



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

“Diseño y construcción de un vehículo monoplaza impulsado eléctricamente”

Autores:

Boada Veintimilla, Willians Salomón

Montenegro Usama, Oswaldo Israel

Raza Mera, Nicolás Alexander

Director:

Ing. Torres Muñoz, Guido Rafael

Latacunga, enero de 2023



ÍNDICE DE CONTENIDO

- Antecedentes
- Planteamiento del problema
- Descripción resumida del proyecto
- Justificación e importancia
- Objetivos del proyecto
 - Objetivo General
 - Objetivos Específicos
- Metas
- Hipótesis



- ❑ **Marco teórico**
 - ❑ **Componentes de vehículos eléctricos**
 - ❑ **Movilidad eléctrica**
 - ❑ **Sistema de chasis**
 - ❑ **Sistema de propulsión**
 - ❑ **Sistemas automotrices**



Diseño y selección

Estructura

Carrocería

Sistema de dirección

Sistema de suspensión

Sistema de propulsión y control

Sistema de iluminación y auxiliares



- ❑ **Construcción del vehículo**

- ❑ **Estructura**

- ❑ **Construcción y ensamblado de la carrocería**

- ❑ **Implementación del sistema de propulsión**

- ❑ **Sistemas automotrices**

- ❑ **Sistema eléctrico**



Prueba y análisis de resultados

Prueba de autonomía calculada

Primera prueba

Segunda prueba

Tercera prueba

Cuarta prueba

Prueba de autonomía experimental

Prueba de velocidad máxima y aceleración

Prueba de carga de batería

Conclusiones

Recomendaciones



MARCO METODOLÓGICO



ANTECEDENTES

La aparición de vehículos completamente eléctricos aumentó en los últimos años como una alternativa de movilidad más amigable con el medio ambiente, a comparación con los vehículos de combustión interna, ya que los mismos producen emisiones contaminantes menores. Además, es una alternativa más económica, en relación a los combustibles fósiles como la gasolina, que tienen un precio más elevado que la electricidad en el medio en el que vivimos.

Existen diversos tipos de vehículos eléctricos con finalidades distintas, de acuerdo a las necesidades en diversos ámbitos como la agricultura, industria, movilidad de personas de capacidades especiales, transporte público y privado, transporte de carga, entre otros.

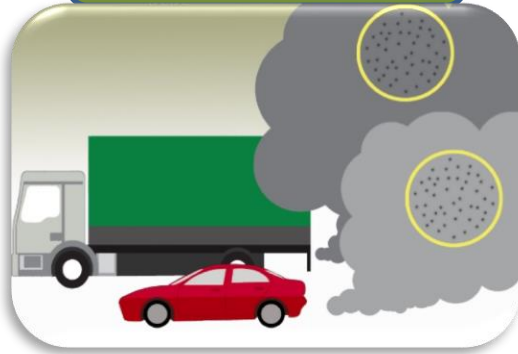
“Si bien los autos eléctricos tienen amplias ventajas, ya que son más ecológicos, en comparación de un carro típico que funciona con gasolina o Diesel. Numerosas investigaciones han demostrado que los automóviles ecológicos son más eficientes y, por lo tanto, producen menos emisiones dañinas, incluso se consideran que son las emisiones creadas por las plantas que generan la electricidad.” (KIA, 2017)

Según la normativa NTE INEN 2656, en donde se establece la clasificación de vehículos motorizados y no motorizados de acuerdo a sus características y usos, el vehículo eléctrico propuesto pertenece a la categoría L, subcategoría L6 con el código CMT1 en el que se describe a vehículos de 4 ruedas eléctricos con una potencia máxima de 4 kW.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Altas emisiones
contaminantes



Costos de
combustible



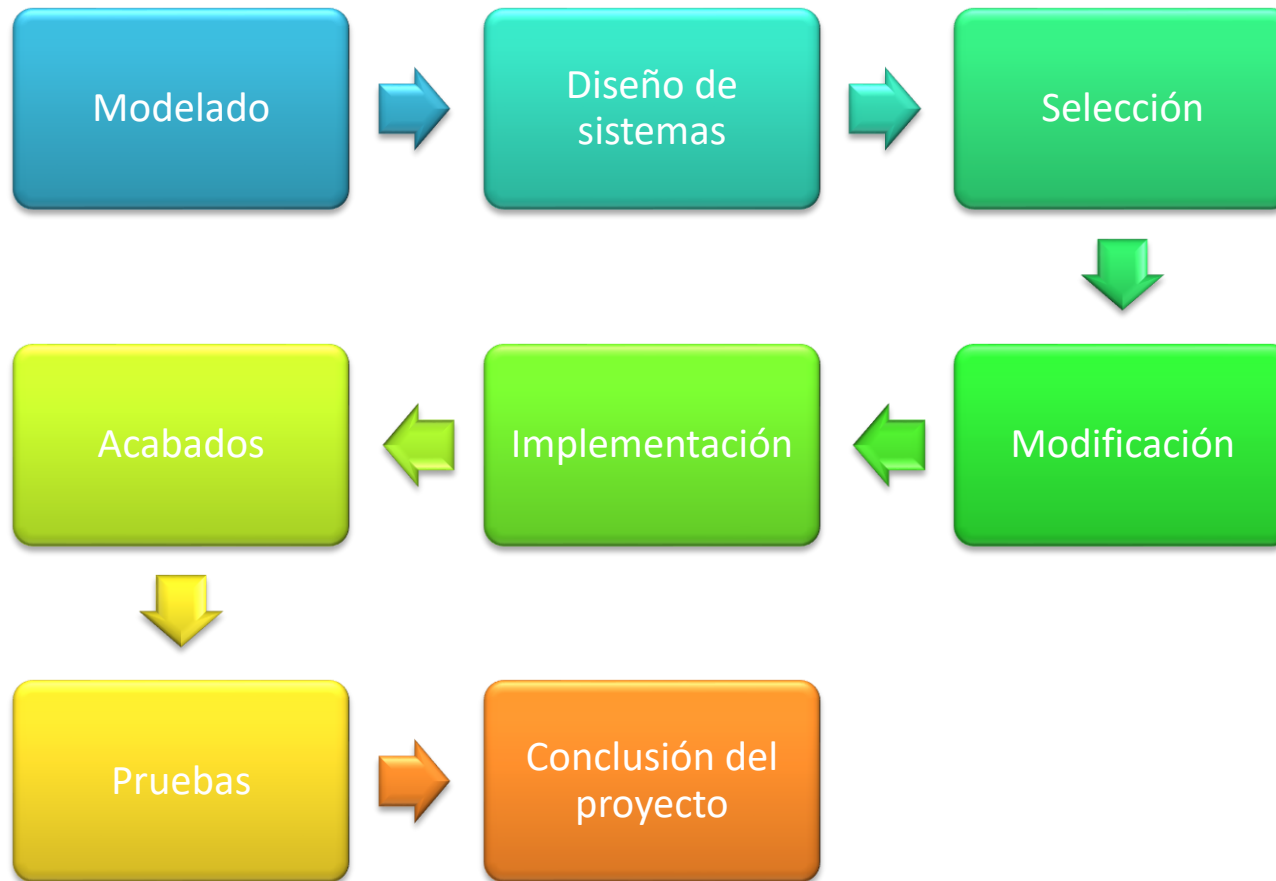
Contaminación
auditiva



Simplificación
mecánica



DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO



JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Diseño

Disminución
de
emisiones

Disminución
de ruido

Disminución
de costos



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

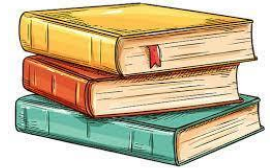
OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un vehículo monoplace propulsado eléctricamente que sirva para la movilización cotidiana en entornos urbanos.

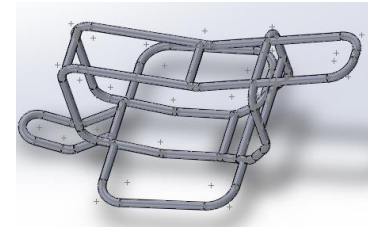


OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Fundamentar de manera teórica y científica el diseño y construcción de un vehículo eléctrico.



