



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Diseño de un sistema de bancada de tracción eléctrica para motores eléctricos de media potencia.

Trabajo de Graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

AUTORES:

Jordy Germán Aguirre Jaramillo

Luis Alberto Castillo Cueva

DIRECTOR:

Doctor Efrén Esteban Fernández Palomeque

Cuenca - Ecuador

2023

## **Dedicatoria y agradecimiento de Jordy Germán Aguirre Jaramillo.**

### **Dedicatoria.**

El presente artículo se lo dedico principalmente a mis padres, que a pesar de las adversidades que se presentaron en el transcurso de nuestras vidas, con mucho esfuerzo me apoyaron y ayudaron a cumplir este sueño que logré cumplir en mi vida profesional. A mis hermanos por ayudarme y apoyarme durante toda mi vida. A las personas que me han ayudado a formarme como profesional ética y moralmente.

### **Agradecimiento.**

Agradezco a la Universidad del Azuay, pues ha cumplido con mis expectativas como estudiante. Además, me ha otorgado experiencias únicas en la vida, a sus docentes porque gracias a sus conocimientos me permitieron formarme profesionalmente y me motivaron a proyectarme hacia un mejor futuro.

A mis amigos, los cuales han sabido apoyarme y compartir su conocimiento para lograr cumplir los objetivos propuestos en cada año de estudio.

## **Dedicatoria y agradecimiento de Luis Alberto Castillo Cueva.**

### **Dedicatoria.**

Este logro se lo dedico a mi papá por querer siempre lo mejor para mí y ayudarme a conseguir mis objetivos en la vida; a mi mamá quien siempre me da las fuerzas y el aliento para afrontar momentos difíciles.

A mi hermana quien me ha apoyado durante toda mi vida; a mis sobrinos, a quienes les quiero dejar una enseñanza e inspiración a través de este trabajo y por último a mis abuelitos que han sido un pilar fundamental con su sabiduría y apoyo.

### **Agradecimiento.**

Primeramente, agradezco a Dios por permitirme llegar hasta aquí y que por medio de sus bendiciones y bondad he conseguido logros importantes durante mi vida.

A mis padres: Nixon y María Luisa, por su amor, sacrificio y apoyo incondicional durante mi carrera universitaria, especialmente en los momentos más complicados, dándome la motivación necesaria para continuar y no rendirme.

A todos mis profesores a lo largo de mi carrera universitaria por sus consejos y sugerencias, de manera especial, a mi tutor Efrén Fernández que me ha guiado durante la realización de este proyecto.

# Diseño de un sistema de bancada de tracción eléctrica para motores eléctricos de media potencia.

## RESUMEN

El presente documento describe la metodología y selección de materiales adecuados en la construcción de un sistema de bancada para efectuar pruebas en sistemas de tracción eléctrica en motores de media potencia, empleando software CAD, desarrollando el proceso de diseño y manufactura del sistema.

En primer lugar, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de los materiales, con el objetivo de establecer la factibilidad de los mismos y así, proceder con la manufactura del sistema de bancada.

Posteriormente, se procedió a diseñar mediante el software Autodesk Inventor la estructura y soportes, para ello se consideró los esfuerzos a los que está sometida la estructura y los soportes del motor, así como vibraciones y peso. A continuación, se realizó la simulación empleando el Software Hypermesh. Una vez validado el modelo, se fabricó los componentes que conforman el sistema de bancada logrando un ensamblaje óptimo y se desarrolló una guía de funcionamiento.

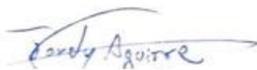
**Palabras clave:** bancada, tracción eléctrica, manufactura, deformación, CAD.



Ing. Efrén Fernández  
Director de trabajo de titulación



Ing. Robert Rockwood  
Coordinador de escuela



Jordy Germán Aguirre Jaramillo  
Autor



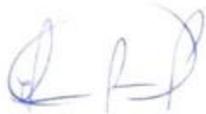
Luis Alberto Castillo Cueva  
Autor

# Design of an electric traction bench system for medium power electric motors.

## ABSTRACT

This document describes the methodology and selection of suitable materials in the construction of a bench system for testing electric traction systems in medium power motors, using CAD software, developing the design, and manufacturing process of the system. First, a bibliographic review of the materials was carried out, with the objective of establishing their feasibility and thus, proceed with the manufacture of the bedplate system. Subsequently, the structure and supports were designed using Autodesk Inventor software considering the stresses to which the structure and engine supports are subjected, as well as vibrations and weight. Next, the simulation was carried out using Hypermesh software. Once the model was validated, the components that make up the bedplate system were manufactured achieving an optimal assembly and an operation guide was developed.

**Keywords:** bedplate, electric traction, manufacturing, deformation, CAD.

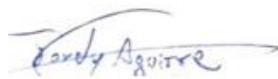


Ing. Efrén Fernández  
Thesis Director



Ing. Robert Rockwood  
School Coordinator

Translated by:



Jordy Germán Aguirre Jaramillo  
Author



Luis Alberto Castillo Cueva  
Author

# Diseño de un sistema de bancada de tracción eléctrica para motores eléctricos de media potencia.

**Jordy Aguirre Jaramillo**

Universidad del Azuay  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Ingeniería Mecánica Automotriz  
Cuenca, Ecuador  
jordyagui17@es.uazuay.edu.ec

**Luis Castillo Cueva**

Universidad del Azuay  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Ingeniería Mecánica Automotriz  
Cuenca, Ecuador  
luiscast10@es.uazuay.edu.ec

**Efrén Fernández Palomeque**

Universidad del Azuay  
Ingeniería Mecánica Automotriz  
Cuenca, Ecuador  
efernandez@uazuay.edu.ec

**Resumen.** — El presente documento describe la metodología y selección de materiales adecuados en la construcción de un sistema de bancada para efectuar pruebas en sistemas de tracción eléctrica en motores de media potencia, empleando software CAD, desarrollando el proceso de diseño y manufactura del sistema.

En primer lugar, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de los materiales, con el objetivo de establecer la factibilidad de los mismos y así, proceder con la manufactura del sistema de bancada.

Posteriormente, se procedió a diseñar mediante el software Autodesk Inventor la estructura y soportes, para ello se consideró los esfuerzos a los que está sometida la estructura y los soportes del motor, así como vibraciones y peso.

A continuación, se realizó la simulación empleando el Software Hypermesh. Una vez validado el modelo, se fabricó los componentes que conforman el sistema de bancada logrando un ensamblaje óptimo y se desarrolló una guía de funcionamiento.

