



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE ENERGÍA Y MECÁNICA**

**TEMA: “ANÁLISIS TECNOLÓGICO Y DE OPERACIÓN DE  
LOS SISTEMAS DE MOVILIDAD ELÉCTRICA COMO  
ALTERNATIVA PARA DISMINUIR EL USO DE  
COMBUSTIBLES FÓSILES EN EL ECUADOR”**

**AUTORES:**

- **PAREDES CHÁVEZ, DANIEL ALEXANDER**
- **REA CEDEÑO, JORDANO PATRICIO**

**DIRECTOR:**

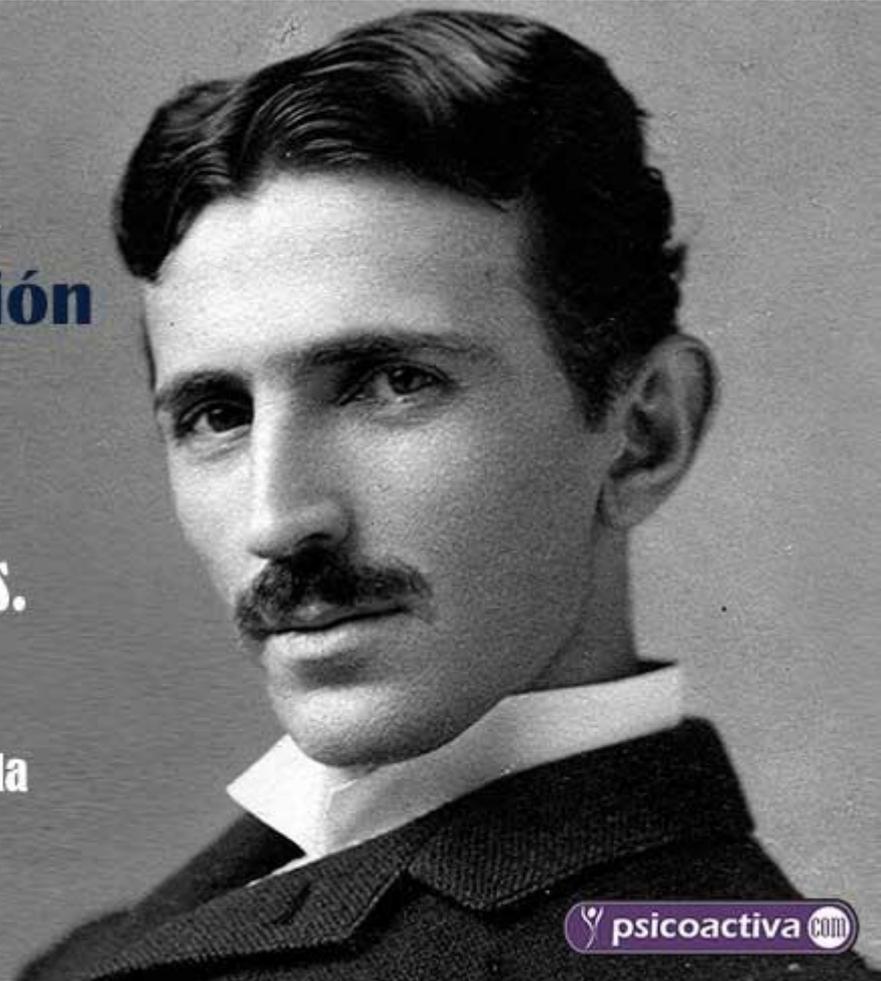
- **ING. ERAZO LAVERDE, WASHINGTON GERMÁN**



# Frase celebre

La vida es y seguirá  
siendo una **ecuación**  
sin solución, pero  
contiene algunos  
*factores* conocidos.