Realizar el modelado del monoplaza con su respectiva simulación de cargas presentes en la estructura para comprobar que no existan deformaciones excesivas y su funcionamiento sea adecuado.



Efectuar el diseño de los distintos sistemas automotrices presentes en el vehículo mediante cálculos matemáticos para obtener datos dimensionales de sus componentes.

$$\sum \pi \int_{-\infty}^{\infty} \neq$$

$(a+b)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} a^{n-k} b^k$



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Construir el vehículo eléctrico mediante la utilización de los materiales adecuados que proporcionen la seguridad necesaria y que cumplan con las características obtenidas mediante simulación.



Seleccionar los componentes de los distintos sistemas automotrices con las características adecuadas para cumplir con los datos obtenidos mediante el diseño.



Implementar los componentes seleccionados en el vehículo eléctrico.



Realizar pruebas de autonomía del vehículo eléctrico en distintos entornos.



Evaluar el diseño realizado mediante simulación y obtener datos de las cargas presentes.

Seleccionar los componentes de cada sistema presente en el vehículo tomando en cuenta los datos obtenidos mediante cálculos matemáticos.

Ensamblar los componentes de cada sistema automotriz en el vehículo, para que funcione correctamente.

Obtener un monoplaza impulsado eléctricamente que sea seguro para el ocupante cumpliendo las normativas para vehículos eléctricos.

Comprobar la autonomía del vehículo eléctrico poniéndolo a prueba en distas rutas, así como su velocidad máxima y el consumo del mismo.



HIPÓTESIS

- ¿El vehículo eléctrico monoplaza alcanzará una autonomía de 60 kilómetros con una sola carga y circulando a distintas velocidades en diferentes entornos variando el peso del conductor?



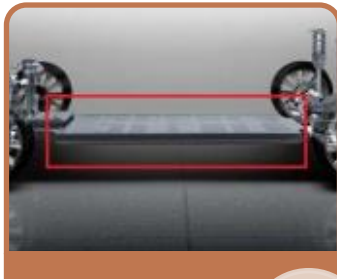
MARCO TEÓRICO



Componentes vehículos eléctricos



Cargador



Batería



Convertidor DC DC 72V - 12V - 500W

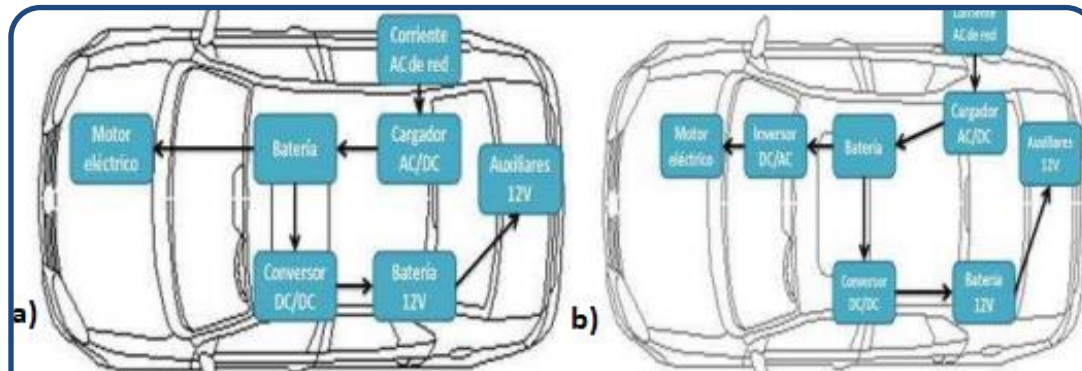
Convertidor



Inversor



Motor eléctrico



Esquema general



Movilidad eléctrica

Movilidad eléctrica

Tecnologías actuales en baterías

Motores eléctricos trifásicos

Controladores

Sistema de carga



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Sistema de chasis

Carga viva

$$CV = M_o * N * G$$

Carga muerta

$$CM = M_c * G$$

Carga de giro

$$CG = \frac{m * v^2}{r_c}$$

Carga de frenado

$$CF = M_t * a_1$$



Sistema de Propulsión

Fuerzas presentes en pendiente

Fuerza de ascenso (F_h)

$$F_h = m \cdot g \cdot \sin \theta$$

Fuerza de fricción (F_r)

$$F_r = \mu_{c-a} \cdot m \cdot g \cdot \cos \theta$$

Fuerza aerodinámica (F_{ad})

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_d \cdot V^2$$

Fuerza de tracción eléctrica (F_t)

$$F_t = (m \cdot a) + F_r + F_h + F_{ad}$$

Potencia del motor

Potencia calculada

$$P_{calculada} = F_t \cdot V_{max}$$

Potencia del motor

$$P_{motor} = \frac{P_{calculada}}{n}$$



Sistemas automotrices

Sistema de dirección

- Distancia rueda-eje de giro: $x = \sqrt{SR^2 + MT^2}$
- Fuerza normal ruedas delanteras: $Nf = m * g * f$
- Momentos rueda delantera: $Mr = Nf * \mu * x$
- Momento del timón: $Mv = \frac{Mr}{i}$
- Fuerza del piloto sobre el timón: $Fv = \frac{Mv}{dv}$

Sistema de suspensión

- Constante de rigidez: $K = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot N \cdot D^3}$
- Fuerza sobre el muelle: $F = m \cdot g \cdot \frac{L_2}{L_1 + L_2}$
- Desplazamiento del muelle: $x = \frac{F}{K}$
- Período de oscilación: $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{F}{K \cdot g}}$
- Frecuencia: $f = \frac{1}{T}$

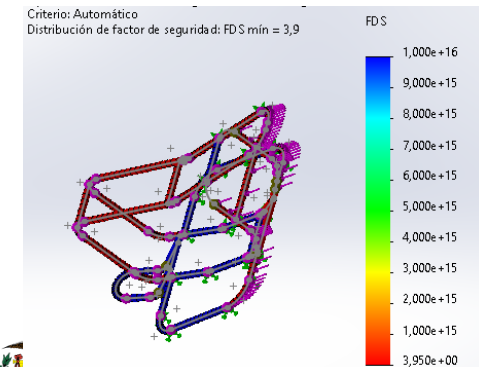
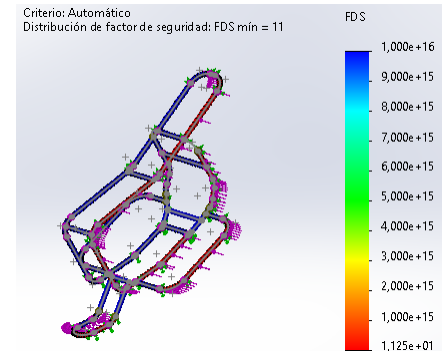
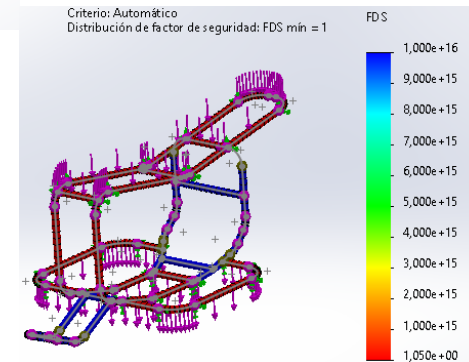
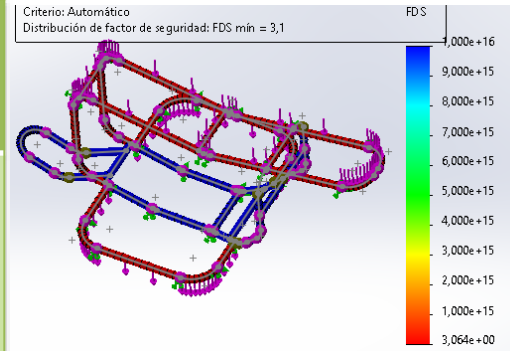