**Palabras clave:** bancada, tracción eléctrica, manufactura, deformación, CAD.

**Abstract** — *This document describes the methodology and selection of suitable materials in the construction of a bench system for testing electric traction systems in medium power motors, using CAD software, developing the design, and manufacturing process of the system. First, a bibliographic review of the materials was carried out, with the objective of establishing their feasibility and thus, proceed with the manufacture of the bedplate system. Subsequently, the structure and supports were designed using Autodesk Inventor software considering the stresses to which the structure and engine supports are subjected, as well as vibrations and weight. Next, the simulation was carried out using Hypermesh software. Once the model was validated, the components that make up the bedplate system were manufactured achieving an optimal assembly and an operation guide was developed.*

**Keywords:** *bedplate, electric traction, manufacturing, deformation, CAD.*

## I. INTRODUCCIÓN

Es importante hacer un recorrido histórico de la tracción eléctrica. Las primeras aplicaciones de tracción eléctrica tuvieron lugar durante el siglo XIX con la locomotora eléctrica, gracias a la aparición del motor eléctrico de corriente continua, el posterior desarrollo del transformador de corriente alterna y, poco antes de la Segunda Guerra Mundial, la aparición de convertidores para la transformación en las propias locomotoras de corriente alterna en continua. Para comienzos del siglo XX ya existían tres tipos de sistemas de electrificación: el de corriente continua, trifásica y monofásica [3]. El campo automotriz en el Ecuador está migrando a vehículos propulsados con tracción eléctrica o híbrida. Según estadísticas de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), en el año 2022 se registró un incremento de ventas en vehículos híbridos y eléctricos de 2531 y 52 unidades respectivamente [1]; sin embargo, aún es mínimo el conocimiento y la experiencia para obtener una óptima adaptación a estas tecnologías presentes en la ingeniería automotriz. La eficiencia de estos vehículos es elevada en comparación a un motor de combustión, consecuentemente las emisiones se disminuyen considerablemente, especialmente al implementar energías limpias para generar energía [13]. Además, los motores eléctricos se diferencian de los motores térmicos por ser de menor tamaño; son silenciosos y no contaminan el medio ambiente; su potencia es constante en el arranque y al ser un motor simple supone un menor gasto en mantenimiento [10]. El controlador es un componente muy importante, ya que este se encarga de controlar la velocidad y par del motor en un rango establecido [14]. Para este caso se utilizó el controlador modelo Mc 3336 de la marca *Zhuhai Enpower Electric*.

Se han realizado diversos estudios empleando metodologías de simulación de análisis estático y dinámico, en el ámbito local la Universidad Politécnica Salesiana, en la ciudad de Cuenca, en el año 2013, se diseñó un banco didáctico para una transmisión de vehículo híbrido con una potencia de 245 Hp y 6000 rpm, en donde se destaca la ergonomía y seguridad para el operario. Además, se realizaron cálculos de esfuerzo-deformación obteniendo resultados de deformación en donde se apoya el sistema de tracción con un valor de 840e-6 m, para este caso los autores no realizan un análisis modal [4].

A nivel nacional, en la ciudad de Quito en el año 2016, la Escuela Politécnica Nacional, diseñó y construyó una estructura para un motor de 1Hp y 1800 rpm, empleando el programa de Ingeniería Asistida por Computador (CAE) — ANSYS®, estáticamente se obtuvo un valor de 32,74 mm de

desplazamiento máximo y modalmente 65,92 Hz para el modo más crítico [12].

En el medio internacional, en la Universidad de Sevilla en el año 2011, se diseñó una estructura para un motor de 11kW y 8000rpm. Se obtuvieron resultados mediante el programa de Ingeniería Asistida por Computador (CAE) – ANSYS®, en donde se destaca la deformación dinámica máxima 0,16 m y una frecuencia natural de 85,30 Hz para el primer modo de vibración [11].

## II. MATERIALES Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO

### Acero calidad SAE J 403 1008.

El acero SAE J 403 1008 es un metal que se utiliza comúnmente para la construcción principalmente de estructuras.

Características del acero calidad SAE J 403 1008:

- Alta resistencia a la tensión.
- Soporta cargas elevadas.
- Buena resistencia a la oxidación y corrosión.

### Elastómero sintético.

Elastómero de tipo sintético, es obtenido de derivados del petróleo mediante un proceso de vulcanización que, combinado con azufre, carbón y otros compuestos mejora las propiedades del mismo y es empleado para diversos propósitos, entre los que destacan: bujes, tuberías, neumáticos, etc.

Características del elastómero sintético:

- Buena elasticidad y flexibilidad.
- Atenúa el ruido provocado por vibraciones.
- Absorbe las vibraciones producidas por el movimiento.

### Consideraciones en el diseño.

**Necesidad del mercado:** Las empresas automotrices se encuentran innovando constantemente. En la actualidad el sector automotriz híbrido o eléctrico ha ido en aumento, este cambio se debe en gran parte a los avances electrónicos de potencia, sensores y control, haciendo posible una nueva idea de movilidad eléctrica, eficiente y autónoma [7]. El objetivo principal es reducir el consumo de combustible para a su vez disminuir las emisiones contaminantes al medio ambiente. Esto implica contar con un sistema donde sea posible realizar pruebas y obtener información acerca de cómo es el funcionamiento del sistema de tracción eléctrica de un vehículo de estas características.

**Funcionalidad (estructural):** Debido a las características del controlador Figura 1, fue necesario realizar varios modelos estructurales en los que se tomó en cuenta criterios de ergonomía, funcionalidad y de funcionamiento mecánico [4]. La bancada debe tener la capacidad de soportar el peso de todos los elementos que conforman el sistema de tracción eléctrica, así como de adaptaciones futuras, la deformación estática deberá ser baja y la frecuencia natural de la estructura tiene que ser mayor a 5000 rpm para el régimen de trabajo y así evitar problemas por vibraciones [11].



Figura 1: Controlador Zhuhai Enpower Electric.

Tabla 1. Características del controlador Zhuhai Enpower Electric, modelo Mc 336.

<b>Voltaje de entrada (DC) [V]</b>	80 @ 125
<b>Corriente de salida máxima (AC) [A]</b>	500
<b>Corriente nominal de salida [A]</b>	120
<b>Revoluciones máximas [rpm] o [Hz]</b>	5000 o 83,33

## III. METODOLOGÍA

La metodología empleada en este proyecto está compuesta por 5 etapas:

**Dimensionamiento:** Se partió diseñando la estructura acorde a las dimensiones del motor eléctrico, controlador y baterías, además de la altura ergonómica recomendada para trabajos pesados desde 90 cm hasta 100 cm, de este modo las dimensiones del boceto Figura 2 fueron las siguientes 100x60x65 cm sin considerar que los apoyos de elastómero sintético aportarán una altura de 5 cm, más la de los soportes del motor eléctrico 35 cm, dando como resultado una altura de 100 cm.

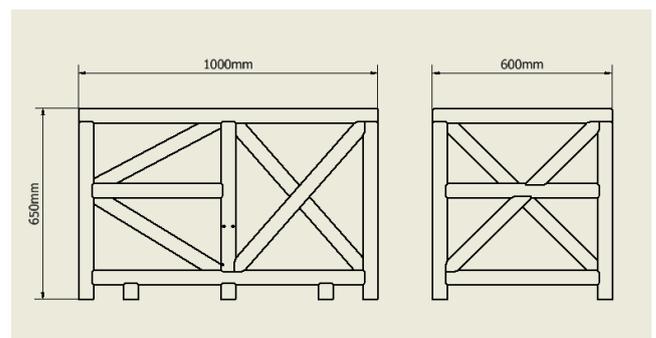


Figura 2: Dimensiones principales de estructura.

**Cálculos:** Para diseñar la dimensión de los pernos y cordones de soldadura se procedió a emplear las fórmulas del capítulo VIII y IX del libro “Diseño de ingeniería Mecánica de Shigley” [5] en donde se determinó el factor de seguridad.

