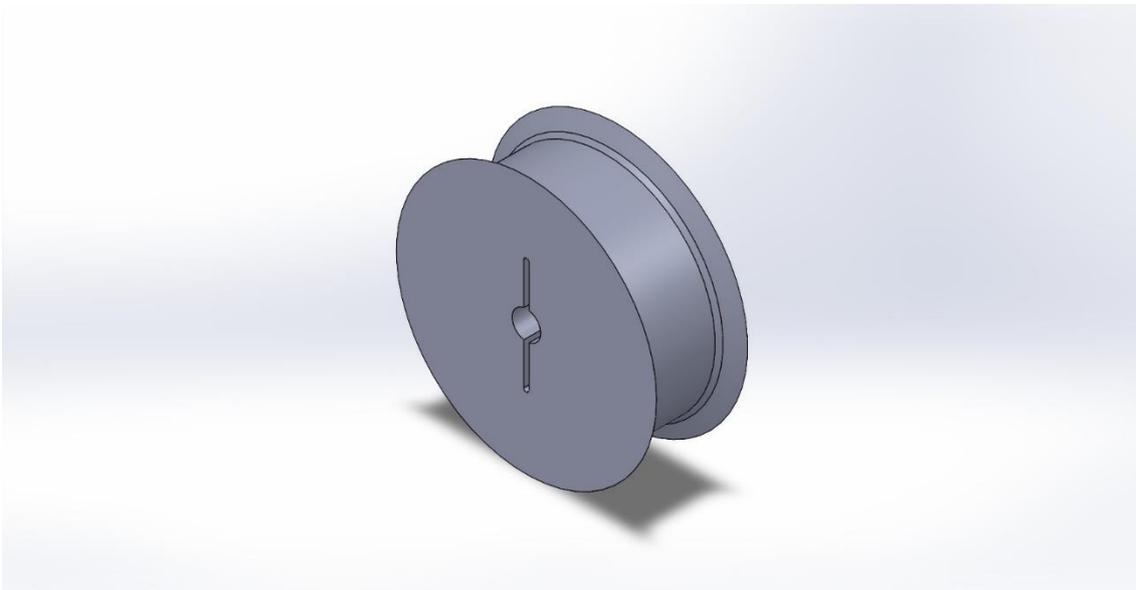


Ilustración 9: Rueda principal entera SolidWorks

Esta rueda tendrá un diámetro de 170 mm, en los laterales dispone de una extensión que permite aportar una seguridad extra para que en caso de que el patinete se desestabilice reconduzca el patinete y no salga disparado provocando daños tanto al mismo montaje como a los equipos que se utilizan como a aquellas personas que se encuentren cerca. También dispondrá en la parte central de un agujero pasante con la forma que vemos en la imagen para poder anclar el eje de forma estable y segura.

A la hora de llevar a cabo la impresión en 3D se realizan unas modificaciones en la rueda del eje principal por comodidad y precisión a la hora de imprimir que para nada afectarán al correcto funcionamiento del montaje.

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

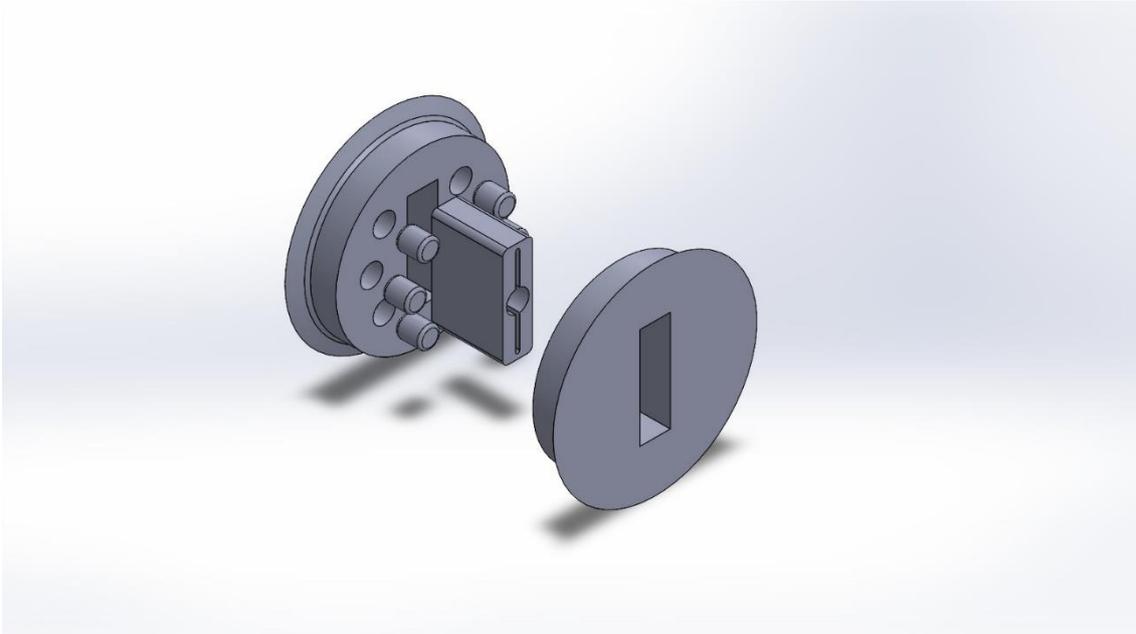


Ilustración 10: Rueda principal por partes SolidWorks

Esta rueda se dividirá en tres piezas como se ve en la imagen, las dos piezas grandes tendrán pequeños hundimientos que permitirán mediante unos tacos también impresos en 3D la unión de las dos piezas a presión.

En cuanto a la pieza central que también irá unida por presión al resto del componente tendrá la función de seguridad y de optimización, al ser el elemento que más esfuerzos va a sufrir, en caso de que se rompa o haya que modificar la unión de este componente no será necesario modificar y volver a imprimir todo el componente, sino que únicamente habría que modificar y volver a imprimir esta pieza.

En este caso dichas piezas serán impresas en 3D al igual que piezas anteriores por los motivos anteriormente expuestos.



Ilustración 11: Rueda principal por partes impresa 1

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

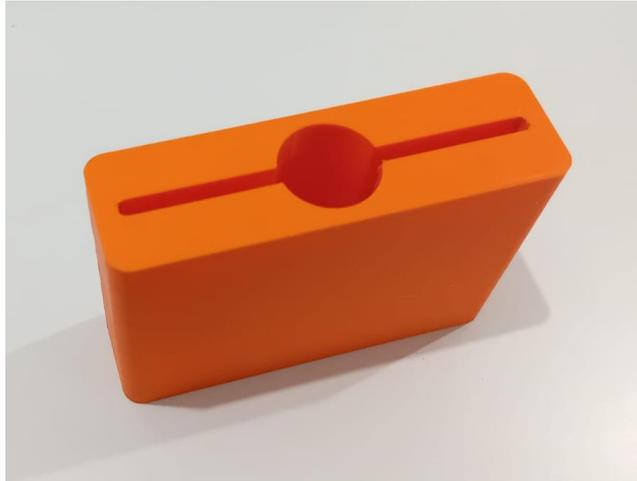


Ilustración 12: Rueda principal por partes impresa 2

Las ruedas del montaje deben ofrecer un agarre adecuado para que la rueda del patinete no deslice sobre esta, y para ello se le ha adherido una banda de rodadura que tenga un buen agarre.

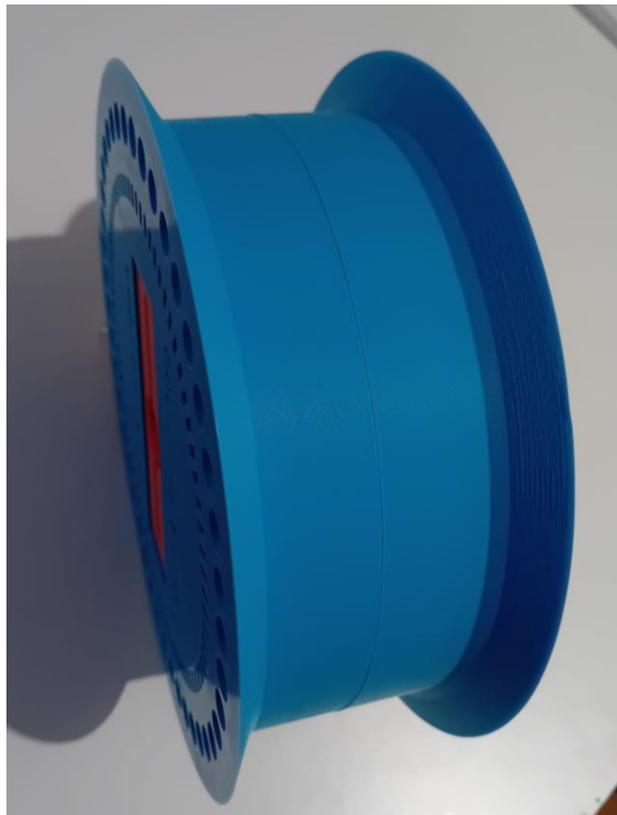


Ilustración 13: Rueda principal entera impresa

Cabe destacar que para el diseño de la rueda del eje primario hemos tenido en cuenta que el generador de continua tiene una velocidad nominal de 1500 rpm, para asegurarnos a la hora de realizar los cálculos tomaremos una velocidad de 1400 rpm en su lugar.