DISEÑO Y SELECCIÓN

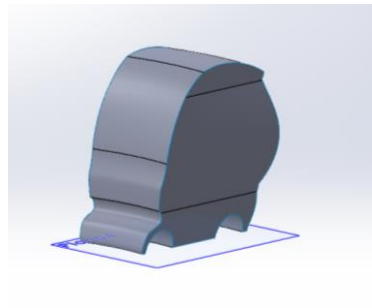
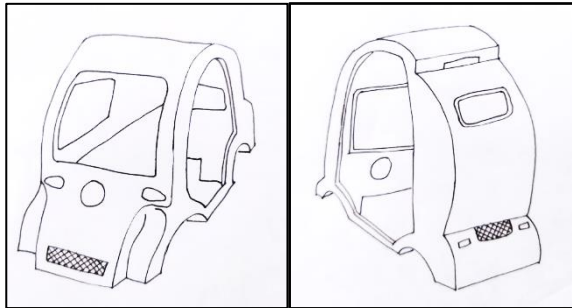


Estructura

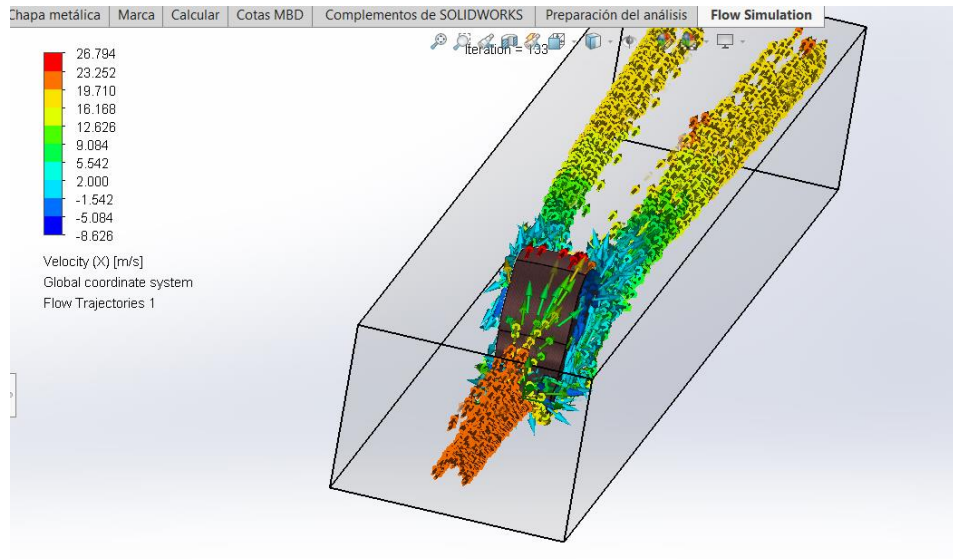
Parámetro	Valor	Unidad
Carga viva	686,7	N
Carga muerta	1954,45	
Carga de giro	491,82	
Carga de frenado	414,614	



Carrocería



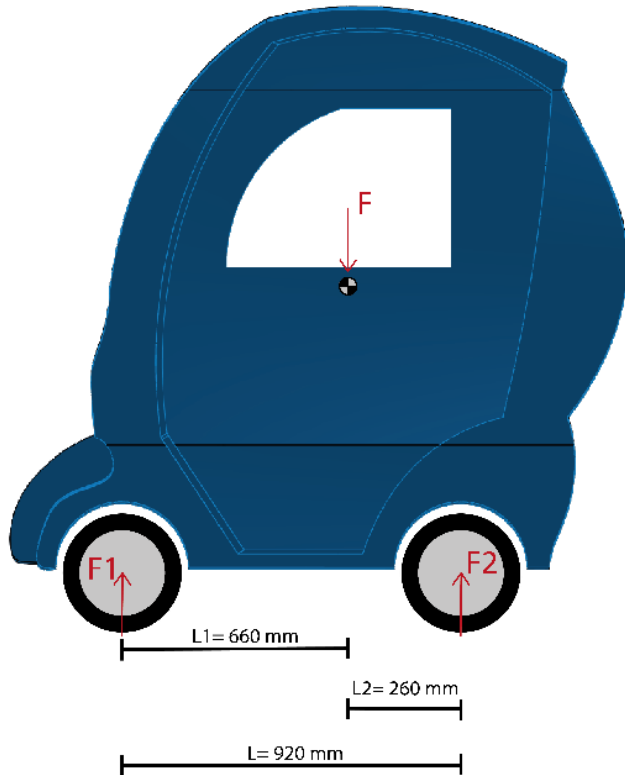
Parámetro	Dimensión	Unidades
Velocidad	9.72	m/s
Temperatura ambiental	293	K
Presión Atmosférica	102700	KPa
Masa total	269.23	Kg
Gravedad	9.81	m/s ²



Parámetro	Valor	Unidad
Coefficiente de arrastre	0,56	-
Resistencia aerodinámica	0,017823	kW



Sistema de dirección



Parámetro	Dimensión	Unidades
F_1	746,412	N
m_1	76,087	kg
F_2	1894,738	N
m_2	193,143	Kg
f	0,283	-
N_f	747,861	N
M_r	41,282	Nm
M_v	16,813	Nm
F_v	53,267	N



Sistema de suspensión

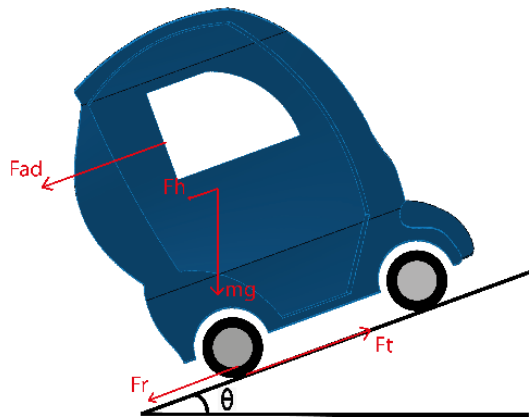
Parámetro	Dimensión	Unidades
Nº espiras útiles	21	-
Nº total de espiras	22,5	-
Diámetro de hilo	6	mm
Diámetro exterior	50	mm
Diámetro interior	32	mm
Diámetro medio	41	mm



Parámetro	Dimensión	Unidades
Constante de rigidez, K	9043,895	N/m
Fuerza sobre el muelle	746,412	N
Desplazamiento del muelle	0,04127	m
Período de oscilación	1,0841	s
Frecuencia	55,346	Oscilaciones por minuto



Sistema de propulsión y control



Parámetro	Dimensión	Unidades
Fuerza de ascenso, F_h	391,754	N
Fuerza de fricción, F_r	39,179	N
Fuerza aerodinámica, F_{ad}	43,035	N
Fuerza de tracción eléctrica, F_t	484,737	N
Potencia calculada	4711,644	W
Potencia del motor	5543,11	W

Selección del motor

- Marca Orbit Electronics
- Modelo OBT



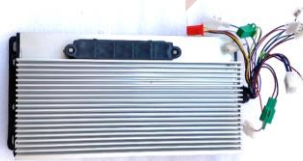
Característica	Valor
Eficiencia	90%
Voltaje	60 V
Peso	20 lb
Corriente continua máxima	120 A
Torque máximo	20 Nm
Rotación máxima	3850 rpm
Diámetro	17 cm
Dirección de rotación	Bi direccional
Potencia	5 kW



Sistema de propulsión y control

Selección del controlador

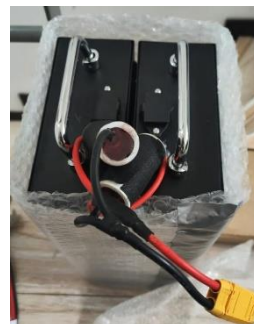
- Marca Orbit Electronics



Característica	Valor
Capacidad	2500 mAh
Voltaje	3.7 V
Voltaje de carga máximo	4.2 V
Voltaje de corte de descarga	2.5 V
Corriente de carga estándar	0.5 C
Corriente de carga máxima	1 C
Corriente de descarga estándar	3 C
Corriente de descarga continua máxima	5 C
Resistencia interna	$\leq 30 \text{ m}\Omega$
Ciclo de vida	800 veces
Dimensión	18.4x65.2 mm
Característica	Valor
Peso	49 g
Temperatura de operación	-20°C – 60°C

Característica	Valor
Voltaje	48 V / 60 V
Peso	5 lb
Límite de corriente	20 A \pm 1
Potencia	5 kW
Subtensión	35.5 V \pm 1
Dimensiones	(27x14x6) cm