### Cálculo de pernos.

Datos:

Perno de acero M18x80 G8.8

Hilo UNC 2,5 mm

Arandela de presión D=3/4plg

Tubo cuadrado acero 50x3 mm

Placa de acero laminada en caliente e=10 mm

Placa de acero laminado en caliente e=2mm

Longitud preferida del perno

L=80mm

Rigidez efectiva del perno en la zona de sujeción

$$K_b = 788,16 \times 10^6 \frac{N}{m}$$

Rigidez del elemento

$$K_m = 680,95 \times 10^6 \frac{N}{m}$$

Fracción de la carga externa P soportada en el perno

C = 0,536

Factor de seguridad

n = 6

### Cálculo del cordón de soldadura para flexión en juntas soldadas.

Datos:

Base b=10 mm

Altura d=260mm

Altura del cordón de soldadura h=5mm

$\bar{X}$ =5mm

$\bar{Y}$ =130 mm

V=18225 N (Fuerza ejercida en el soporte del motor)

Acero laminado en caliente SAE J 1008 Sy=240 Mpa

Electrodo ER70 S-6 Sy=470 Mpa

Área de la garganta

A =  $1,9 \times 10^{-3} m^2$

Segundo momento unitario del área

Iu =  $3,27 \times 10^{-3} m^3$

Cortante primario

$\tau' = 9,59 Mpa$

Cortante secundario

$\tau'' = 53,29 Mpa$

Resultado de esfuerzos cortantes primario y secundario.

$\tau = 54,15 Mpa$

Factor de seguridad del material de aporte.

n = 5,2

Factor de seguridad del material de base.

n = 1,77

**Digitalización:** Para realizar un diseño es necesario partir de un boceto, el cual se realizó empleando software (Autodesk Inventor), donde se analizó la estructura minuciosamente y se corrigieron errores en el modelo y de esta forma se crearon varias estructuras. Luego se empleó el programa de Ingeniería Asistida por Computador (CAE) – Altair Hyperworks® y se estableció, que la estructura que mejor se complementa al sistema de tracción es la mostrada en la Figura 3, con las

siguientes dimensiones 100x60x65 cm, debido a que, esta es la que menor material requiere para su construcción, se adapta de manera adecuada a los componentes, es ergonómica para trabajos pesados y cumple con las revoluciones máximas del controlador 5000 rpm o 83,33 Hz.

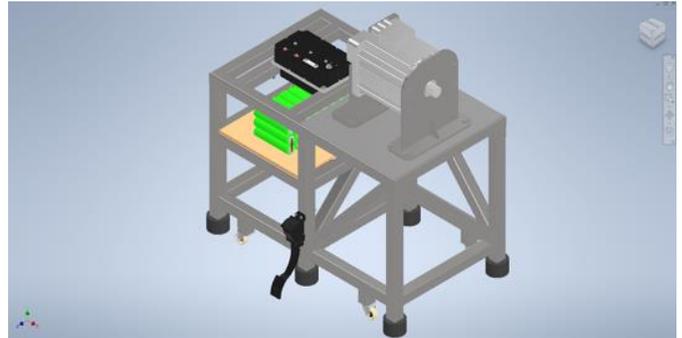


Figura 3: Prototipo final (Sistema de bancada).

**Factibilidad de construcción:** El acero SAE J 403 1008 es un metal resistente y fácil de conseguir, además, es ideal para construcciones estructurales, debido a que es de fácil unión mediante soldadura y el precio de venta en el mercado es accesible.

De cada componente a construir se realizaron los bocetos y medidas, empleando Software (Autodesk Inventor). Con esto se empezó a realizar la estructura Figura 4, hasta finalizar con los soportes de elastómero.

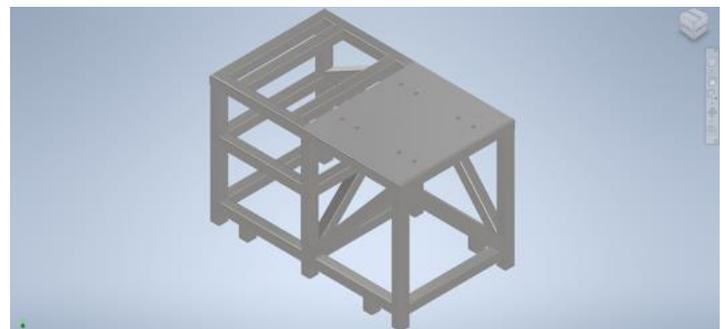


Figura 4: Estructura, prototipo final (Sistema de bancada).

Se procedió a comprobar que cada una de las mediciones realizadas se acoplen correctamente con su respectivo componente, especialmente en los puntos de anclaje de los soportes con el motor como se muestra en la Figura 5.

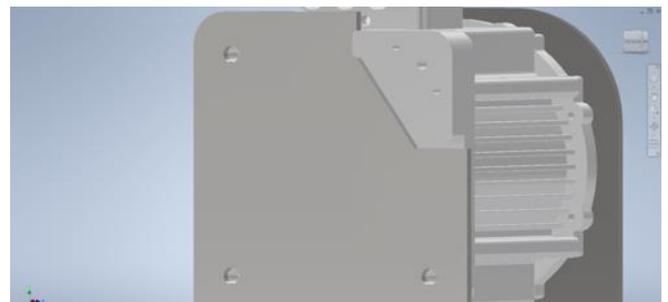
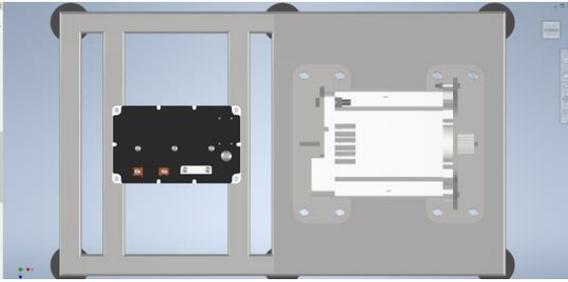


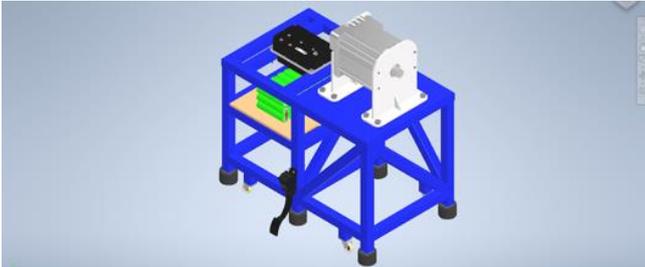
Figura 5: Anclaje de soportes con motor eléctrico.

Luego, se verificó el correcto anclaje de los puntos de sujeción del controlador con la estructura y las bases del soporte con la estructura, como se ilustra en la Figura 6.



**Figura 6:** Anclaje de controlador y bases de soportes del motor con estructura.

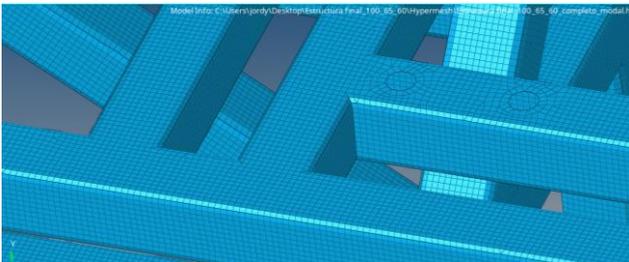
Posteriormente, se realizó el ensamblaje de los componentes utilizando el Software (Autodesk Inventor), verificando que todos los elementos se acoplan adecuadamente, como se observa en la Figura 7.



**Figura 7:** Ensamblaje de componentes en el (Sistema de bancada).

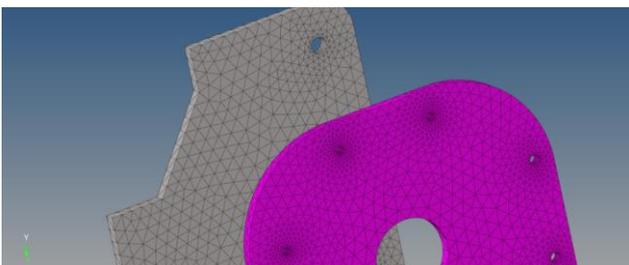
**Simulación en software (Hypermesh):**

Para efectuar la operación de mallado de la estructura se consideró elementos 2D mixtos de primer orden para el caso de análisis esfuerzo-deformación. En cambio, se emplearon elementos 2D mixtos de segundo orden en el caso del análisis modal, con un tamaño de elementos de 4mm Figura 8. Debido a que son consideradas las mejores opciones para análisis estructurales.