Tomando la relación entre la rueda del patinete y la rueda del montaje podemos calcular:

Velocidad máxima que podría alcanzar vehículo en función de la rueda del montaje para un motor de 1400 rpm		
ω (rpm)	velocidad máxima (km/h)	radio (cm)
1400	163,61	31
1400	158,34	30
1400	153,06	29
1400	147,78	28
1400	142,50	27
1400	137,22	26
1400	131,95	25
1400	126,67	24
1400	121,39	23
1400	116,11	22
1400	110,84	21
1400	105,56	20
1400	100,28	19
1400	95,00	18
1400	89,72	17
1400	84,45	16
1400	79,17	15
1400	73,89	14
1400	68,61	13
1400	63,33	12
1400	58,06	11
1400	52,78	10
1400	47,50	9
1400	42,22	8
1400	36,95	7
1400	31,67	6
1400	26,39	5
1400	21,11	4
1400	15,83	3

Tabla 1: Velocidad máxima que podría alcanzar vehículo en función de la rueda del montaje

Tomando una velocidad de 1400 rpm para que el generador pueda funcionar de forma segura como hemos comentado anteriormente, en función de un supuesto radio de la rueda del eje principal que empieza con 31cm y va descendiendo hasta 3cm, se calcula la velocidad máxima a la que podría ir el patinete.

Hay que considerar que un patinete en unas condiciones de funcionamiento normal irá a una velocidad de 25 Km/h porque así está legislado. A pesar de esto tomaremos un radio para el diseño de la rueda que nos permita que el patinete alcance velocidades mucho más altas, ya que a día de hoy es usual encontrar patinetes que alcanzan velocidades mucho más elevadas.

Para asegurar que este banco de ensayos también pueda servir para patinetes que alcancen altas velocidades diseñaremos la rueda del eje principal con un radio de 17cm, lo que supone

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

que la velocidad máxima que debería alcanzar el patinete cuando esté en el banco de ensayos debe ser de aproximadamente 90 km/h, lo cual deja margen suficiente.

2.3.1 RUEDA DEL EJE SECUNDARIO

Para la rueda del eje secundario, al tener una función únicamente de estabilidad no ha sido impresa en 3D, para esta se han buscado una que fuese adecuada en cuanto a medidas, para ello las características más importantes han sido un diámetro interior del eje de 20mm, un diámetro externo de la rueda de 200mm aproximadamente. Por último, que la anchura de la misma fuese suficiente como para que el patinete pueda rodar por esta sin desviarse y que suponga un problema.

Las características de la misma seleccionada las encontramos en la siguiente imagen:

FICHA DE DATOS

 DIÁMETRO DE LA RUEDA EN MM	200
 CAPACIDAD DE CARGA EN KILOS 	100
 MATERIAL DE VENDAJE	PVC
 TIPO DE RODAMIENTO	Cubo liso
 TALADRO	20
 ANCHO DEL VENDAJE EN MM	40
 LONGITUD DEL CUBO EN MM	60

Ilustración 14: Ficha de datos rueda secundaria

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.



Ilustración 15: Rueda secundaria

2.4 EJES

En cuanto a los ejes, se hace uso de tubos de aluminio circulares de 20 mm de diámetro exterior y 1,5mm de espesor como el que vemos en la siguiente imagen. Para el eje secundario se usa uno de 200mm de longitud y para el eje primario se utiliza otro de 400mm de longitud

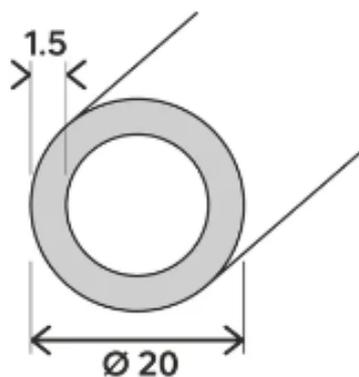


Ilustración 16: Ejes

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

el eje secundario no ha sido sometido a grandes mecanizaciones ya que este únicamente está anclado a la rueda secundaria mediante una pasante teniendo que hacer una perforación en el eje

En el eje primario sí que ha sido sometido a dos mecanizaciones importantes para poder anclar los componentes necesarios al eje:

-En primer lugar, en el extremo del eje para poder anclar la pieza acople montaje-máquina, el cual consiste en una lámina de acero de 35x15mm y un espesor de 2mm que atraviesa el eje a modo de pasante para que este se pueda enganchar a la pieza y que permita su giro de forma efectiva y sin someter a ninguno de los elementos a excesivos esfuerzos. Como vemos en la imagen:

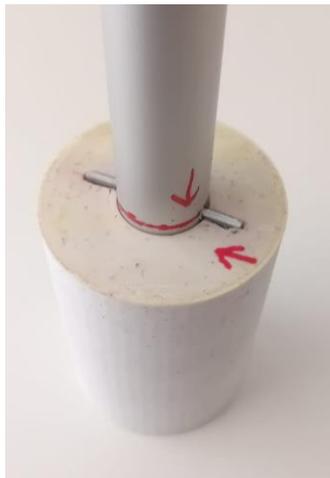


Ilustración 17: Encaje pieza acople con el eje 1



Ilustración 18: Encaje pieza acople con el eje 2

-Por otro lado, tenemos que anclar la rueda principal al eje, se realizará de una forma muy similar a como se ha hecho en el caso anterior, se utilizarán dos láminas de aluminio de 90x70mm y de espesor 1,5mm apiladas una encima de otra para simular una con las mismas dimensiones, pero de 3mm de diámetro. Se pondrán a modo de pasante en el eje y se acoplará a la pieza correspondiente de la rueda principal tal y como vemos en la imagen:

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.



Ilustración 19: Encaje rueda principal con el eje 1

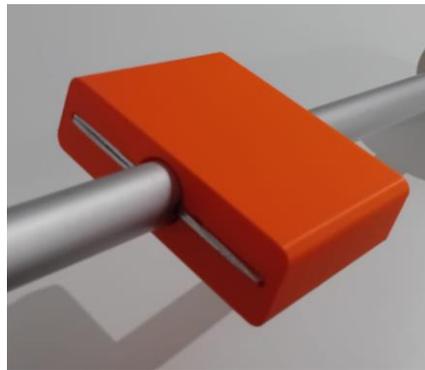


Ilustración 20: Encaje rueda principal con el eje 2

Cabe destacar que se tenía también un diseño para un eje macizo de acero con chaveteros normalizados, pero debido al presupuesto y los plazos de ejecución, se ha preferido esta solución como primera versión del banco de ensayos.

2.5 RODAMIENTOS CON SOPORTE

Para una correcta rodadura de los ejes se dispone de unos rodamientos con soporte, fácilmente acoplables a los perfiles de aluminio con tornillos, estos deberán tener un diámetro interior de 20mm, que corresponde al diámetro de los ejes. Se requerirán 4 de estos, 2 para cada eje.



Ilustración 21: Rodamiento con soporte

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN

Se empezará el estudio calculando las diferentes pérdidas que tiene el banco de ensayos, para ello se ha diferenciado entre las pérdidas en los rodamientos, pérdidas por rozamiento, ventilación y en el hierro, pérdidas en el cobre y pérdidas en la carga.

3.1 CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS RODAMIENTOS

En primer lugar, se analizan las pérdidas en los rodamientos, para ello se conecta un motor de inducción a una corriente alterna de 230V y se pone en marcha en vacío. Se hará uso de un variador de frecuencia para poder variar la velocidad del motor midiéndola con un tacómetro, y también se hará uso de un analizador de redes para poder visualizar la potencia y la corriente, que son los parámetros que nos interesa saber.



Ilustración 22: Ensayo cálculo de pérdidas en los rodamientos

Los datos que se obtienen poniendo en marcha el motor sin acoplarlo al montaje son los siguientes:

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

Motor de inducción sin el montaje acoplado		
ω (rpm)	P (W)	I (A)
149	30	1,7
299	53	2,1
449	66	2,2
599	77	2,3
749	86	2,3
898	96	2,3
1048	105	2,3

Tabla 2: Motor de inducción sin el montaje acoplado

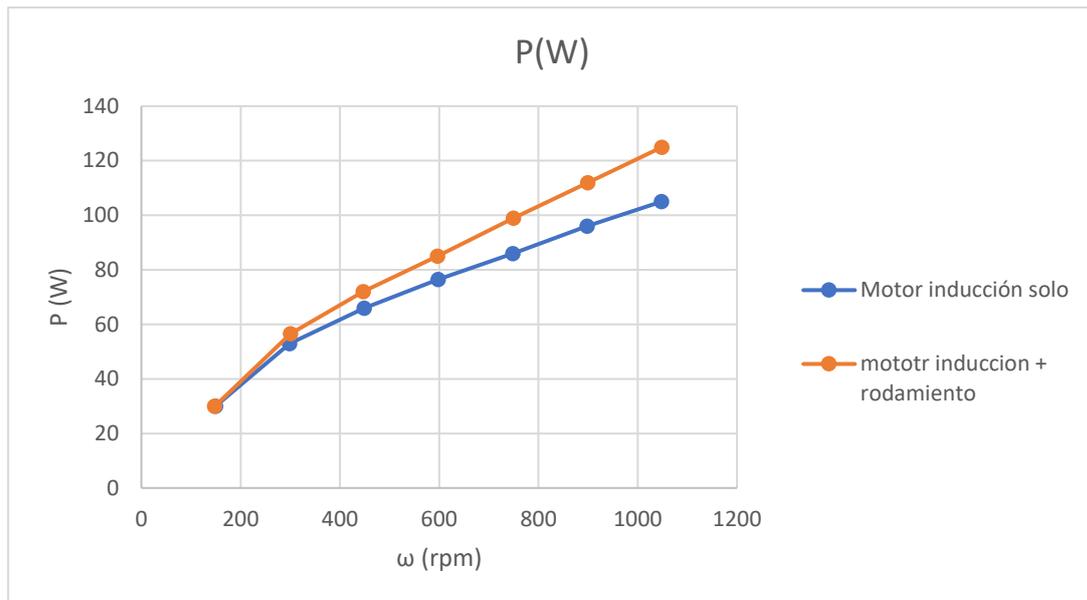
En segundo lugar, se hace el mismo ensayo que antes, pero acoplándolo al montaje y los datos que resultan son los siguientes:

Motor de inducción con el montaje acoplado		
ω (rpm)	P (W)	I (A)
148	30	1,6
301	57	2,1
447	72	2,2
597	85	2,2
750	99	2,3
899	112	2,3
1049	125	2,3

Tabla 3: Motor de inducción con el montaje acoplado

Se grafican estos datos para compararlos y lo que se observa es que a medida que sube la velocidad el ensayo con el montaje acoplado consume más potencia, esto significa que a mayor velocidad hay más pérdidas en los rodamientos.