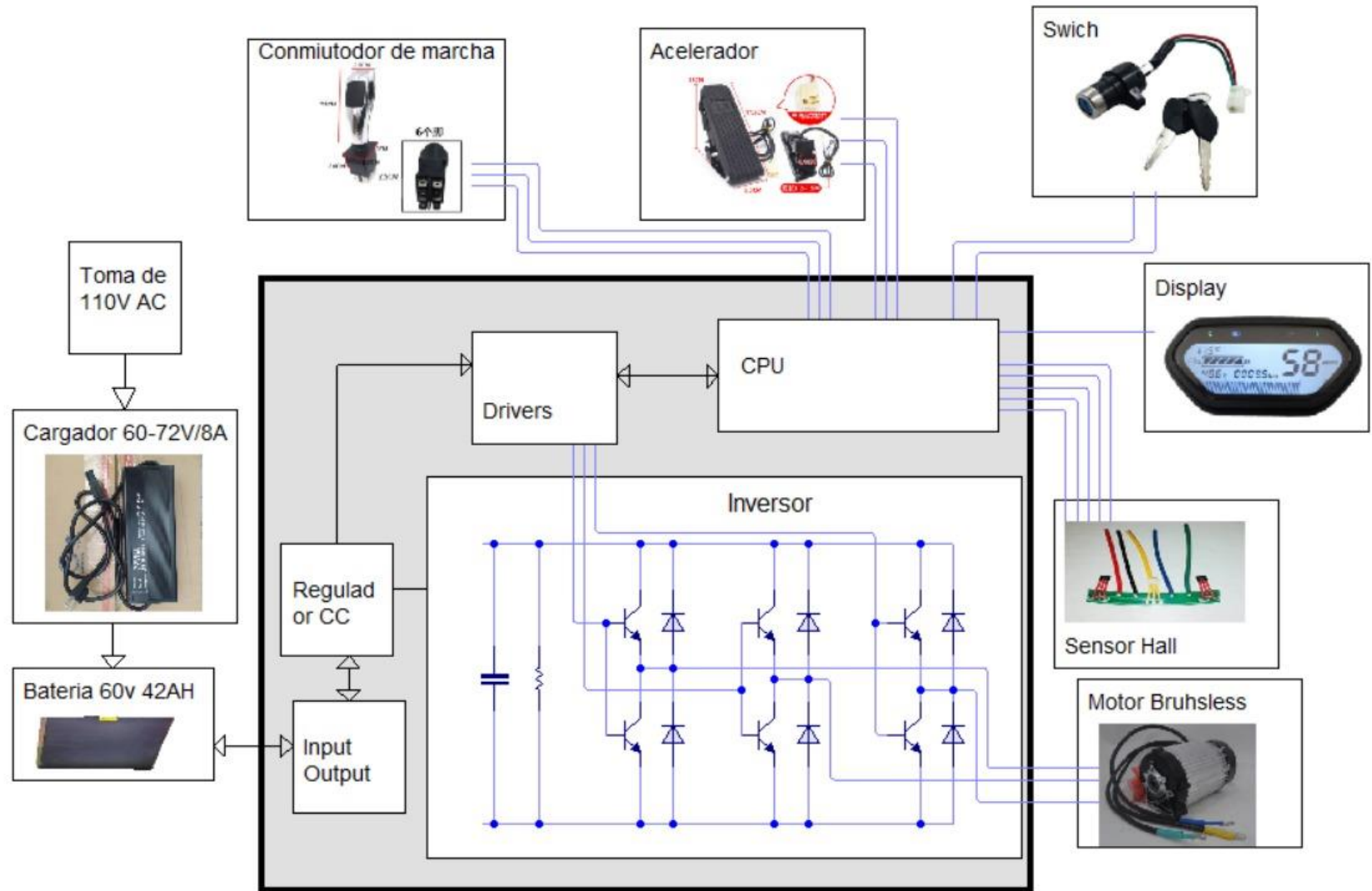
- Celdas de litio 18680



Selección de la batería



Diagrama de conexión del sistema de propulsión



Sistema de iluminación y auxiliares

Selección del convertidor de voltaje

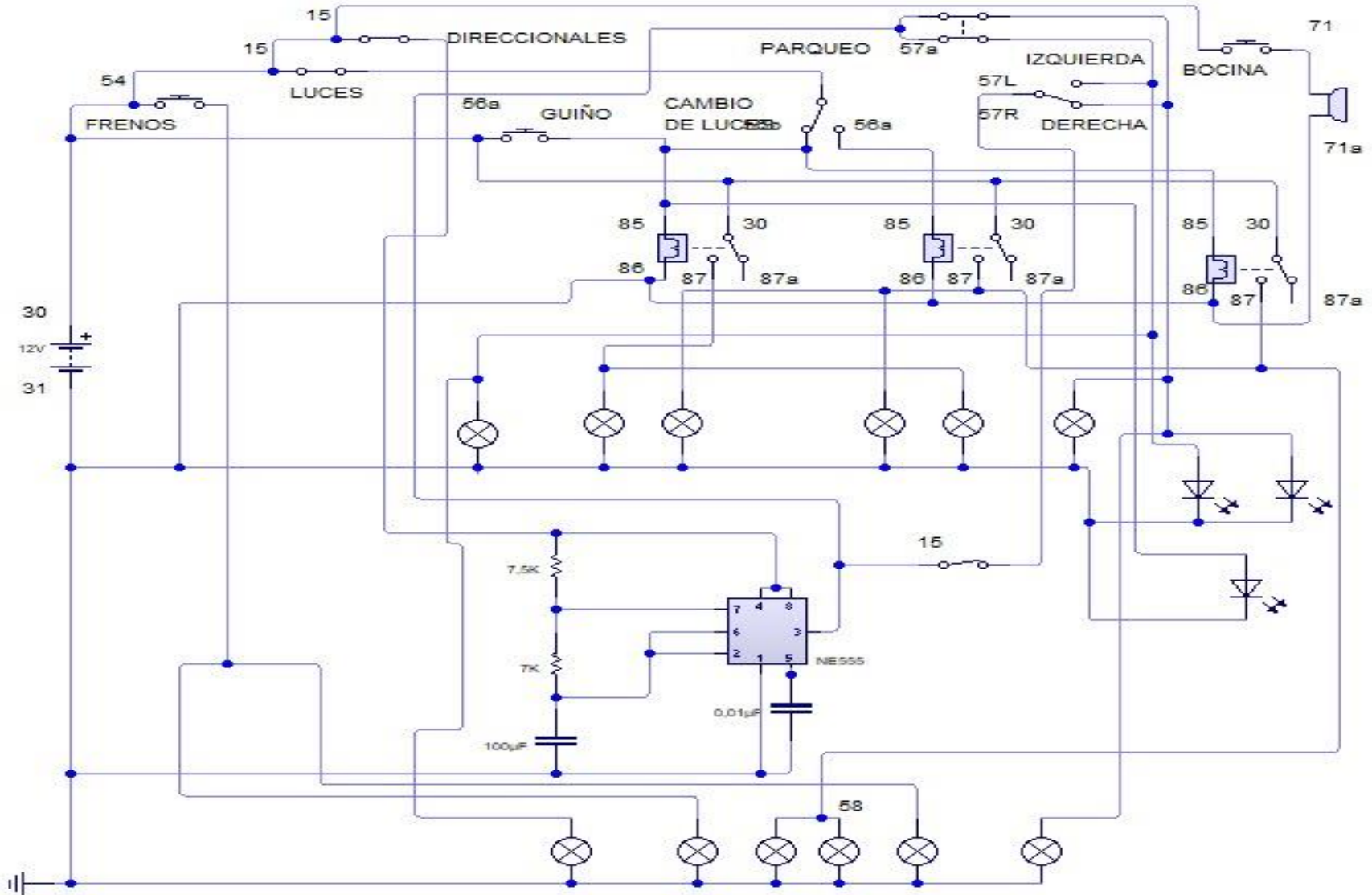
- Entrada: 36-72V
- Salida: 12V
- Corriente de salida: 10A



Elemento	Cantidad	Potencia (W)	Consumo de corriente
Faro delantero (baja)	1	15	1.25 A
Faro delantero (alta)	1	20	1.66 A
Luz de freno principal	1	20	1.66 A
Luz de freno auxiliar	1	15	1.25 A
Luz de posición trasera	1	15	1.25 A
Direccional	4	40	3.33 A
Bocina	1	15	1.25 A
TOTAL			11.65 A