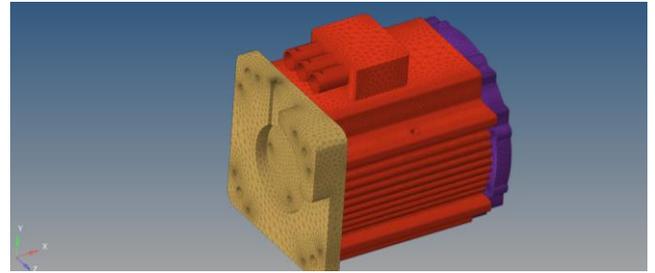
**Figura 8:** Tamaño de mallado 2D (4 mm) en la estructura del conjunto: motor, controlador y baterías.

En el caso de los soportes, se implementó elementos 3D del tipo “trias” de segundo orden y con un tamaño de 20 mm Figura 9.



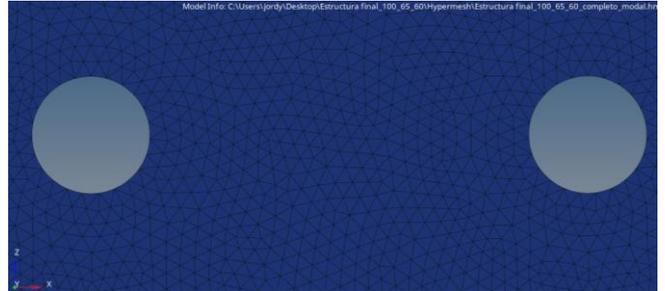
**Figura 9:** Tamaño de elementos 3D (20 mm) en soportes del motor eléctrico.

En el caso del motor se procedió a mallar con elementos 3D del tipo “trias” de segundo orden con un tamaño de elementos de 20 mm Figura 10.



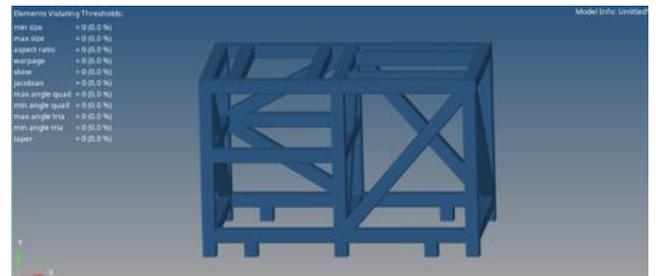
**Figura 10:** Tamaño de elementos 3D en motor eléctrico (20 mm).

Para el caso de la placa de 2 mm de espesor se utilizó elementos del tipo “trias” 3D de segundo orden con un tamaño en sus elementos de 2 mm Figura 11.



**Figura 11:** Tamaño de malla placa de 2 mm.

En el caso de la estructura se procedió a comprobar la calidad del mallado Figura 12 verificando que no existen problemas de calidad, para su posterior simulación.



**Figura 12:** Comprobación de calidad del mallado en estructura.

Luego, se realizó la configuración de las propiedades de materiales, cargas, apoyos y se estableció el tipo de análisis, para este caso análisis lineal estático y modal, utilizando elementos rígidos para simular los pernos que sujetan a los soportes con el motor de imanes permanentes; a la estructura con el controlador y a las bases de los soportes. Luego, se establecieron las propiedades del acero SAE J 403 1008 [8] y el aluminio [2] detallados en la tabla 2.

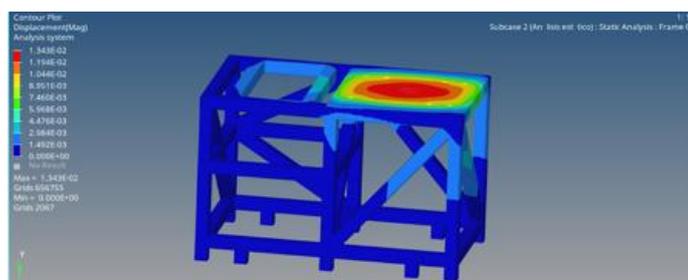
**Tabla 2:** Propiedades mecánicas de los materiales.

Propiedades mecánicas	Acero SAE J 1008	Aluminio
Límite de fluencia [Mpa]	240	179
Módulo de elasticidad [Mpa]	210000	70000
Coefficiente de Poisson	0.33	0.30
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	7872	2700

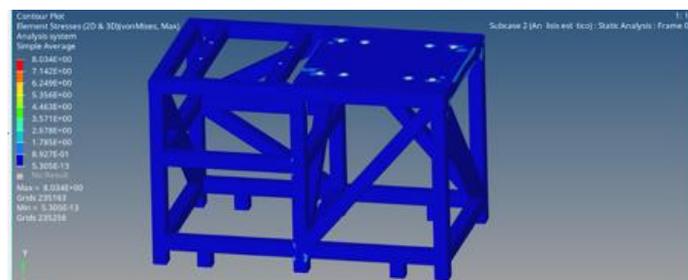
Para el análisis estático se colocaron las respectivas cargas en la estructura Tabla 3 y se obtuvieron los resultados de desplazamiento Figura 13 y de esfuerzo de Von Mises Figura 14.

**Tabla 3:** Cargas aplicadas a la estructura.

Componente	Masa [kg]	Peso [N]
Motor de imanes permanentes	54	529.74
Soporte frontal	11.197	109.84
Soporte posterior	9.866	97.79
Controlador	5.7	55.92

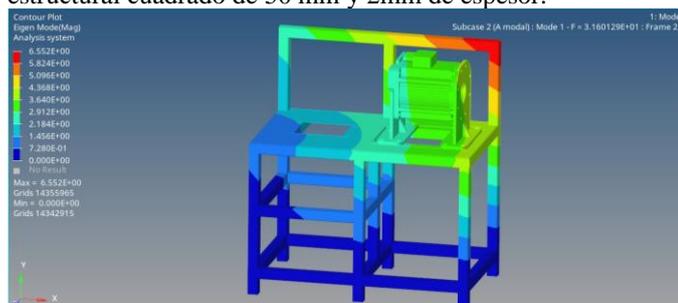


**Figura 13:** Resultado del desplazamiento máximo en la estructura 0.0134 mm.



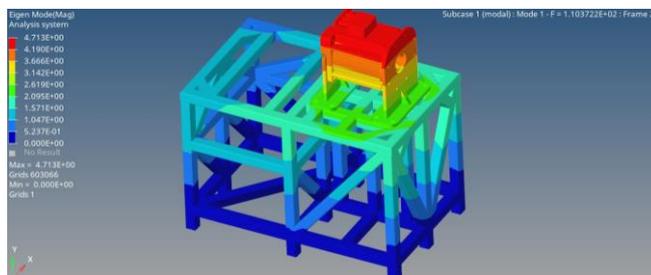
**Figura 14:** Resultado del esfuerzo de Von Mises máximo en la estructura 8.03Mpa. Fuente: Autores.

Luego de obtener el esfuerzo de Von Mises, el cual se define como una tensión, que se caracteriza por ser un número escalar obtenido de la combinación de todas las tensiones presentes en el espacio (x, y, z) [9]. Se analizaron tres diseños estructurales, en el primero se obtuvo un valor de 31,60 Hz como se ilustra en la Figura 15, en este caso se empleó un tubo estructural cuadrado de 50 mm y 2mm de espesor.