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.



Gráfica 1: Curvas potencia-velocidad del motor de inducción

Restando la potencia que requiere el motor de inducción sin el montaje acoplado a la potencia con el montaje acoplado tendremos la potencia que consumen los rodamientos, es decir, sus pérdidas, hay que destacar que estas pérdidas son únicamente de dos de los rodamientos de los 4 en total que hay en el montaje, por lo que será necesario a la hora de calcular las pérdidas por rozamiento multiplicarlos por 2. (tabla 3):

Perdidas por rozamiento	
ω (rpm)	P(W)
149	0
300	4
448	6
598	9
749	13
899	16
1049	20

Tabla 4: Pérdidas por rozamiento

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

Lo observamos de forma gráfica:



Gráfica 2: Pérdidas en los rodamientos

De la cual se ha calculado mediante herramientas de Excel la siguiente ecuación que aproxima la curva, $y = 0,0219x - 3,5057$ con una $R^2 = 0,9936$.

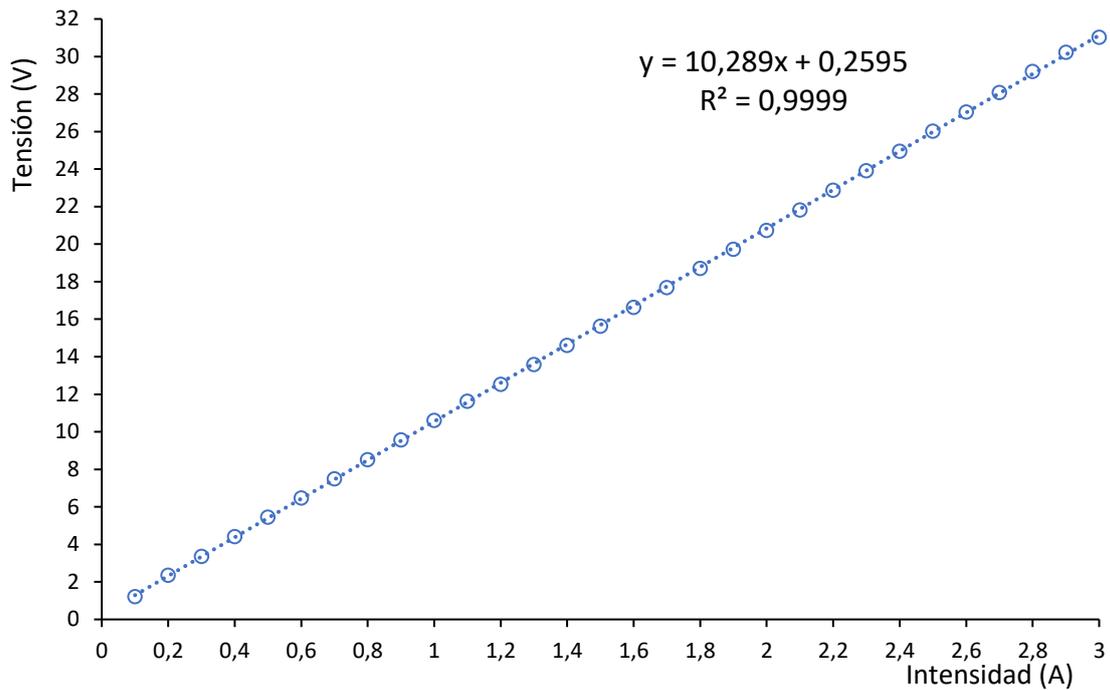
3.2 PÉRDIDAS POR LA RESISTENCIA DEL ROTOR DEL GENERADOR DE CONTINUA

A continuación, se mide la R en el rotor del generador de continua, para posteriormente calcular las pérdidas en el cobre, este generador de continua será el que se utilizará para los ensayos de caracterización del patinete.

Para ello se ha conectado el generador a una fuente de continua que nos va a permitir regular la corriente desde 0 hasta 3 amperios en intervalos de 0,5. Se fija la corriente y la fuente regula la tensión

Se mide la tensión y la intensidad en el rotor del generador, con el rotor parado. Se han realizado las medidas para 3 posiciones del rotor y se han promediado los valores. Los datos obtenidos al realizar este ensayo son:

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.



Gráfica 3: Caracterización de la R del rotor

Prolongando la recta hasta el eje de ordenadas, se obtiene un valor de 0,26 V que es la tensión asociada a las escobillas. Se tiene una tensión en las escobillas que se considera constante de 0,26 V y una resistencia del rotor de 10,3 Ω , con esto se puede determinar las pérdidas en el rotor mediante la ecuación: $P_{rotor} = 10,3 \cdot I^2 + 0,26 \cdot I$

3.3 PÉRDIDAS POR ROZAMIENTO, VENTILACIÓN Y EN EL HIERRO DEL GENERADOR DE CONTINUA

Ahora se calculan las pérdidas por rozamiento, ventilación y en el hierro del generador de continua, para ello acoplaremos el generador de continua directamente al motor de inducción, cuyas pérdidas ya se han calculado anteriormente. Induciéndole una corriente de excitación desde 0,5 A 1,0 A y 1,5 A. Para los valores de corriente de excitación de 2,0 A, 2,5 A, 3,0 A los calcularemos mediante iteraciones ya que estas no se han podido medir en el laboratorio.

Para este ensayo se alimenta el motor de inducción con una tensión de 230V y también haremos uso, como en ensayos anteriores, de un analizador de redes para tomar las medidas oportunas, un variador de frecuencia para poder regular la velocidad y un tacómetro para medir esta velocidad.

Los resultados que se obtienen de este ensayo son la potencia que están consumiendo las dos máquinas:

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

Motor de inducción + generador de continua en vacío $I_{exc}=0,5A$		
ω (rpm)	P(W)	I(A)
148,6	30	1,62
298,1	55	2,08
447,9	71	2,21
598	83	2,25
747,5	95	2,28
897	106	2,29
1047	117	2,31

Tabla 5: Motor de inducción + generador de continua en vacío con $I_{exc}=0,5A$

Motor de inducción + generador de continua en vacío $I_{exc}=1A$		
ω (rpm)	P(W)	I(A)
148	30	1,6
298	55	2,1
448	72	2,2
597	85	2,3
747	98	2,3
897	110	2,3
1049	123	2,3

Tabla 6: Motor de inducción + generador de continua en vacío con $I_{exc}=1,0A$

Motor de inducción + generador de continua en vacío con $I_{exc}=1,5A$		
ω (rpm)	P(W)	I(A)
150	31	1,6
297	57	2,1
447	74	2,2
598	87	2,2
747	101	2,3
897	114	2,3
1046	127	2,3

Tabla 7: Motor de inducción + generador de continua en vacío con $I_{exc}=1,5A$

Lo que se ha de hacer ahora para poder calcular las pérdidas por rozamiento, ventilación y en el hierro del generador de continua es, con los datos que se acaban de obtener, restarle la potencia que consume el motor de inducción, lo que queda:

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=0,5$ A)	
Ω (rpm)	P(W)
149	0
298	2
448	5
598	7
748	9
897	10
1047	12

Tabla 8: Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=0,5$ A)

Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=1$ A)	
Ω (rpm)	P(W)
148	0
298	2
448	6
597	9
747	12
897	14
1049	18

Tabla 9: Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=1,0$ A)

Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=1,5$ A)	
Ω (rpm)	P(W)
150	1
297	4
447	8
598	11
747	15
897	18
1046	22

Tabla 10: Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=1,5$ A)

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=2\text{ A}$)	
Ω (rpm)	P(W)
149	2
298	6
448	10
598	13
747	18
897	22
1047	26

Tabla 11: Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=2,0\text{ A}$)

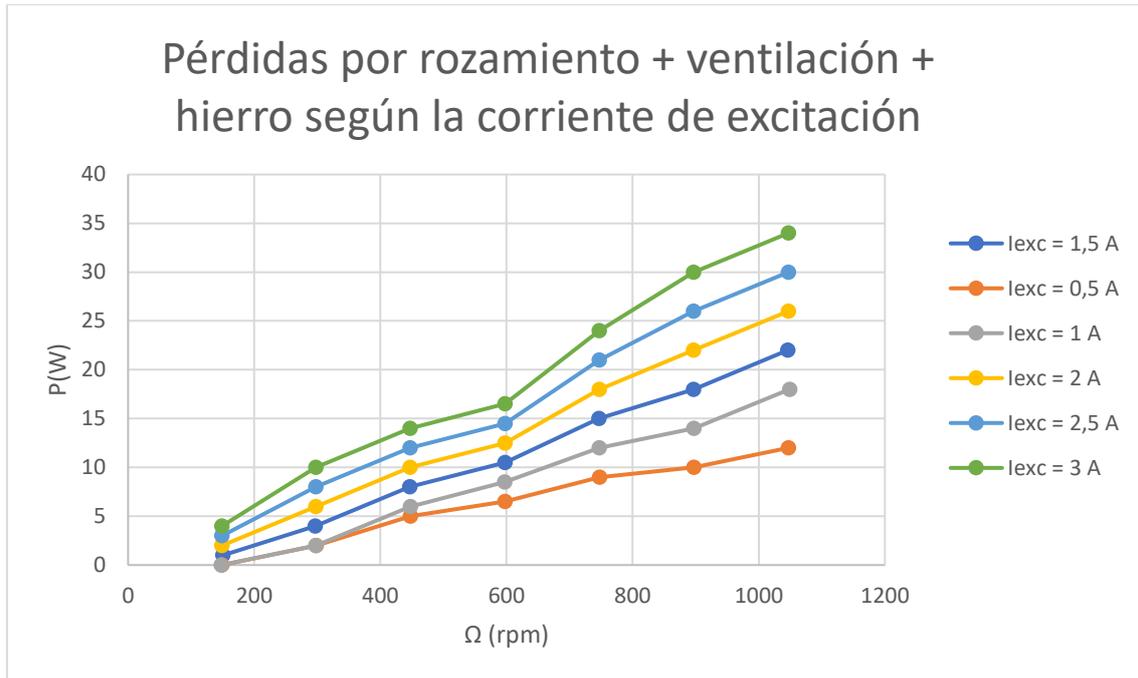
Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=2,5\text{ A}$)	
Ω (rpm)	P(W)
149	3
298	8
448	12
598	15
747	21
897	26
1047	30