Diagrama de conexión iluminación y auxiliares



Construcción del vehículo



Estructura



Construcción y ensamblado de la carrocería



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Implementación del sistema de propulsión



Sistemas automotrices

Sistema de suspensión



Sistema de dirección

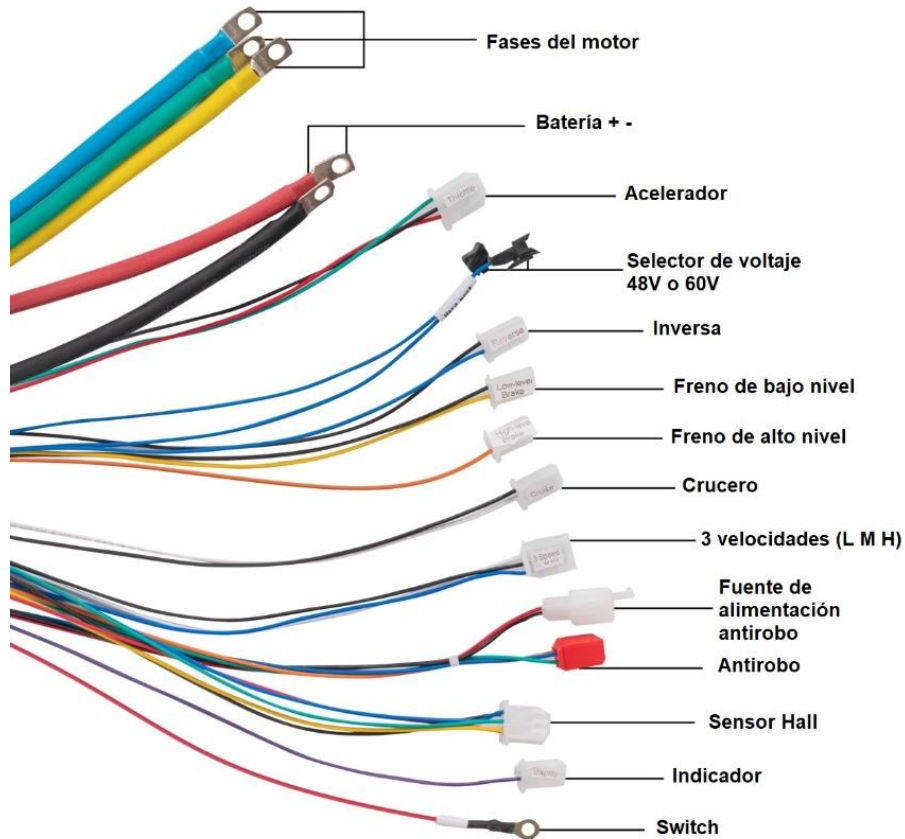


Sistema de frenos

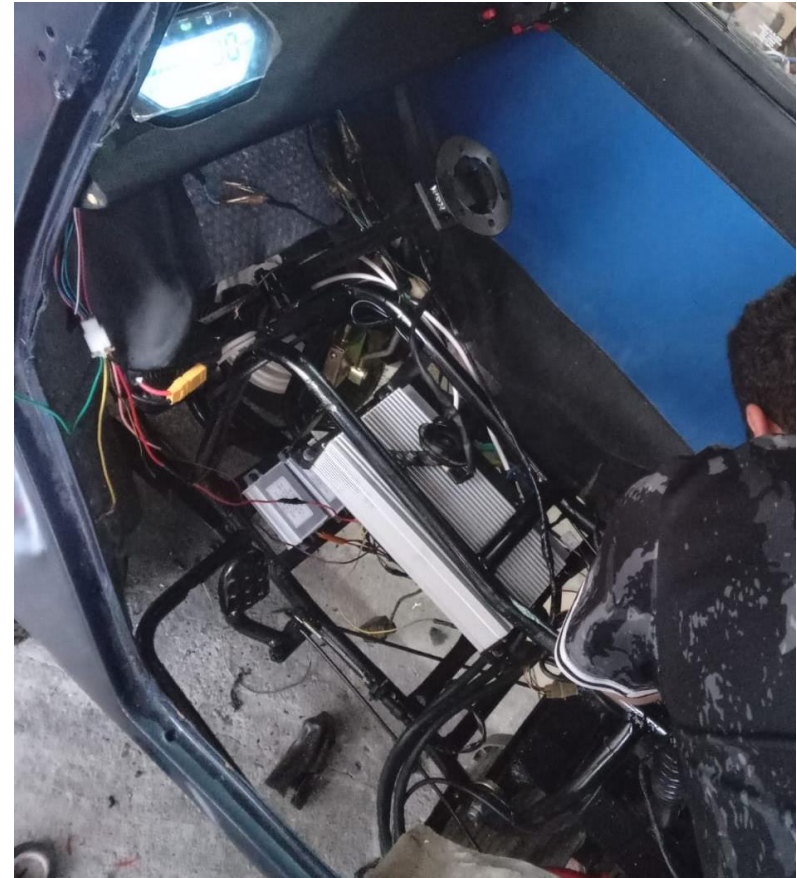


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Control electrónico



Iluminación y auxiliares

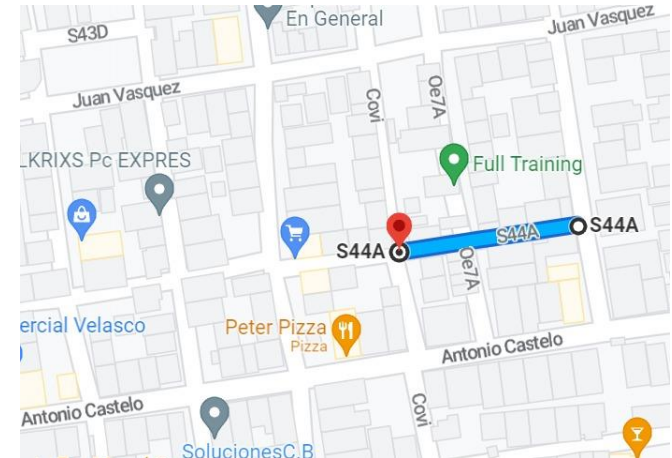
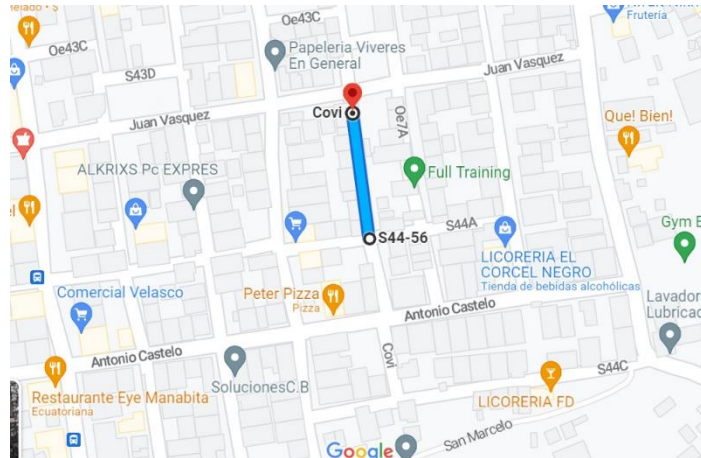


PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS



PRUEBA DE AUTONOMÍA CALCULADA

Parámetro	Descripción
Pista 1	Pendiente 0%
Pista 2	Pendiente de 10%
Estrategia 1	Aceleración máxima, permanece acelerado todo el tiempo de prueba
Estrategia 2	Velocidad constante de 20km/h durante todo el tiempo de prueba