**Figura 15:** Análisis modal, caso uno (Sistema de bancada).

En el segundo un valor de frecuencia de 110,37Hz Figura 16, empleando un mayor número de tubos estructurales con perfil cuadrado de 50 mm y 3mm de espesor.

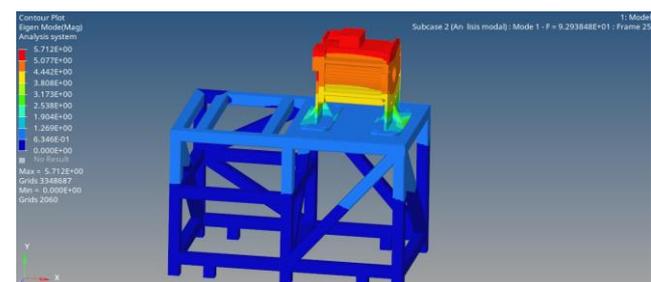


**Figura 16:** Análisis modal, caso uno (Sistema de bancada).

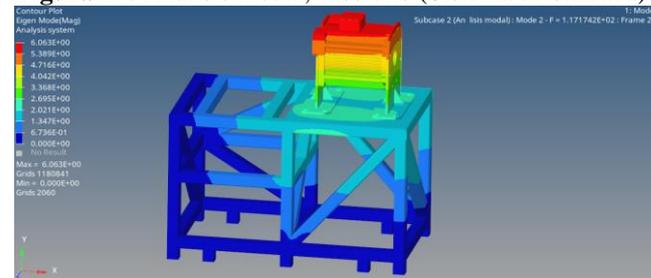
En la tercera propuesta de diseño se eliminó la mayor cantidad de tubos posibles sin afectar considerablemente la frecuencia natural, luego se procedió a establecer el caso de análisis modal, para ello se analizaron los primeros 3 modos de vibración Figuras 17, 18 y 19. Obteniendo los siguientes valores de frecuencia tabla 4. Estableciendo que la estructura no entrará en una condición de resonancia provocada por el funcionamiento del motor de imanes permanentes, determinándola como la opción adecuada, debido a que el controlador trabaja a una frecuencia máxima de 5000 rpm y la estructura es capaz de soportar frecuencias hasta 5575 rpm sin considerar que los apoyos de elastómero aumentarán está frecuencia. Evitando así llegar a una condición de resonancia provocada por la coincidencia de las frecuencias de funcionamiento del motor [12].

**Tabla 4:** Resultados de los modos de frecuencia.

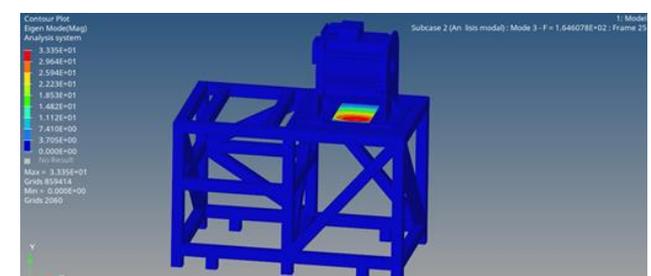
Modos de frecuencia	Resultados en [Hz]	Resultados en [rpm]
1	92,94	5575,8
2	117,17	7030,2
3	164,61	9876,6



**Figura 17:** Análisis modal, caso uno (Sistema de bancada).



**Figura 18:** Análisis modal, caso dos (Sistema de bancada).



**Figura 19:** Análisis modal, caso tres (Sistema de bancada).

La robustez de la estructura obedece a la necesidad de evitar resonancia para un espectro de 0 a 5000 RPM, la mejor manera de ilustrarlo es a través de un diagrama de Campbell con 4 frecuencias armónicas (0.5x, 1x, 2x, 3x) Figura 20, el cual nos indica que existen 2 velocidades síncronas o puntos críticos en cada modo de vibración del motor causados por desbalance del eje y que ocasionarán resonancia en la estructura. Estos modos de vibración son para excitaciones con frecuencias armónicas al régimen de giro del motor.

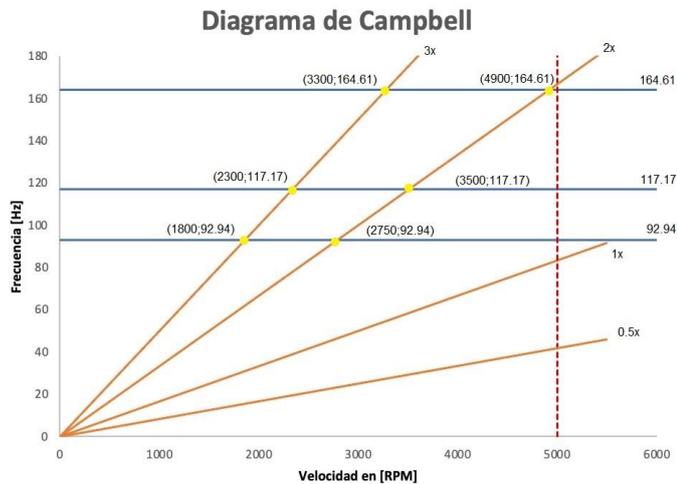


Figura 20: Diagrama de Campbell.

#### Manufactura:

Una vez obtenido el prototipo final de la simulación, se procedió a fabricar la estructura base Figura 21, con tubos cuadrangulares de 50 mm y 3mm de espesor, donde se utilizó suelda tipo MIG con electrodos ER70S-6 para las uniones de todos los tubos, ya que son los alambres de mejor rendimiento y los que tienen mayores niveles de silicio y manganeso como desoxidantes, haciéndolos adecuados para la soldar casi todos los aceros [6].



Figura 21: Proceso de manufactura (Sistema de bancada).

Después, se continuó con el proceso de mecanizado de los soportes del motor Figura 22, y con los planos obtenidos, se realizaron los respectivos cortes en la máquina CNC, obteniendo unos acabados satisfactorios. A continuación, se ensambló el motor con los soportes laterales, se verificó un correcto acoplamiento entre ambas partes con el motor, para finalmente soldar ambos soportes con sus respectivas bases.



Figura 22: Mecanizado de soportes del motor de imanes permanentes.

Seguidamente, se procedió a soldar la plancha de acero de 2mm de espesor, en la parte superior derecha de la estructura, después se pintó la estructura y soportes con una base anticorrosiva y se ensambló todas las partes del sistema de bancada, para verificar un ajuste adecuado de todas sus partes como se observa en la Figura 23.



Figura 23: Ensamblaje de componentes.

Luego de comprobar el correcto ajuste de los componentes del sistema de tracción eléctrica se procedió a aplicar dos capas de pintura "azul español" en toda la estructura y color blanco brillante para los soportes del motor como se observa en la Figura 24. Finalmente se procedió a ensamblar todos los componentes y se realizaron las pruebas de funcionamiento correspondientes.

Medición de voltaje requerido en las baterías 95V y se verificó el movimiento del motor con el selector de marcha en neutro, avance y retroceso.

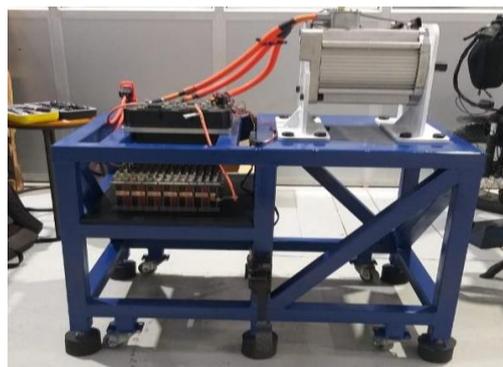


Figura 24: Destallado de sistema de bancada.