Tabla 12: Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=2,5\text{ A}$)

Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=3\text{ A}$)	
Ω (rpm)	P(W)
149	4
298	10
448	14
598	17
747	24
897	30
1047	34

Tabla 13: Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro ($I_{exc}=3,0\text{ A}$)

Graficando:



Gráfica 4: Pérdidas por rozamiento + ventilación + hierro según la corriente de excitación

De la cual se ha calculado mediante herramientas de Excel las ecuaciones que aproximan la curva que se recogen en la siguiente tabla:

I_{exc} (A)	$P_{roz+vet+fe}$ (W)
0,5	$0,0134 * \omega$ (rpm) - 1,6267
1,0	$0,02 * \omega$ (rpm) - 3,31
1,5	$0,0234 * \omega$ (rpm) - 2,7717
2,0	$0,0267 * \omega$ (rpm) - 2,1768
2,5	$0,0301 * \omega$ (rpm) - 1,6004
3,0	$0,0334 * \omega$ (rpm) - 1,024

Para el primer ensayo con el patinete se hará todo con una corriente de excitación de 1,5 A

3.4 TABLA RESUMEN DE PÉRDIDAS

Ahora se hará una recopilación de las diferentes fórmulas que nos permitirá calcular las pérdidas, estas variarán en función de la velocidad como se puede ver en las gráficas anteriormente mostradas y de la corriente.

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

	Fórmula
P_{carga} (W)	$U(V) * I(A)$
P_{Cu} (W)	$10,3 * I(A)^2 + 0,26 * I(A)$
$P_{roz+vet+fe}$ (W)	$0,0234\omega(rpm) - 2,7717$
$P_{rodamientos}$ (W)	$(0,0219\omega(rpm) - 3,5057) * 2$

Tabla 14: Fórmulas para calcular pérdidas

Cabe destacar que las pérdidas por rozamiento en la rueda no se pueden evaluar con este sistema, pero forman parte de las pérdidas de la potencia entregada en la rueda por el patinete.

Por otro lado, el par en el patinete se ha calculado como:

$$T = \frac{P_{carga} + P_{Cu} + P_{roz+vent+fe} + P_{rodamientos}}{\omega}$$

Y el rendimiento del patinete se ha calculado a partir de la potencia de la batería:

$$\eta = \frac{P_{carga} + P_{Cu} + P_{roz+vent+fe} + P_{rodamientos}}{P_{Bat}}$$

La potencia de la batería se ha estimado, en primer lugar, con la aplicación para sistema operativo Android que permite obtener datos del patinete por Bluetooth. Se ha comprobado que ese sistema es muy poco preciso debido a que la corriente en la batería es sinusoidal con un valor medio no nulo (ver figura 28) y eso hace que la potencia fluctúe en la aplicación para Android. En la segunda tanda de mediciones, se equipó el patinete para poder medir tensión y batería en un osciloscopio y calcular con mayor exactitud la potencia activa de la batería.

CAPÍTULO 4. PRIMER ENSAYO CON PATINETE ELÉCTRICO

Una vez ya se tienen caracterizadas todas las pérdidas que se presentan en el ensayo con el patinete se procede al mismo.

4.1 PRIMER ENSAYO

Para ello se hace uso del generador de continua con el que se han realizado distintos cálculos anteriormente, este irá acoplado al montaje, una fuente de alimentación para inducir una corriente de excitación de 1,5 A. Una resistencia variable para poder ajustar el ensayo para diferentes corrientes y 2 multímetros, uno para medir la tensión y otro para medir la intensidad (con estos parámetros se calcula la potencia que sale del generador)



Ilustración 23: Ensayo con el patinete

El patinete con el cual se harán los ensayos es un “Xiaomi M365”, de 250 W de potencia.

También haremos uso de la aplicación para móvil “m365 Tools”, en la cual podemos visualizar los siguientes parámetros:

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.



Ilustración 24: app m365

El ensayo consiste en hacer funcionar el patinete para que muevan las ruedas de montaje y de este modo haga girar el generador de continua, de esta forma del generador sale una potencia eléctrica, que llamaremos P_{carga} que sumándole las pérdidas ocasionadas por los distintos elementos que utilizamos en el ensayo es la que está entregando el patinete en la rueda. La tensión y la corriente, como se ha comentado anteriormente, se ha medido con los multímetros y la velocidad con el tacómetro. La corriente de excitación la mantendremos constante en 1,5 A para todos los puntos de funcionamiento de este ensayo. Haciendo uso de la aplicación "m365 Tools" como hemos comentado anteriormente obtenemos la potencia a la salida de la batería del patinete, que llamaremos P_{bat} y se utilizará posteriormente para calcular los rendimientos

4.2 DATOS QUE SE OBTIENEN DEL PRIMER ENSAYO

P_{bat} (W)	U (V)	I (A)	I_{exc} (A)	ω (rpm)
260	48	2,0	1,5	830
250	50	1,5	1,5	765
180	58	1,0	1,5	798
142	61	0,6	1,5	803

Tabla 15: Datos obtenidos del ensayo

Primero se hace un recuento de todas las pérdidas y cómo se van a calcular:

	Fórmula
P_{carga} (W)	$U(V) * I(A)$
P_{cu} (W)	$10,3 * I(A)^2 + 0,26 * I(A)$
$P_{roz+vet+fe}$ (W)	$0,0234\omega(rpm) - 2,7717$
$P_{rodamientos}$ (W)	$(0,0219\omega(rpm) - 3,5057) * 2$

Tabla 16: Fórmulas para calcular pérdidas 2

Estas variarán en función de la velocidad como se puede ver en las gráficas anteriormente mostradas. Para los 4 puntos de funcionamiento estudiados en este ensayo se tiene:

4.3 PÉRDIDAS TOTALES

Aplicando las fórmulas de la tabla que hemos visto anteriormente tenemos:

	Datos aplicando las fórmulas			
ω (rpm)	830	765	798	803
P_{cu} (W)	43,4	24,9	11,5	4,6
$P_{roz+vet+fe}$ (W)	16,7	15,1	15,9	16,0
$P_{rodamientos}$ (W)	29,3	26,5	27,9	28,2
Pérdidas Totales (W)	89,4	66,5	55,4	48,7

Tabla 17: Pérdidas totales

4.4 CÁLCULO DE PARÁMETROS

ω (rpm)	P_{bat} (w)	Pérdidas(w)	P_{carga} (w)	Par (Nm)	Rendimiento
830	260	89,4	96	2,13	71%
765	250	66,5	75	1,77	57%
798	180	55,4	58	1,36	63%
803	142	48,7	37	1,01	60%

Tabla 18: Cálculo de parámetros

4.5 CONCLUSIÓN DEL PRIMER ENSAYO

En este caso, únicamente hemos ensayado en 4 puntos de funcionamiento, con el acelerador del patinete eléctrico presionado al máximo y variando la resistencia de la carga. Como era de esperar, al aumentar la potencia de la carga tenemos mas pérdidas, esto se debe principalmente a las pérdidas del cobre, ya que al incrementar la corriente para poder vencer esta carga aumentan las pérdidas por la ecuación que ya se ha mostrado anteriormente, $P_{cu} (w) = 10,3 * I(A)^2 + 0,26 * I(A)$.

La tensión de la batería se mantiene en un rango que podríamos considerar casi constante, por lo que para hacer frente a este aumento de potencia en la carga aumenta la corriente a la salida de la batería, incrementando por tanto la potencia a la salida de la batería. Por lo tanto, podemos concluir que, a mayor carga, mayor consumo tendrá la batería.

En cuanto a la velocidad se mide con el tacómetro, esta varía en un rango de velocidades bastante amplio por lo que esta velocidad no será tan exacta.

Al estar el par relacionado con la potencia de la carga y la velocidad, el par aumentará en cuanto aumente la potencia.

No obstante, se ha podido concluir que se necesitan una serie de mejoras:

- Se debe medir directamente la potencia en la batería con una medida de corriente y tensión en un osciloscopio, la aplicación para Android no es fiable.
- Se deben realizar medidas con otras consigas de par (acelerador) para obtener más información respecto al mapa de rendimiento del patinete.

CAPÍTULO 5. SEGUNDO ENSAYO CON PATINETE ELÉCTRICO

Para la realización de los cálculos del primer ensayo, como se puede ver, se ha utilizado como potencia a la salida de la batería del patinete la que se puede visionar desde la aplicación, sin embargo, esta medida oscila dando un margen para nada despreciable, esto dificulta establecer un valor representativo y genera inexactitud a la hora de realizar los cálculos de rendimiento.