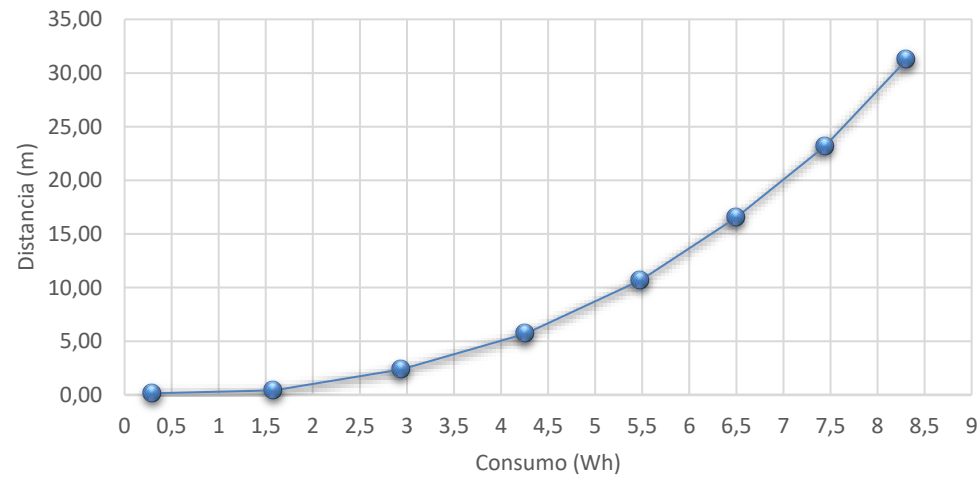


Primera prueba: Pista 1 – Estrategia 1

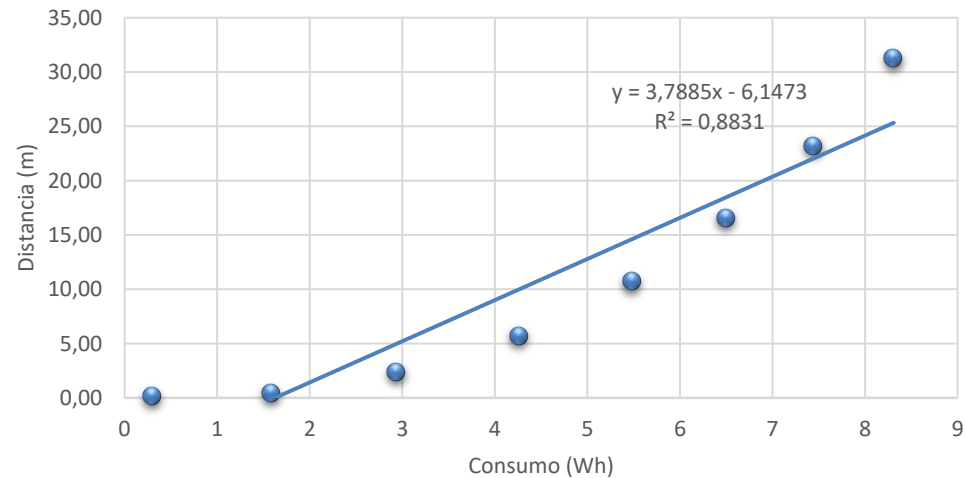
Tiempo (s)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Energía (Wh)	Consumo (Wh)
1	62,9	31,5	1981,35	0,550375	0,550375
2	62,60	33,9	2122,14	0,5894833	1,13985833
3	62	35,1	2176,2	0,6045	1,74435833
4	60,5	40	2420	0,6722222	2,41658056
5	58,6	64	3750,4	1,0417778	3,45835833
6	59,4	35,9	2132,46	0,59235	4,05070833
7	61,1	18,4	1124,24	0,3122889	4,36299722
8	61,7	16,2	999,54	0,27765	4,64064722

Autonomía: 29 km

Primera prueba: Distancia vs Consumo



Primera prueba: Regresión lineal

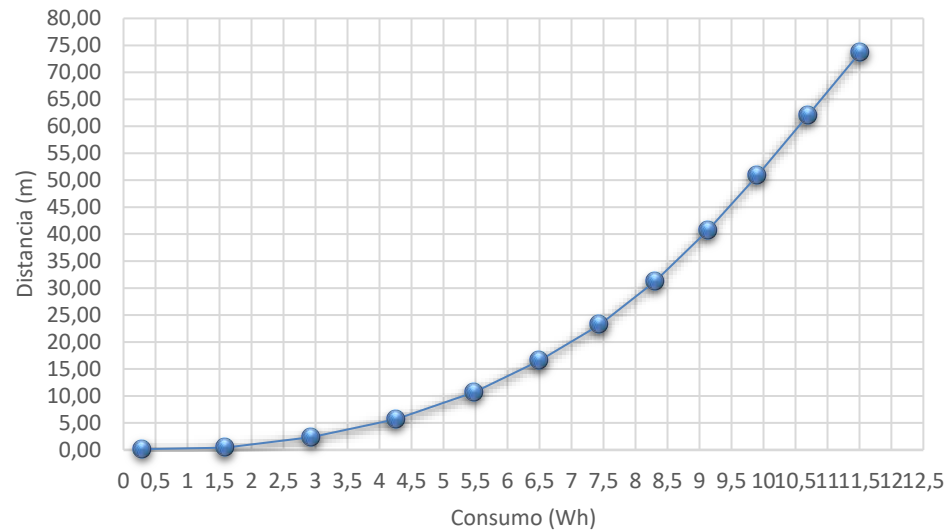


Segunda prueba: Pista 1 – Estrategia 2

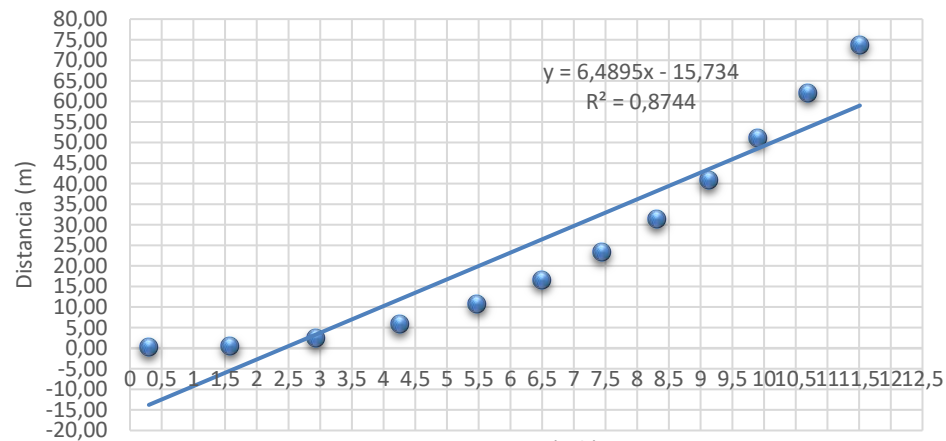
Tiempo (s)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Energía (Wh)	Consumo (Wh)
1	62,3	10,4	647,92	0,1799778	0,17997778
2	62,90	4,5	283,05	0,078625	0,25860278
3	62,5	11,3	706,25	0,1961806	0,45478333
4	62,4	15,7	979,68	0,2721333	0,72691667
5	63	5,8	365,4	0,1015	0,82841667
6	62,4	12,7	792,48	0,2201333	1,04855
7	62,3	14,9	928,27	0,2578528	1,30640278
8	63	6,8	428,4	0,119	1,42540278
9	62,6	10,8	676,08	0,1878	1,61320278
10	62,4	12,6	786,24	0,2184	1,83160278
11	61,9	12,2	755,18	0,2097722	2,041375
12	62,3	10,11	629,853	0,1749592	2,21633417