#### IV. ALCANCE Y RESULTADOS

Para escoger el material adecuado para la estructura se analizó las propiedades mecánicas, en este caso del acero, el cual presenta excelentes propiedades en referencia a elasticidad y resistencia. En el diseño se escogió una de las 3 propuestas de estructuras considerando: el costo de manufactura; peso de la estructura, además del tamaño y ergonomía.

Al finalizar la manufactura se obtuvo una estructura compacta donde todos los componentes encajan adecuadamente y la estructura es totalmente funcional. Además, los resultados de desplazamiento son insignificantes 0.0134 mm. El primer modo de vibración en la simulación arrojó un valor de 5575 rpm sin considerar que los elastómeros ayudan a mitigar la resonancia provocada por el movimiento del motor, corroborando que no fallará cuando esté funcionando a las rpm máximas configuradas en el controlador, que para este caso es de 5000 rpm.

#### V. CONCLUSIONES

Se diseñó la geometría inicial de la estructura, considerando materiales adecuados, además de las zonas de anclaje del controlador, baterías, pedal de acelerador y soportes del motor. Posterior a ello, se determinó el correcto ensamblaje de los componentes, obteniendo un resultado satisfactorio en el proceso de manufactura y ensamblaje final de los respectivos componentes montados en el sistema de bancada.

Se inició con una propuesta de diseño que no era lo suficientemente rígida obteniendo un valor de 31,6 Hz, luego, se realizaron modificaciones en espesores y geometría haciendo que la estructura sea demasiado rígida y pesada con una frecuencia de 110,37Hz, por lo cual se llegó a la propuesta final, cuyo primer modo de vibración fue de 92,94 Hz cumpliendo con la configuración del controlador 83,33 Hz.

El proceso de manufactura que se usó de los soportes y bases del motor fue el de corte a láser, logrando unos buenos acabados, sin embargo; existe un corte que es capaz de realizar mejores resultados, el cual se denomina corte con chorro de agua, cuya precisión tiene una tolerancia de  $\pm 0.025$ mm. El cual no se empleó, debido a limitaciones en el presupuesto.

#### VI. REFERENCIAS

- [1] AEADE. (2022). Anuario 2022 AEADE. <https://www.aeade.net/anuario/>
- [2] ALU-STOCK. (s.f.). El aluminio. <https://www.aeade.net/anuario/https://www.alu-stock.es/es/informacion-tecnica/el-aluminio/>
- [3] Amundarain, I. (2019). Ingeniera Tecnóloga Industrial. "Rediseño de una bancada de laboratorio para tracción

eléctrica con motor de inducción". Universidad Politécnica de Madrid. [Tesis de grado]

- [4] Andrade, M & Suárez, E. (2013). Ingeniero Mecánico Automotriz. Diseño y construcción de un banco didáctico funcional de una transmisión de un vehículo híbrido. Universidad Politécnica Salesiana. [Tesis de grado]
- [5] Budynas, R. & Keith Nisbett (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Novena edición. [Libro]
- [6] DE MAQUINAS Y HERRAMIENTAS (s.f.). Tipos de alambres utilizados con soldadura MIG. <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/tipos-de-alambres-utilizados-con-soldadura-mig>
- [7] Frías, J; Román, P. (2019). Vehículo eléctrico: situación actual y perspectivas futuras, 11-20. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6932909>
- [8] Luz, G. (2020). Ingeniero mecánico. SAE 1008 Propiedades (Mecánicas, Químicas y Clasificación) <https://www.materiales.gelsonluz.com/2020/12/sae-1008-propiedades-mecanicas-quimicas.htm>
- [9] Pereiras, J. (2018). ¿Qué es y para qué sirve la tensión de Von Mises? <https://www.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-y-para-sirve-la-tensi%C3%B3n-de-von-mises-jose-manuel-pereiras/?originalSubdomain=es>
- [10] Ruíz, M. (2015). Tecnóloga en Electricidad. Pasado, presente y futuro de vehículos eléctricos. Universidad Tecnológica de Pereira. [Tesis de grado]
- [11] Soler, J (2011). Ingeniero Industrial. Banco dinámico para motores de poca potencia, equipo ITI Sevilla. Universidad de Sevilla. [Tesis de grado]
- [12] Sotomayor, D. & Castellanos, S. (2016). Magister en Diseño Producción y Automatización Industrial. Diseño y construcción de un banco de pruebas para la detección de fallas en motores de inducción trifásicos. Escuela Politécnica Nacional. [Tesis de grado]
- [13] Vélez, J. (2017). Ingeniero Eléctrico. Análisis y estimación de la demanda eléctrica con la implementación de vehículos eléctricos conectados a una red de distribución en Cuenca y El Ecuador. Universidad de Cuenca [Tesis de grado]
- [14] Yáñez, M & Troya, D. (2022). Ingeniero Automotriz. Instalación de motor eléctrico automotriz. Universidad Internacional del Ecuador. [Tesis de grado]

VII. ANEXOS



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

GUÍA DE FUNCIONAMIENTO DISEÑO DE UN SISTEMA  
DE BANCADA DE TRACCIÓN ELÉCTRICA PARA  
MOTORES ELÉCTRICOS DE MEDIA POTENCIA

AUTORES:

Jordy Germán Aguirre Jaramillo

Luis Alberto Castillo Cueva

Cuenca - Ecuador

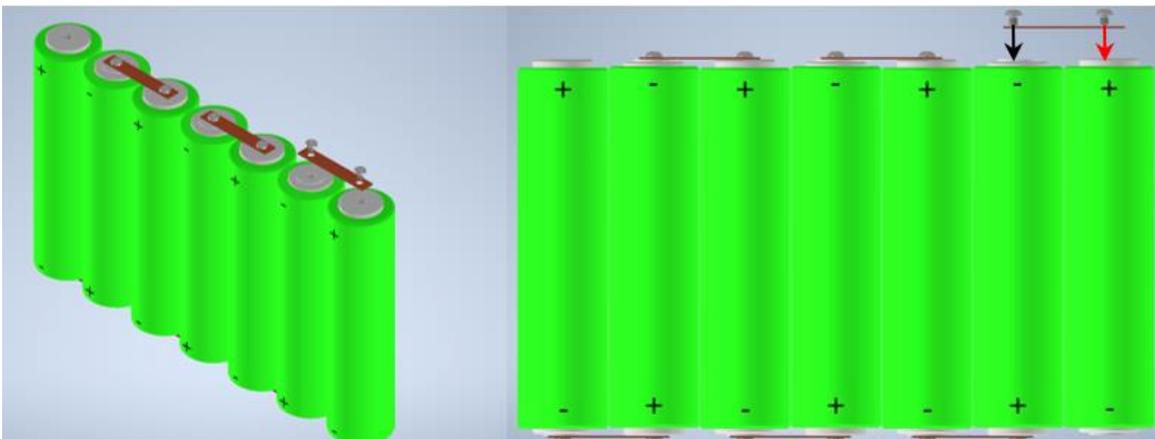
2023

El sistema de tracción eléctrica está conformado por los siguientes componentes: Motor de inducción, controlador, baterías y pedal de aceleración. A continuación, se presenta una guía donde se indican las características del motor de imanes permanentes y controlador. Además, se explica cómo realizar las conexiones e instalación del sistema.