Una posible solución para obtener un valor de potencia más exacto que se llevará a cabo en este segundo ensayo es tomar los valores necesarios, corriente y tensión, a la salida de la batería mediante los equipos de medida necesarios. Se realizaron inicialmente unas medidas en el cable interno del patinete de la batería a la electrónica de potencia con una sonda de corriente y una sonda de tensión (figura 25). Para poder realizar las mismas medidas con el patinete sobre el banco, se compraron unos cables con conectores XT30 de manera a prolongar el cable de la batería y medir con comodidad desde el exterior (figura 26).

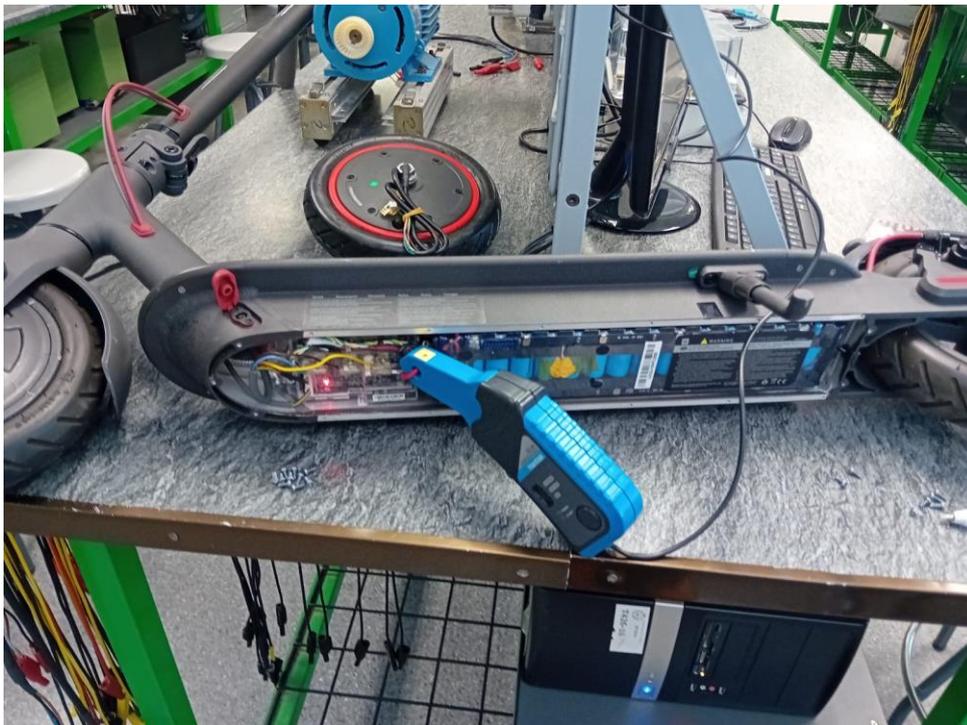


Ilustración 25: Patinete eléctrico con equipos de medida a la salida de la batería 1

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.



Ilustración 26: Patinete eléctrico con equipos de medida a la salida de la batería 2

5.1 SEGUNDO ENSAYO

Para la realización del segundo ensayo se hace uso del mismo generador de continua que se utilizó en el ensayo anterior. Este irá acoplado al montaje, una fuente de alimentación para inducir una corriente de excitación desde 0,5 A hasta 3 A en función de lo que requiera el ensayo. Una resistencia variable para poder ajustar el ensayo para diferentes cargas, un tacómetro para medir la velocidad y osciloscopio con cuatro canales.

Haciendo uso de la resistencia variable y variando la corriente de excitación para poder acceder a cada carga, estudiaremos las cargas para las potencias de: 25 W, 50 W, 75 W, 100 W, 125 W, 150 W.

También cabe destacar que para un estudio más exhaustivo se tomarán datos no únicamente para el patinete con el acelerador presionado al máximo, sino que este tendrá cuatro modos de funcionamiento: el acelerador presionado al 100%, 75%, 50% y 25%. Para esto se dibujarán unas marcas en el mismo acelerador del patinete para poder visualizar en qué modo de funcionamiento está trabajando (figura 27):

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.



Ilustración 27: Marcas en el acelerador del patinete eléctrico

El osciloscopio se conecta a un ordenador mediante un puerto USB y mediante el software que nos proporciona el fabricante, en este caso “PicoScope”, visualizaremos los cuatro canales. Dichos canales nos proporcionan:

- Canal A: Se visualiza la tensión de la carga, conectándolo al generador de continua.
- Canal B: Se visualiza la corriente de la carga, mediante una pinza amperimétrica a la misma
- Canal C: Se visualiza la tensión a la salida de la batería, la medimos conectándolo al sistema que hemos descrito anteriormente
- Canal D: Se visualiza la corriente a la salida de la batería mediante una pinza amperimétrica y también con el sistema que hemos descrito anteriormente

A continuación, un ejemplo de lo que se visualiza en PicoScope, donde los diferentes colores son:

- Azul: Tensión en la carga
- Rojo: Corriente en la carga
- Verde: Tensión en la batería
- Amarillo: Corriente en la batería

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

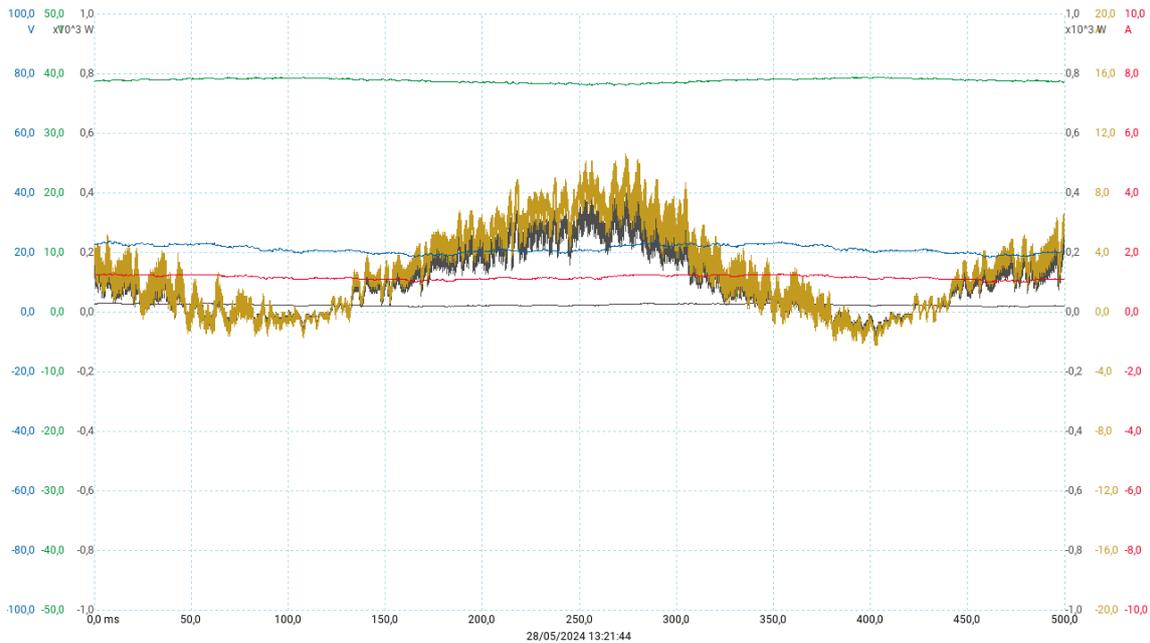


Ilustración 28: Visualización de PicoScope

Mediante la tensión y corriente en la carga se puede calcular la potencia en la carga y mediante la tensión y corriente en la batería se puede calcular la potencia en la batería. Todas las magnitudes medidas son variables con el tiempo, especialmente la corriente y potencia en la batería. Por ello, con el software PicoScope se han realizado promedios en una ventana temporal suficientemente grande. Con el promedio de la potencia instantánea en la batería se obtiene la potencia activa en la batería. Con el promedio de la potencia instantánea en la carga, se obtiene su potencia activa con un valor mucho más estable.

5.2 RESULTADOS DEL SEGUNDO ENSAYO

Como se ve en las siguientes tablas no se ha podido operar a todos los modos de funcionamiento para todas las cargas ya que para algunas no se ha llegado a la potencia en la carga que buscábamos, los cálculos que se han para obtener estos resultados se han realizado con el lenguaje de programación Python, el capítulo 6 se explica con más detalle.

Los casos utilizados son los siguientes:

Modo
A: Patinete solo
B: Patinete + banco
C: Patinete + banco + 0 W carga (sólo pérdidas en el generador)
D: Patinete + banco + 25 W carga
E: Patinete + banco + 50 W carga
F: Patinete + banco + 75 W carga
G: Patinete + banco + 100 W carga
H: Patinete + banco + 125 W carga
I: Patinete + banco + 150 W carga

Tabla 19: Puntos de funcionamiento del banco

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

5.2.1 Tabla de velocidades:

Velocidades (rpm)				
Modo	100%	75%	50%	25%
A: Patinete solo	642 ^(*)	499 ^(*)	391 ^(*)	285 ^(*)
B: Patinete + banco	830	640	480	370
C: 0 W	820	660	490	366
D: 25 W	812	582	461	326
E: 50 W	800	565	418	-
F: 75 W	780	572	418	-
G: 100 W	755	561	-	-
H: 125 W	720	-	-	-
I: 150 W	687	-	-	-

Tabla 20: Velocidades

^(*) Velocidad en la rueda del patinete no en el generador

5.2.2 Tabla de potencias batería

Potencia en la batería (W)				
Modo	100%	75%	50%	25%
A: Patinete solo	10,0	8,5	3,0	0,9
B: Patinete + banco	112,7	72,7	35,1	26,1
C: 0 W	106,7	72,3	49,0	29,9
D: 25 W	114,6	92,7	78,6	90,2
E: 50 W	172,6	164,7	172,5	-
F: 75 W	221,4	193,9	171,2	-
G: 100 W	244,6	227,1	-	-
H: 125 W	292,1	-	-	-
I: 150 W	379,5	-	-	-

Tabla 21: Potencia en la batería

5.2.3 Tabla de par

Par en la carga (Nm)				
Modo	100%	75%	50%	25%
D: 25 W	0,3	0,4	0,6	0,7
E: 50 W	0,6	0,9	1,2	-
F: 75 W	0,9	1,2	1,3	-
G: 100 W	1,2	1,6	-	-
H: 125 W	1,6	-	-	-
I: 150 W	2,1	-	-	-

Tabla 22: Par

5.2.4 Tabla de rendimiento

Rendimiento (%)				
Modo	100%	75%	50%	25%
D: 25 W	66,92	64,38	69,46	69,42
E: 50 W	60,54	58,81	71,82	-
F: 75 W	63,04	71,15	68,47	-
G: 100 W	69,00	73,44	-	-
H: 125 W	71,04	-	-	-
I: 150 W	66,41	-	-	-

Tabla 23: Rendimiento

5.3 CONCLUSIÓN DEL SEGUNDO ENSAYO

En cuanto a los resultados que se pueden visualizar en la tabla de velocidades cabe destacar que las velocidades de la primera fila están tomadas en la misma rueda del patinete y el resto en el generador de continua por lo tanto no se pueden comparar.