Autonomía: 75,831 km

Segunda prueba: Distancia vs Consumo



Segunda prueba: Regresión lineal

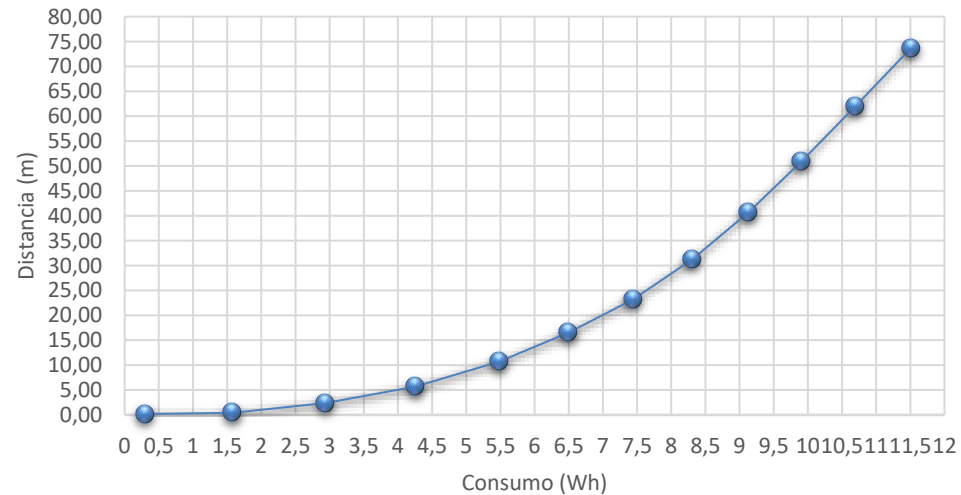


Tercera prueba: Pista 2 – Estrategia 1

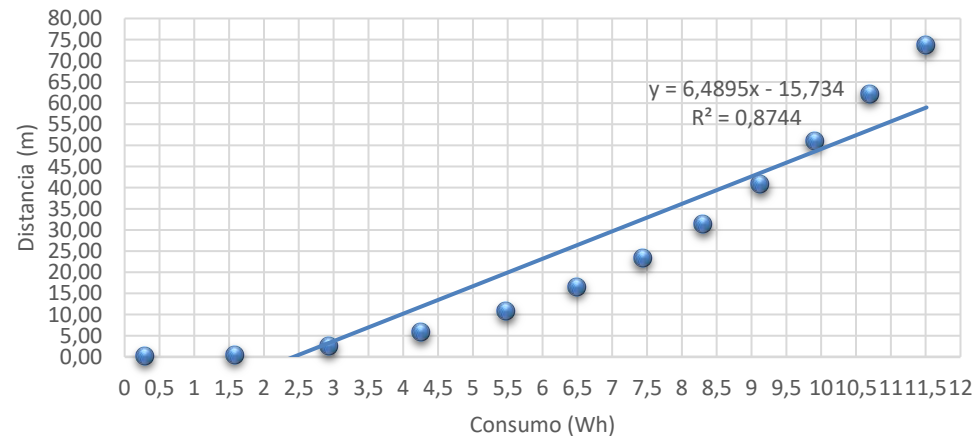
Tiempo (s)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Energía (Wh)	Consumo (Wh)
1	62,8	17,1	1073,88	0,2983	0,2983
2	61,80	74,9	4628,82	1,2857833	1,58408333
3	60,8	80,1	4870,08	1,3528	2,93688333
4	60,4	78,8	4759,52	1,3220889	4,25897222
5	60,3	73,1	4407,93	1,224425	5,48339722
6	60,2	60,6	3648,12	1,0133667	6,49676389
7	59,9	56,8	3402,32	0,9450889	7,44185278
8	58,5	53,4	3123,9	0,86775	8,30960278
9	58,4	50,6	2955,04	0,8208444	9,13044722
10	58,3	48,2	2810,06	0,7805722	9,91101944
11	59	48,1	2837,9	0,7883056	10,699325
12	61	48	2928	0,8133333	11,5126583

Autonomía: 16,337 km

Tercera prueba: Distancia vs Consumo



Tercera prueba: Regresión lineal

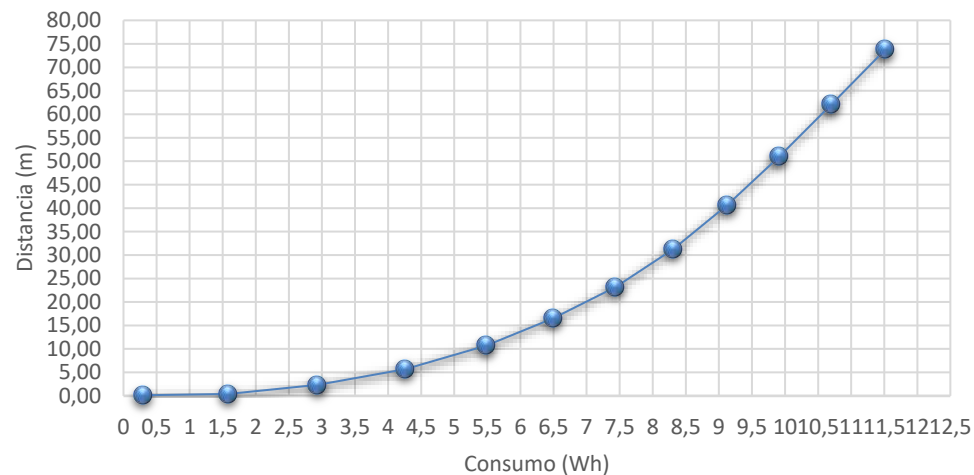


Cuarta prueba: Pista 2 – Estrategia 2

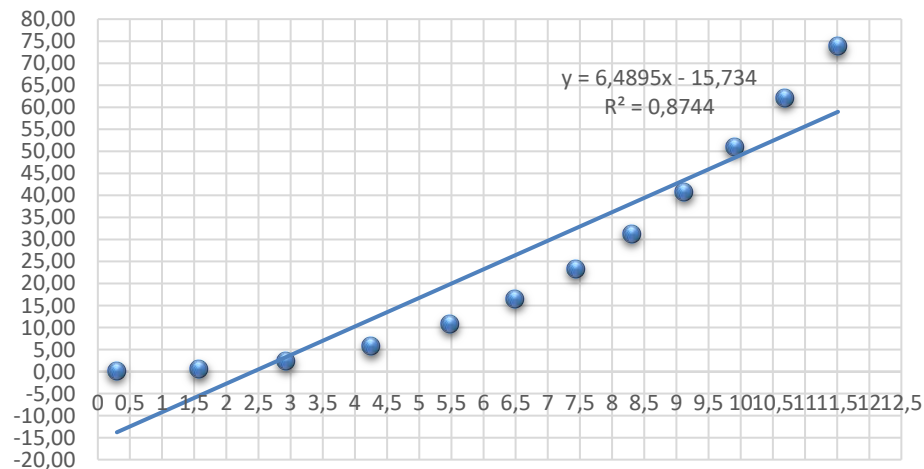
Tiempo (s)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Energía (Wh)	Consumo (Wh)
1	61.5	36.6	2250.9	0.6253	0.6253
2	61.3	42.6	2611.38	0.7254	1.3507
3	61.4	34.8	2136.72	0.5935	1.9442
4	61.4	37.3	2290.22	0.6362	2.5804
5	61.3	37.9	2323.27	0.6454	3.2258
6	61.3	39.9	2445.87	0.6794	3.9052
7	61.3	36.5	2237.45	0.6215	4.5267
8	61.2	39	2386.8	0.663	5.1897
9	61.3	36.8	2255.84	0.6266	5.8163
10	61.2	40.2	2460.24	0.6834	6.4997
11	61.2	35	2142	0.595	7.0947
12	60.9	41.1	2502.99	0.6953	7.79