### 1. Proceso de instalación de baterías (conexión en serie).

Este tipo de conexión sirve para aumentar el voltaje de las celdas de batería. En este caso se requiere un voltaje nominal de 95V.

Para conseguir este voltaje se requiere conectar las celdas de acuerdo a lo mostrado en la (Fig. 1):



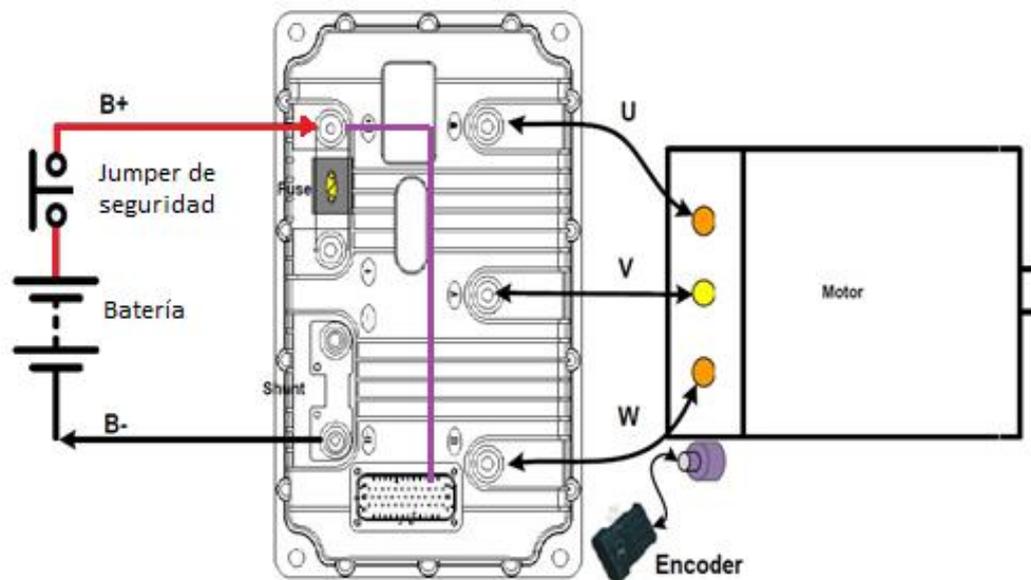
**Figura. 1.** Esquema de conexión celdas de batería, disposición en serie. Fuente: Autores.

A continuación, comprobar el voltaje empleando un multímetro ajustado en voltaje DC (Fig. 2).



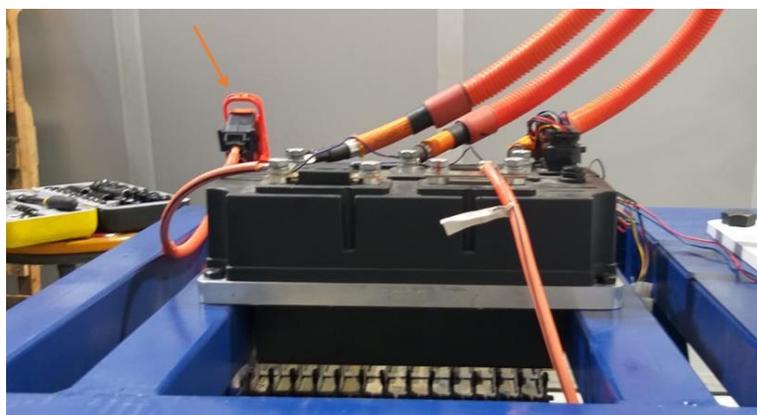
**Figura. 2.** Comprobación de voltaje de baterías. Fuente: Autores.

Conecte el pedal del acelerador al conector designado en el controlador. Luego, proceda a conectar el motor con el controlador verificando que los cables color (naranja) con denominaciones (U, V, W) coincidan con los puntos de anclaje del controlador. Posteriormente, conecte el positivo de la batería al positivo del controlador y negativo de la batería al negativo del controlador, adicionalmente conecte el cable color (morado) que es el interruptor al positivo del controlador (Fig. 3).



**Figura. 3.** Conexiones de batería, controlador y motor eléctrico. Fuente: Autores.

Proceda a conectar el jumper de seguridad en su respectivo punto de conexión (Fig. 4) y verificar que el relé se active.



**Figura. 4.** Conexión de jumper de seguridad. Fuente: Autores.

Por último, presione el pedal del acelerador progresivamente y compruebe el movimiento del motor eléctrico.

## 2. Motor y controlador especificaciones y parámetros técnicos:

**Tabla.1** Especificaciones del motor eléctrico de imanes permanentes.

<b>Especificaciones del motor de imanes permanentes</b>	
Modelo	Y13120006
Potencia nominal	18 KW
Potencia máxima	40 KW
Torque nominal	57.3 Nm
Torque máximo	150 Nm
Voltaje nominal	76 VAC
Velocidad nominal	3000 rpm
Velocidad máxima	7500 rpm
Conexión	Y
Peso	54 kg

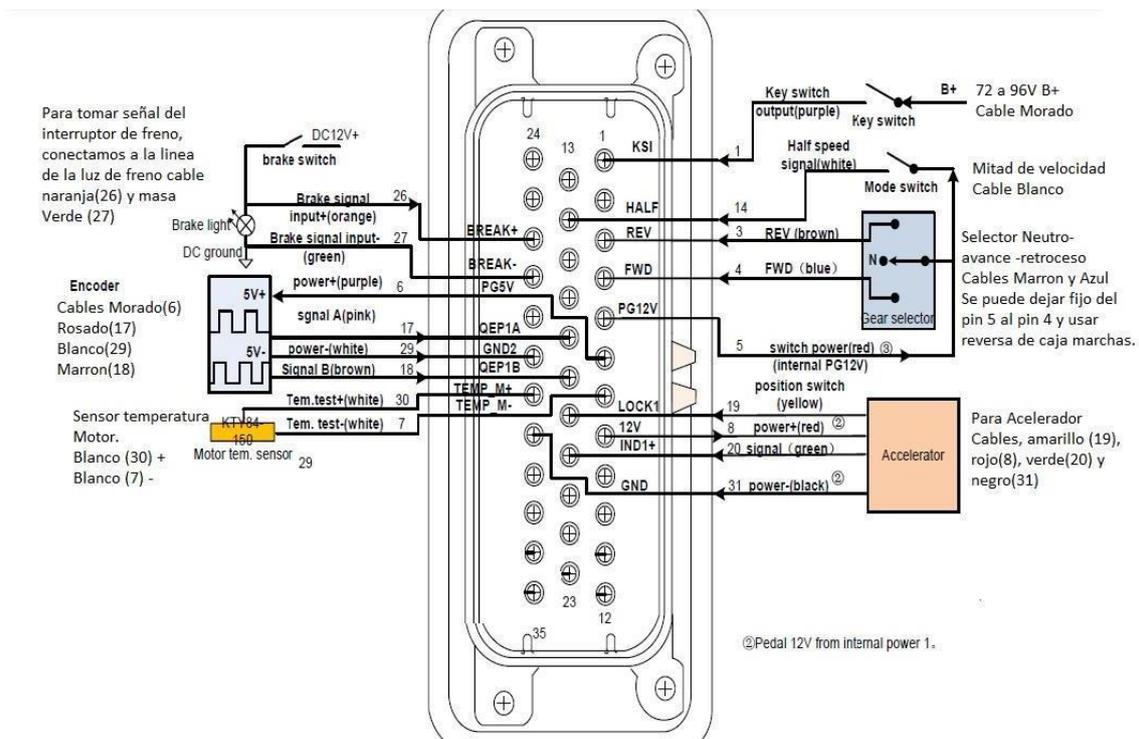
**Tabla.2** Especificaciones del controlador y parámetros técnicos.