Se puede ver como existe una tendencia al aumentar la potencia de la carga disminuye la velocidad. Y cuanto menos esté presionado el acelerador, como es de esperar también disminuye la velocidad.

Al igual que en el primer ensayo al aumentar la potencia en la carga se incrementa la corriente que sale de la batería y por tanto la potencia a la salida de la batería. Cuando se decrementa la presión ejercida en el acelerador se le está aplicando una consigna de par menor al patinete, con lo que por este motivo se reduce la corriente y por consiguiente la potencia a la salida de la batería.

El par sigue la ecuación: $\text{Par} = \text{potencia} / \text{velocidad}$, dicho esto se puede ver que al aumentar la potencia de la carga el par aumenta, también disminuye la velocidad lo que hace que se incremente todavía más. Cuando esté menos presionado el acelerador para una misma potencia en la carga siendo decreciente la velocidad en este sentido aumentará el par transmitido.

Finalmente, los puntos obtenidos en el mapa de rendimiento Par-Velocidad de la máquina son los siguientes:

Velocidad (rpm)	Par (N.m)								
	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,2	1,3	1,6	2,1
326				69,42					
418						71,82	68,47		
461			69,46						
561								73,44	
565					58,81				
572						71,15			
582		64,38							
687									66,41
720								71,04	
755						69,00			
780					63,04				
800			60,54						
812	66,92								

Tabla 24: Tabla de rendimientos en función del par y la velocidad

El plano velocidad-par, se tienen algunos puntos de rendimiento, pero no los suficientes para trazar un gráfico de superficie.

Con la estrategia de ensayo seguida, no ha sido posible fijar consignas de velocidad o de par en tiempo real durante el ensayo. Para próximos ensayos en el futuro sería una buena estrategia conseguir consignas de velocidad (400 - 500 - 600 - 700 -800 rpm) e ir ajustando la carga y la velocidad hasta conseguir valores de par calculados en tiempo real (0,5 - 1 - 1,5 - 2 N.m). Así se obtendría el mapa de rendimientos, aunque, en cualquier caso, parece relativamente constante.

Como mejora a futuro se podría utilizar un tacómetro que promediara la velocidad para conseguir valores estables o utilizar una máquina síncrona en lugar de la máquina de continua, con una carga trifásica resistiva variable de manera que la frecuencia de la tensión y corriente generadas nos indicaría con mucha precisión la velocidad de giro sin necesidad de un tacómetro.

CAPÍTULO 6. CÁLCULOS CON PYTHON

Como se comenta en el capítulo 5 los cálculos se han realizado con Python, y en el presente capítulo se detalla los pasos que se han seguido para la obtención de los resultados finales.

Como hemos comentado anteriormente hemos utilizado el software PicoScope, del cual nos podemos descargar los datos que necesitamos para cada ensayo.

En primer lugar, para la realización de los cálculos se necesitan las librerías pandas y numpy

```
In [1]: import pandas as pd
import numpy as np
```

código 1: Importación de librerías

A continuación, importamos todos los datos de los .csv generados por PicoScope

Nota: A cada punto de funcionamiento se le da un nombre que está compuesto por una letra y por un número. La letra indica la carga que opone la resistencia al patinete:

- A: Patinete solo
- B: Patinete + banco
- C: 0w
- E: 25w
- F: 50w
- G: 75w
- H: 100w
- I: 125w

Y el número indica el grado de aceleración que se le aplica al patinete:

- 1: Acelerador presionado al 100%
- 2: Acelerador presionado al 75%
- 3: Acelerador presionado al 50%
- 4: Acelerador presionado al 25%

Fin de la nota.

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

```
In [2]: a1= pd.read_csv("a1_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
a2= pd.read_csv("a2_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
a3= pd.read_csv("a3_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
a4= pd.read_csv("a4_1.csv",delimiter=";", decimal=",")

In [3]: b1= pd.read_csv("b1_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
b2= pd.read_csv("b2_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
b3= pd.read_csv("b3_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
b4= pd.read_csv("b4_1.csv",delimiter=";", decimal=",")

In [4]: c1= pd.read_csv("c1_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
c2= pd.read_csv("c2_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
c3= pd.read_csv("c3_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
c4= pd.read_csv("c4_1.csv",delimiter=";", decimal=",")

In [5]: d1= pd.read_csv("d1_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
d2= pd.read_csv("d2_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
d3= pd.read_csv("d3_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
d4= pd.read_csv("d4_1.csv",delimiter=";", decimal=",")

In [6]: e1= pd.read_csv("e1_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
e2= pd.read_csv("e2_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
e3= pd.read_csv("e3_1.csv",delimiter=";", decimal=",")

In [7]: f1= pd.read_csv("f1_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
f2= pd.read_csv("f2_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
f3= pd.read_csv("f3_1.csv",delimiter=";", decimal=",")

In [8]: g1= pd.read_csv("g1_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
g2= pd.read_csv("g2_1.csv",delimiter=";", decimal=",")

In [9]: h1= pd.read_csv("h1_1.csv",delimiter=";", decimal=",")

In [10]: i1= pd.read_csv("i1_1.csv",delimiter=";", decimal=",")
```

código 2: Lectura de los datos de PicoScope e importación en DataFrames

Se tiene un .csv para cada punto de funcionamiento para cada una de las distintas cargas siguiendo la forma de clasificar estos puntos que hemos utilizado en el capítulo 5. Importamos los datos en DataFrames para que resulte más sencillo su manipulación.

Se imprime un ejemplo de un punto de funcionamiento:

```
In [13]: a1
Out[13]:
```

	Tiempo	Canal A	Canal B	Canal C	Canal D	A * B (2)	C*D
0	(ms)	(V)	(A)	(V)	(A)	(?)	(?)
1	0.23999999	0.00000000	0.02783588	41.47392000	0.11903300	0.00000000	3.29117600
2	0.24499999	0.00000000	0.02768209	41.47392000	0.07935531	0.00000000	3.29117600
3	0.24999999	0.00000000	0.02752830	41.47392000	0.07935531	0.00000000	3.29117600
4	0.25499999	0.00000000	0.02752830	41.47392000	0.07935531	0.00000000	4.93676400
...
99950	499.98498737	0.00000000	0.02076156	41.44931000	1.46930400	0.00000000	65.84184000
99951	499.98998737	0.00000000	0.02091535	41.44931000	1.50913500	0.00000000	67.48645000
99952	499.99498737	0.00000000	0.02091535	41.44931000	1.58849000	0.00000000	70.78204000
99953	499.99998737	0.00000000	0.02091535	41.44931000	1.62816800	0.00000000	67.48645000
99954	500.00498737	0.00000000	0.02106914	41.44316000	1.70767700	0.00000000	59.24821000

99955 rows × 7 columns

código 3: Visualización de un DataFrame

Como se puede ver, la primera fila va a tener que ser borrada ya que únicamente indica las unidades y para el manejo de estos DataFrames no se necesita.

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

```
In [11]: a1.drop(index=0,inplace=True)
a2.drop(index=0,inplace=True)
a3.drop(index=0,inplace=True)
a4.drop(index=0,inplace=True)

In [12]: b1.drop(index=0,inplace=True)
b2.drop(index=0,inplace=True)
b3.drop(index=0,inplace=True)
b4.drop(index=0,inplace=True)

In [13]: c1.drop(index=0,inplace=True)
c2.drop(index=0,inplace=True)
c3.drop(index=0,inplace=True)
c4.drop(index=0,inplace=True)

In [14]: d1.drop(index=0,inplace=True)
d2.drop(index=0,inplace=True)
d3.drop(index=0,inplace=True)
d4.drop(index=0,inplace=True)

In [15]: e1.drop(index=0,inplace=True)
e2.drop(index=0,inplace=True)
e3.drop(index=0,inplace=True)

In [16]: f1.drop(index=0,inplace=True)
f2.drop(index=0,inplace=True)
f3.drop(index=0,inplace=True)

In [17]: g1.drop(index=0,inplace=True)
g2.drop(index=0,inplace=True)

In [18]: h1.drop(index=0,inplace=True)
i1.drop(index=0,inplace=True)
```

código 4: Borrado de la primera fila de todos los DataFrames

También se puede observar como el separador decimal es una coma y no un punto, esto es porque los números los tenemos como cadenas de caracteres y no como valores “float”, por lo tanto, se deben transformar todos para poder continuar con la realización de los cálculos.