Autonomía: 21,955 km

Cuarta prueba: Distancia vs Consumo



Cuarta prueba: Regresión lineal



PRUEBA DE AUTONOMÍA EXPERIMENTAL

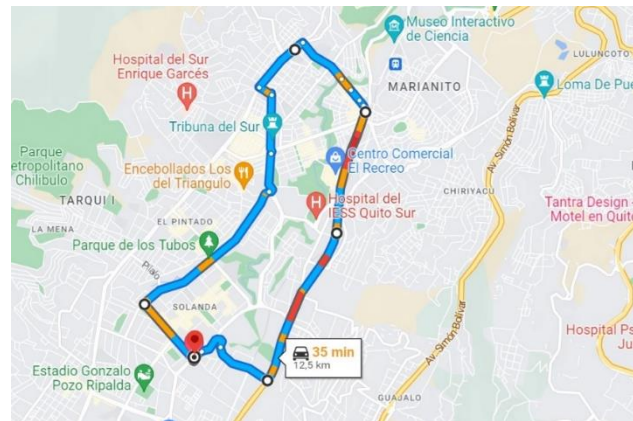
Condiciones
iniciales



Condiciones
finales



Ruta
establecida



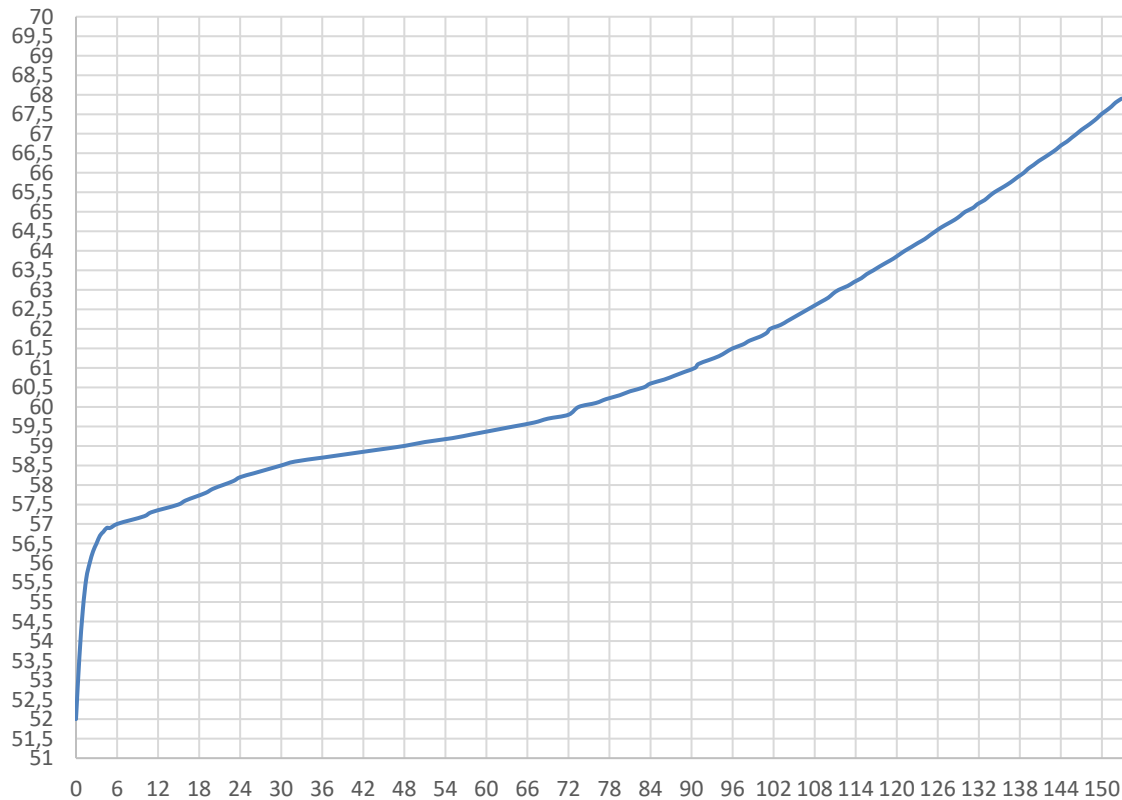
PRUEBA DE VELOCIDAD MÁXIMA Y ACELERACIÓN

Prueba	Tiempo (s)	Velocidad máxima	Aceleración
		(km/h)	(m/s ²)
Prueba1	7.12	42	1.64
Prueba2	7.07	41	1.35
Prueba3	7.11	42	1.64
Promedio		41.67	1.54



PRUEBA DE CARGA DE BATERÍA

Gráfica Tiempo-Voltaje



Carga parcial: 2 h y 32 min
Carga total: 5 h y 5 min

Tiempo (min)	Voltaje (V)	Carga (%)
0	52	0,00
0,5	53,6	10,06
1	54,8	17,61
1,5	55,6	22,64
2	56	25,16
2,5	56,3	27,04
3	56,5	28,30
3,5	56,7	29,56
4	56,8	30,19
4,5	56,9	30,82
5	56,9	30,82
6	57	31,45
8	57,1	32,08
10	57,2	32,70
11	57,3	33,33
13	57,4	33,96
15	57,5	34,59
16	57,6	35,22
17,5	57,7	35,85
19	57,8	36,48
148,6	67,3	96,23
149,3	67,4	96,86
149,9	67,5	97,48
150,68	67,6	98,11
151,4	67,7	98,74
152	67,8	99,37
152,87	67,9	100,00



PRUEBA DE CARGA DE BATERÍA

Costo de carga

$$\text{Consumo} = V_c \cdot C_b$$

$$\text{Consumo} = 67.2 \text{ V} \cdot 42 \text{ Ah}$$

$$\text{Consumo} = 2822.4 \text{ Wh} \\ = 2.822 \text{ kWh}$$

$$\text{Costo} = \text{Consumo} \cdot 0.10 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo} = 2.822 \text{ kWh} \cdot 0.10 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo} = 0.28 \text{ USD}$$

Consideración	Monoplaza eléctrico	Scooter Honda DIO110
Potencia máxima	5kW – 6,8 hp	5,4kW – 7,3 hp
Peso	199,23 kg	103 kg
Consumo	25,16 km/kWh	220 km/gl
Precio de energía	0,10 USD/kWh	2,40 USD/gl
Costo por 1000 km recorridos	3,94 USD	10,91 USD



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



- Con los cálculos matemáticos se obtuvo valores de las cargas presentes en la estructura del vehículo obteniendo una carga viva de 686.7 N, una carga muerta de 1954.45 N, una carga de giro de 491.82 N y una carga de frenado de 414.614 N.
- Simulando las cargas obtenidas en el software CAD se obtuvo el valor del factor de seguridad de 3.1 con la carga viva, 1.5 con carga muerta, 11 con carga de giro y 3.9 con carga de frenado; lo que es aceptable para la seguridad del conductor con respecto a la estructura.
- Mediante simulación se obtuvo el coeficiente aerodinámico de la carrocería con un valor de 0.56, determinando que el diseño y la geometría se encuentran en un estado aceptable permitiendo al vehículo desplazarse sin gastar demasiada energía.
- Mediante el cálculo de las resistencias aerodinámica, fricción, pendiente y tracción se obtuvo la potencia necesaria para desplazar al vehículo de 4.124 kW, por lo que se selecciona un motor de 5 kW tipo Brushless.



- Utilizando acero A36 se construyó la estructura del monoplaza, además de la construcción de una carrocería con fibra de vidrio, para que cumpla con los parámetros establecidos de seguridad.
- Ejecutada la prueba de autonomía calculada donde se consideró dos pistas, una con pendiente del 0% y otra con 10%, para lo cual la mejor autonomía se obtiene transitando a una velocidad constante de 20 km/h, alcanzando una autonomía de 75.8 km en plano y 21.9 km en pendiente.
- La prueba de autonomía experimental se realizó tomando en cuenta una ruta establecida en la ciudad de Quito, con una longitud de 12.5 km y pendientes entre 1 y 8%, lo cual da una autonomía de 71 km a una velocidad promedio de 25 km/h.
- La velocidad máxima que puede desarrollar el vehículo es de 41.67 km/h, con una aceleración de 1.54 m/s^2 , a una pendiente de 0%.



- La carga completa de la batería de 60V se realiza en un tiempo de 5.1 horas, con un cargador de 48 a 72V y 8Ah.
- El costo promedio de circulación de 1000 km es de 3.94 USD, por lo que se visualiza un ahorro considerable respecto a un Scooter a gasolina, considerando una potencia de 5.4 kW, cuyo valor es de 10.91 USD en la misma distancia recorrida.



- No realizar acelerones bruscos, es decir, se debe acelerar progresivamente, para así asegurar una mayor durabilidad de la batería y no reducir su capacidad y vida útil de una manera apresurada.
- Se recomienda cargar la batería cuando tenga una carga mínima del 10% ya que si se descarga completamente sus ciclos de carga disminuyen con el pasar del tiempo.
- Para pendientes mayores a 8% utilizar la marcha de fuerza para no realizar un esfuerzo excesivo en el motor.
- La velocidad máxima en curvas debe ser de 20 km/h en calzadas de radio menor a 50 metros.
- Seguir el plan de mantenimiento propuesto según el kilometraje recorrido para asegurar que el vehículo siga en óptimas condiciones.



- Para el cuidado de la batería y recuperar un porcentaje de su capacidad de carga, se recomienda realizar balanceo de celdas por lo menos una vez cada cinco meses o 30000 km.
- En el caso de no utilizar el vehículo, cargar la batería mínimo cada dos meses para preservar su funcionalidad.
- Si se requiere guardar el vehículo, la carga que debe tener la batería es del 50%.