<b>Especificaciones del controlador</b>	
Rango del voltaje de entrada (DC/V).	80~125
Corriente de salida máxima (AC/A)	500
Corriente nominal de salida (AC/A)	120
Voltaje de arranque del controlador (DC/V)	55
Potencia máxima de salida (KW)	55
Temperatura de operación	-30°C ----- 55°C
Grado de protección	IP65
Eficiencia	98%

Enfriamiento	Aire acondicionado
Choque y vibración	GB/T2423
Método de control del motor	El algoritmo de control vectorial con sensor de velocidad.
Protocolo de comunicación	CAN
Peso	5,7 kg
Requisito de enfriamiento	El controlador debe instalarse en un lugar de buena ventilación.

### 3. Esquema de conexión controlador, pedal de acelerador, motor de inducción y paquete de baterías de 93V.

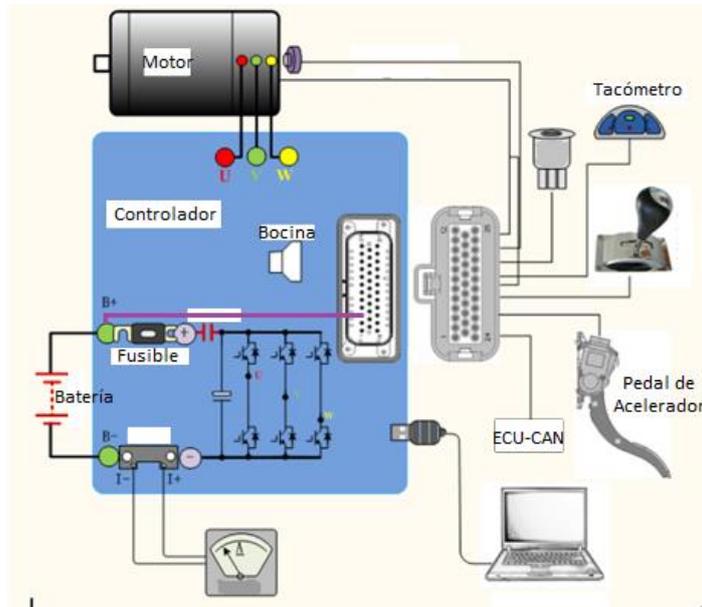
Verifique que cada uno de los componentes se encuentren ensamblados de acuerdo al esquema de conexión mostrado a continuación (Fig. 5).



**Figura. 5.** Esquema de conexión sistema de tracción eléctrica. Fuente: Autores.

#### 4. Componentes del sistema de tracción eléctrica de media potencia.

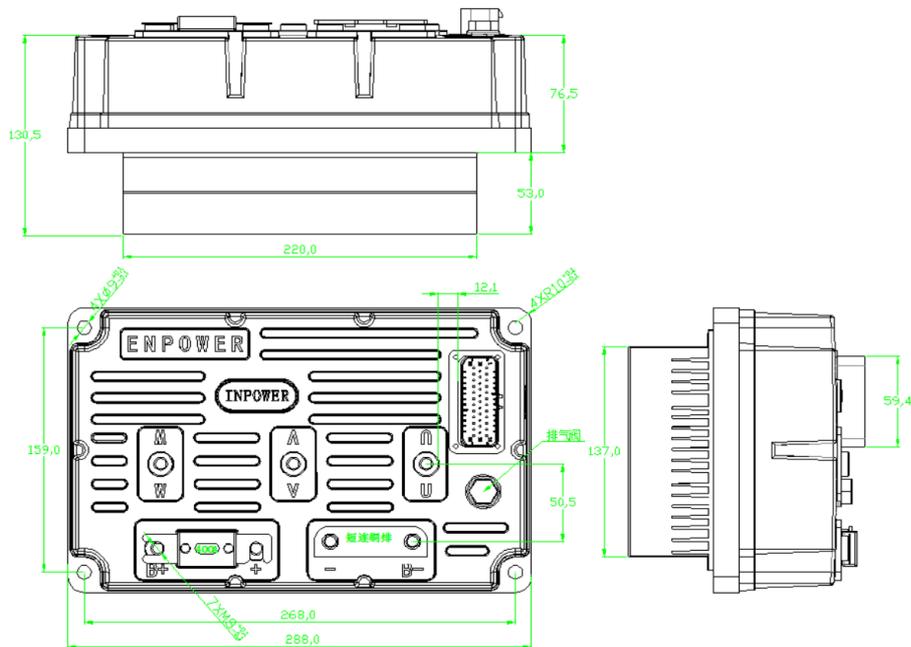
A continuación, se detallan los componentes que incorpora un sistema de tracción eléctrica para motores de media potencia (Fig. 6).



**Figura. 6.** Componentes del sistema de tracción eléctrica. Fuente: Autores.

#### 5. Dimensiones del controlador:

Para temas de instalación, se muestra en la siguiente figura las dimensiones del controlador (Fig. 7).



**Figura. 7.** Dimensiones del controlador. Fuente: Autores.

## 6. Códigos de fallo, sonidos y posibles causas:

En la siguiente tabla se muestran los códigos de fallo detectados por el controlador:

**Tabla 3:** Códigos de fallo, sonidos y posibles causas.

Código de fallo	Sonido	Posibles causas
0	Sin sonido	No hay fallas en este momento o el controlador no funciona.
1	Pitido continuo	Hay salida de señal cuando se presiona el pedal y se enciende el KSI; Conexión del pedal mal o señal no coincide con el controlador.
2	1 largo, 2 cortos	Encendido fallido (reinicio)
3	1 largo, 3 cortos	Sobrecorriente (cortocircuito de la conexión del cable del motor, aflojado o señal del codificador incorrecta)
4	1 largo, 4 cortos	Sobrecalentamiento del controlador (parada y enfriamiento)
5	1 largo, 5 cortos	El relé no funciona o está desconectado en B+ (verifique el voltaje entre B+ y B- que debería ser el voltaje de la batería).
6	1 largo, 6 cortos	Avería de detectores de corriente (retorno a reparación de depósito).
7	1 largo, 7 cortos	falla del codificador (compruebe si la salida de señal está bien).
8	1 largo, 8 cortos	Falla de BMS (que es solo para el sistema de batería de litio).
9	1 largo, 9 cortos	Voltaje bajo (verifique el voltaje de la batería).
10	1 largo, 10 cortos	Sobrevoltaje (Compruebe el voltaje de la batería).
11	1 largo, 11 cortos	Sobrecalentamiento del motor (parar para enfriar o comprobar el termistor).
13	1 largo, 13 cortos	Fallo del pedal de aceleración

## **7. Normas de seguridad para operar sistema de bancada y componentes del sistema de tracción eléctrica.**

Emplee las siguientes normas de seguridad:

- Guantes de seguridad.
- Mandil.
- Zapatos de punta de acero.
- No equipar accesorios metálicos (anillos, collares, manillas, etc.)
- Emplee dados en vez de llaves para evitar accidentes en las celdas de batería y controlador.
- Mantenga una distancia segura con respecto al eje del motor cuando esté en funcionamiento.
- Asegúrese de que las bases de caucho se apoyen en el suelo al momento de su funcionamiento y no las ruedas.
- No toque el controlador cuando esté operando.
- Si ocurre un percance desconecte el jumper de seguridad o coloque el interruptor del relé en la posición off.