Esto se puede hacer de la siguiente forma.

```
In [19]: a1['Canal A']=a1['Canal A'].str.replace(',','').astype(float)
a1['Canal B']=a1['Canal B'].str.replace(',','').astype(float)
a1['Canal C']=a1['Canal C'].str.replace(',','').astype(float)
a1['Canal D']=a1['Canal D'].str.replace(',','').astype(float)
a1['A * B (2)']=a1['A * B (2)'].str.replace(',','').astype(float)
a1['C*D']=a1['C*D'].str.replace(',','').astype(float)

a2['Canal A']=a2['Canal A'].str.replace(',','').astype(float)
a2['Canal B']=a2['Canal B'].str.replace(',','').astype(float)
a2['Canal C']=a2['Canal C'].str.replace(',','').astype(float)
a2['Canal D']=a2['Canal D'].str.replace(',','').astype(float)
a2['A * B (2)']=a2['A * B (2)'].str.replace(',','').astype(float)
a2['C*D']=a2['C*D'].str.replace(',','').astype(float)

a3['Canal A']=a3['Canal A'].str.replace(',','').astype(float)
a3['Canal B']=a3['Canal B'].str.replace(',','').astype(float)
a3['Canal C']=a3['Canal C'].str.replace(',','').astype(float)
a3['Canal D']=a3['Canal D'].str.replace(',','').astype(float)
a3['A * B (2)']=a3['A * B (2)'].str.replace(',','').astype(float)
a3['C*D']=a3['C*D'].str.replace(',','').astype(float)

a4['Canal A']=a4['Canal A'].str.replace(',','').astype(float)
a4['Canal B']=a4['Canal B'].str.replace(',','').astype(float)
a4['Canal C']=a4['Canal C'].str.replace(',','').astype(float)
a4['Canal D']=a4['Canal D'].str.replace(',','').astype(float)
a4['A * B (2)']=a4['A * B (2)'].str.replace(',','').astype(float)
a4['C*D']=a4['C*D'].str.replace(',','').astype(float)
```

código 5: Transformación de los datos a valores numéricos

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

En este caso únicamente hay una imagen para los cuatro puntos de funcionamiento de “a” para que la explicación del código se entienda mejor, para el resto la metodología y el código será exactamente igual.

Ahora ya se pueden calcular las medias para cada columna, este serán los valores con los que realizaremos los cálculos.

```
In [24]: U_C_a1=a1['Canal A'].mean()
I_C_a1=a1['Canal B'].mean()
U_B_a1=a1['Canal C'].mean()
I_B_a1=a1['Canal D'].mean()
P_C_a1=a1['A * B (2)'].mean()
P_B_a1=a1['C*D'].mean()

U_C_a2=a2['Canal A'].mean()
I_C_a2=a2['Canal B'].mean()
U_B_a2=a2['Canal C'].mean()
I_B_a2=a2['Canal D'].mean()
P_C_a2=a2['A * B (2)'].mean()
P_B_a2=a2['C*D'].mean()

U_C_a3=a3['Canal A'].mean()
I_C_a3=a3['Canal B'].mean()
U_B_a3=a3['Canal C'].mean()
I_B_a3=a3['Canal D'].mean()
P_C_a3=a3['A * B (2)'].mean()
P_B_a3=a3['C*D'].mean()

U_C_a4=a4['Canal A'].mean()
I_C_a4=a4['Canal B'].mean()
U_B_a4=a4['Canal C'].mean()
I_B_a4=a4['Canal D'].mean()
P_C_a4=a4['A * B (2)'].mean()
P_B_a4=a4['C*D'].mean()
```

código 6: Media de los datos

Guardamos en las siguientes variables las velocidades que se tomaron en el ensayo.

```
In [27]: v_a1= 642
v_a2= 499
v_a3= 391
v_a4= 285

v_b1= 830
v_b2= 640
v_b3= 480
v_b4= 370

v_c1= 820
v_c2= 660
v_c3= 490
v_c4= 366

v_d1= 812
v_d2= 582
v_d3= 461
v_d4= 326

v_e1= 800
v_e2= 565
v_e3= 418

v_f1= 780
v_f2= 572
v_f3= 418

v_g1= 755
v_g2= 561

v_h1= 720

v_i1= 687
```

código 7: Creación de las variables con las velocidades

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

También se crean las variables con las corrientes de excitación:

```
In [28]: Iexc_a1= 1.5
Iexc_a2= 1.5
Iexc_a3= 1.5
Iexc_a4= 1.5
Iexc_b1= 1.5
Iexc_b2= 1.5
Iexc_b3= 1.5
Iexc_b4= 1.5
Iexc_c1= 1.5
Iexc_c2= 1.5
Iexc_c3= 1.5
Iexc_c4= 1.5
Iexc_d1= 0.5
Iexc_d2= 1
Iexc_d3= 1.5
Iexc_d4= 1.5
Iexc_e1= 1
Iexc_e2= 1.5
Iexc_e3= 2
Iexc_f1= 1.5
Iexc_f2= 2
Iexc_f3= 2.5
Iexc_g1= 2
Iexc_g2= 2.5
Iexc_h1= 2.5
Iexc_i1= 3
```

código 8 : Creación de las variables con las corrientes de excitación

Para realizar los cálculos se realizan las siguientes funciones.

- Para las pérdidas en los rodamientos en función de la velocidad:

```
In [47]: def p_rodamiento(v):
P_rod=(0.0219*v-3.5057)*2
return(P_rod)
```

código 9: Función de pérdidas en los rodamientos

- Para las pérdidas en el cobre del rotor en función de la corriente de la carga:

```
In [48]: def p_cu(I_C):
P_cu=10.3*I_C**2+0.26*I_C
return(P_cu)
```

código 10: Función de pérdidas en el cobre

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

- Para las pérdidas por ventilación, rozamiento y en el hierro del generador de continua en función de la corriente de excitación y de la velocidad

```
In [49]: def p_rvh(Ie,v):
         if Ie == 0.5:
             P_rvh=0.0134*v - 1.6267
             return(P_rvh)
         elif Ie == 1:
             P_rvh=0.02*v - 3.31
             return(P_rvh)
         elif Ie == 1.5:
             P_rvh=0.0234*v - 2.7717
             return(P_rvh)
         elif Ie == 2:
             P_rvh=0.0267*v - 2.1768
             return(P_rvh)
         elif Ie == 2.5:
             P_rvh=0.0301*v - 1.6004
             return(P_rvh)
         elif Ie == 3:
             P_rvh= 0.0334*v - 1.024
             return(P_rvh)
```

código 11: Función de pérdidas por ventilación, rozamiento y en el hierro del generador de continua

- El par en función de la potencia y la velocidad:

```
In [52]: def par(P,v):
         T=P/(v*(2*pi/60))
         return(T)
```

código 12: Función para calcular el par

- El rendimiento en función de todas las pérdidas, la potencia en la carga y la potencia en la batería:

```
In [59]: def rendimiento(P_C,P_B,I_C,Iexc,v):
         perdidas = p_rodamiento(v) + p_cu(I_C) + p_rvh(Iexc,v)
         R = (P_C+perdidas)/P_B
         return(R)
```

código 13: Función para calcular el rendimiento

Ahora se calcula el par en cada punto haciendo de su respectiva función.

```
In [56]: T_d1=par(P_C_d1,v_d1)
         T_d2=par(P_C_d2,v_d2)
         T_d3=par(P_C_d3,v_d3)
         T_d4=par(P_C_d4,v_d4)
         T_e1=par(P_C_e1,v_e1)
         T_e2=par(P_C_e2,v_e2)
         T_e3=par(P_C_e3,v_e3)
         T_f1=par(P_C_f1,v_f1)
         T_f2=par(P_C_f2,v_f2)
         T_f3=par(P_C_f3,v_f3)
         T_g1=par(P_C_g1,v_g1)
         T_g2=par(P_C_g2,v_g2)
         T_h1=par(P_C_h1,v_h1)
         T_i1=par(P_C_i1,v_i1)
```

código 14: Cálculo del par en todos los puntos

Así mismo se calcula el rendimiento.

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

```
In [60]: R_d1=rendimiento(P_C_d1,P_B_d1,I_C_d1,Iexc_d1,v_d1)
R_d2=rendimiento(P_C_d2,P_B_d2,I_C_d2,Iexc_d2,v_d2)
R_d3=rendimiento(P_C_d3,P_B_d3,I_C_d3,Iexc_d3,v_d3)
R_d4=rendimiento(P_C_d4,P_B_d4,I_C_d4,Iexc_d4,v_d4)
R_e1=rendimiento(P_C_e1,P_B_e1,I_C_e1,Iexc_e1,v_e1)
R_e2=rendimiento(P_C_e2,P_B_e2,I_C_e2,Iexc_e2,v_e2)
R_e3=rendimiento(P_C_e3,P_B_e3,I_C_e3,Iexc_e3,v_e3)
R_f1=rendimiento(P_C_f1,P_B_f1,I_C_f1,Iexc_f1,v_f1)
R_f2=rendimiento(P_C_f2,P_B_f2,I_C_f2,Iexc_f2,v_f2)
R_f3=rendimiento(P_C_f3,P_B_f3,I_C_f3,Iexc_f3,v_f3)
R_g1=rendimiento(P_C_g1,P_B_g1,I_C_g1,Iexc_g1,v_g1)
R_g2=rendimiento(P_C_g2,P_B_g2,I_C_g2,Iexc_g2,v_g2)
R_h1=rendimiento(P_C_h1,P_B_h1,I_C_h1,Iexc_h1,v_h1)
R_i1=rendimiento(P_C_i1,P_B_i1,I_C_i1,Iexc_i1,v_i1)
```

código 15: Cálculo del rendimiento en todos los puntos

Con todo esto ya se pueden formar las tablas para tener una mejor visualización de los datos:

- Tabla de velocidad

```
In [70]: lista = np.array([
    [v_a1,v_a2,v_a3,v_a4],
    [v_b1,v_b2,v_b3,v_b4],
    [v_c1,v_c2,v_c3,v_c4],
    [v_d1,v_d2,v_d3,v_d4],
    [v_e1,v_e2,v_e3,'-'],
    [v_f1,v_f2,v_f3,'-'],
    [v_g1,v_g2,'-', '-'],
    [v_h1,'-', '-','-' ],
    [v_i1,'-', '-','-' ]
])

columnas = ['100%', '75%', '50%', '25%']

tabla_velocidad = pd.DataFrame(lista, columns=columnas)

tabla_velocidad['Modo'] = ['A:Patinete solo', 'B:Patinete+banco',
    'C:Patinete+banco+generador en vacío',
    'D:25w', 'E:50w', 'F:75w', 'G:100w', 'H:125w', 'I:150w']
tabla_velocidad = tabla_velocidad.set_index('Modo')
```

código 16: Creación de tabla de velocidades

```
In [72]: tabla_velocidad
```

Out[72]:

	100%	75%	50%	25%
Modo				
A:Patinete solo	642	499	391	285
B:Patinete+banco	830	640	480	370
C:Patinete+banco+generador en vacío	820	660	490	366
D:25w	812	582	461	326
E:50w	800	565	418	-
F:75w	780	572	418	-
G:100w	755	561	-	-
H:125w	720	-	-	-
I:150w	687	-	-	-

código 17: Visualización de la tabla de velocidades

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

- Tabla de potencia en la batería

```
In [75]: lista = np.array([
    [P_B_a1,P_B_a2,P_B_a3,P_B_a4],
    [P_B_b1,P_B_b2,P_B_b3,P_B_b4],
    [P_B_c1,P_B_c2,P_B_c3,P_B_c4],
    [P_B_d1,P_B_d2,P_B_d3,P_B_d4],
    [P_B_e1,P_B_e2,P_B_e3,'-'],
    [P_B_f1,P_B_f2,P_B_f3,'-'],
    [P_B_g1,P_B_g2,'-', '-'],
    [P_B_h1,'-', '-','-', '-'],
    [P_B_i1,'-', '-','-', '-']
])

columnas = ['100%', '75%', '50%', '25%']

tabla_P_B = pd.DataFrame(lista, columns=columnas)

tabla_P_B['Modo'] = ['A:Patinete solo', 'B:Patinete+banco',
                   'C:Patinete+banco+generador en vacío', 'D:25w', 'E:50w', 'F:75w', 'G:100w',
                   'H:125w', 'I:150w']
tabla_P_B = tabla_P_B.set_index('Modo')
```

código 18: Creación de tabla de potencia en la batería

```
In [76]: tabla_P_B
```

Out[76]:

	100%	75%	50%	25%
Modo				
A:Patinete solo	9.994636600276152	8.4696275652697	2.9689251629654745	0.9486343163953354
B:Patinete+banco	112.65006676401833	72.71815959412375	35.121335474516606	26.089917670231884
C:Patinete+banco+generador en vacío	106.690697751342	72.2606698055349	49.04612049209143	29.909468773655757
D:25w	114.57610584068979	92.7023499158602	78.5631584635325	90.17605209655883
E:50w	172.58990384926744	164.6535196321305	172.49117785551667	-
F:75w	221.441784962083	193.86781532024628	171.24363125707575	-
G:100w	244.58541350310873	227.1173402595167	-	-
H:125w	292.0524201257667	-	-	-
I:150w	379.45720985452624	-	-	-

código 19: Visualización de la tabla de potencia en la batería

- Tabla de par

```
In [82]: lista = np.array([
    [T_d1,T_d2,T_d3,T_d4],
    [T_e1,T_e2,T_e3,'-'],
    [T_f1,T_f2,T_f3,'-'],
    [T_g1,T_g2,'-', '-'],
    [T_h1,'-', '-','-', '-'],
    [T_i1,'-', '-','-', '-']
])

columnas = ['100%', '75%', '50%', '25%']

tabla_par = pd.DataFrame(lista, columns=columnas)

tabla_par['Modo'] = ['D:25w', 'E:50w', 'F:75w', 'G:100w', 'H:125w', 'I:150w']
tabla_par = tabla_par.set_index('Modo')
```

código 20: Creación de tabla de par

Diseño de un banco de ensayos electromecánicos para vehículos eléctricos de movilidad personal de potencia máxima 700W.

In [83]: tabla_par

Out[83]:

	100%	75%	50%	25%
Modo				
D:25w	0.2892750490249407	0.4168489819466923	0.5526030886137517	0.6558274070771835
E:50w	0.5913918536240037	0.8532178245882416	1.1895539745803356	-
F:75w	0.9447828957790575	1.2487500759565926	1.3327943745394435	-
G:100w	1.2509849096949273	1.5788576614964818	-	-
H:125w	1.648782252999734	-	-	-
I:150w	2.1274480763729966	-	-	-

código 21: Visualización de la tabla de par

- Tabla de rendimiento

```
In [47]: lista = np.array([
    [R_d1,R_d2,R_d3,R_d4],
    [R_e1,R_e2,R_e3,'-'],
    [R_f1,R_f2,R_f3,'-'],
    [R_g1,R_g2,'-', '-'],
    [R_h1,'-', '-','-', '-'],
    [R_i1,'-', '-','-', '-']
])

columnas = ['100%', '75%', '50%', '25%']

tabla_rendimiento = pd.DataFrame(lista, columns=columnas)

tabla_rendimiento['Modo'] = ['D:25w', 'E:50w', 'F:75w', 'G:100w', 'H:125w', 'I:150w']
tabla_rendimiento = tabla_rendimiento.set_index('Modo')
```

código 22: Creación de tabla de rendimientos

In [48]: tabla_rendimiento

Out[48]:

	100%	75%	50%	25%
Modo				
D:25w	0.6691911341676423	0.6438247485600246	0.694624588562083	0.6942464341000038
E:50w	0.6053848163526261	0.5880732607846304	0.7181893314121954	-
F:75w	0.6303559638902605	0.7114799000786406	0.6846664518753448	-
G:100w	0.6900177667469994	0.7344469718030504	-	-
H:125w	0.7103672341505056	-	-	-
I:150w	0.6640622380882385	-	-	-

código 23: Visualización de la tabla de rendimiento

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

Tras los ensayos y pruebas realizadas, se ha visto que el banco de ensayos permite calcular el rendimiento y el par del patinete con cierta precisión. No obstante, se proponen las siguientes mejoras para futuras pruebas:

1. Se podría usar un generador síncrono en lugar del generador de continua con una carga resistiva variable (de la que no se disponía en el laboratorio). Esto permitiría regular la carga igualmente, con un modelo de máquina similar, si no más sencillo y medir con precisión la velocidad de giro sin necesidad de un tacómetro utilizando la frecuencia generada.
2. Durante los ensayos, las consignas a obtener deberían ser una velocidad determinada (no un % de aceleración) y un par determinado, calculado en el momento durante las pruebas para ir ajustándolo. Por ejemplo, se podrían utilizar las consignas de velocidad {400 - 500 - 600 - 700 - 800 rpm} y las consignas de par {0,5 - 1 - 1,5 - 2 N.m}. Un sistema de medida que controlara el osciloscopio Picoscope (por ejemplo, con Labview) y que fuera calculando en tiempo real la velocidad y el par, podría ir dando consignas a los operadores para ajustar ambas magnitudes.
3. El sistema debe hacerse más robusto mecánicamente usando ejes macizos de acero. La pieza de acople del generador al banco debería ser mecanizada o, al menos, impresa con mayor densidad interna; presentaba signos de fatiga mecánica al final de los ensayos.
4. La rueda auxiliar del banco podría ser sustituida por una rueda idéntica a la impresa en 3 D.
5. Se debería utilizar algún sistema de medición (por ejemplo, una báscula) bajo el banco de ensayos para controlar el peso aplicado a la rueda delantera y que fuera similar al que soporta durante su uso.

ANEXO 2: PRESUPUESTO

Nombre	Descripción	Unidades	Precio (€) /Unidad	Precio (€)
Perfil de aluminio	Perfil de aluminio de 40x40mm de 2 metros de longitud	2	72,83	100,48
Escuadra	Escuadras para unir los perfiles de aluminio	12	10,00	120,00
Material fungible de laboratorio	Tornillería varia, cinta antideslizante, bridas, cinta aislante, etc.	1	30,00	30,00
Rodamientos con soporte	Diámetro interior de 20mm	4	18,72	74,88
Rueda primaria	Impresa con una impresora 3D en el material PLA (900g de PLA)	1	11,25	11,25
Rueda secundaria	Rueda con 20mm de diámetro interior y 200mm de diámetro exterior	1	8,02	8,02
Lámina de aluminio	Lamina de aluminio de 10x10	1	13,31	13,31
Pieza acople montaje-máquina	Impresa con una impresora 3D en el material PLA (160g de PLA)	1	2,00	2,00
Ejes	Perfil tubular de aluminio de 1m de longitud, 20mm de diámetro y un espesor de 1,5mm	1	4,49	4,49
Mano de obra diseño	Tiempo estimado en horas que se ha dedicado al diseño de las partes y al ensamblaje	60	15,00	900
Mano de obra construcción	Tiempo estimado que se ha dedicado a la preparación de las piezas y al ensamblaje de este	30	15,00	450

Mano de obra piezas PLA	Tiempo estimado en horas que se ha dedicado a imprimir los dos componentes que están impresos en PLA	6	15,00	90
Pruebas y ensayos de laboratorio	Tiempo de pruebas, ensayos y ajustes del sistema en laboratorio	20	15,00	300
TOTAL				2104,43

ANEXO 1: PLANOS