Nikola Tesla



psicoactiva.com



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Tabla de contenido

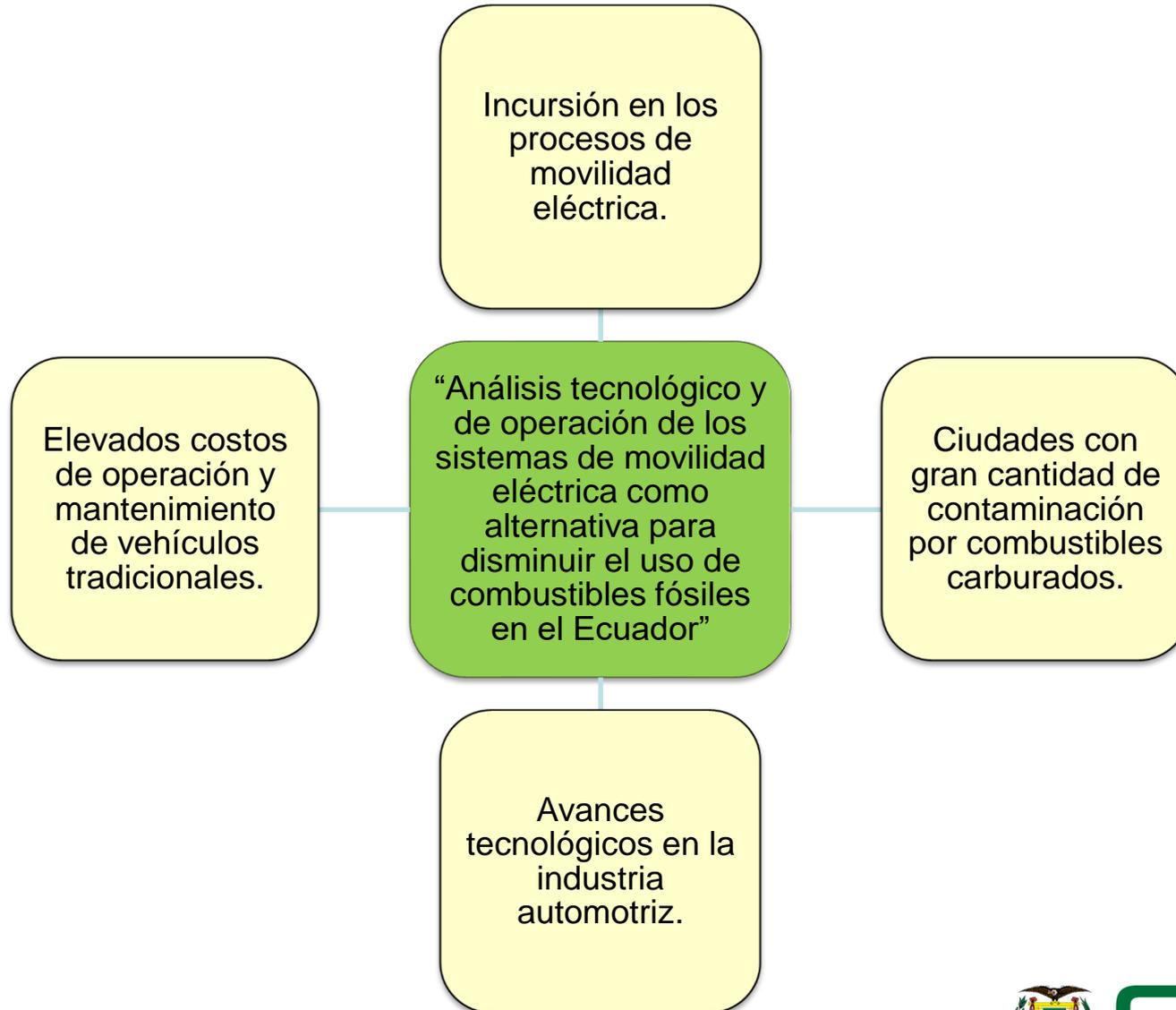
1. Planteamiento del problema.
2. Objetivo.
  - 2.1. Objetivo General
  - 2.2. Objetivo Especifico
3. Hipótesis.
4. Movilidad eléctrica.
5. Clasificación de los vehículos eléctricos.
6. Dinámica del vehículo.
7. Cuadro estadístico de tecnologías de movilidad eléctrica existentes en el Ecuador
8. Análisis Tecnológico
  - 8.1. Tecnología
9. Modelación de circuitos de alta, media y baja tensión de una motocicleta eléctrica
  - 9.1. Batería
  - 9.2. Controlador
  - 9.3. Controles
  - 9.4. Motor



10. Parámetros característicos y análisis de estado
11. Modelación de circuitos de alta, media y baja tensión de un vehículo Kia Soul
12. Batería de alta tensión
13. Inversor
14. Motor trifásico
15. Cargador
16. Modelación dinámica de fluidos computacional
17. Ciclos de conducción
18. Dinámica del vehículo
19. Diseño del modelo matemático en software especializado
20. Resultados obtenidos de la simulación
21. Conclusiones
22. Recomendaciones



# Planteamiento del Problema



# Objetivos

## Objetivo General



Desarrollar el análisis tecnológico y de operación de los sistemas de movilidad eléctrica mediante simulación como alternativa para disminuir el uso de combustibles fósiles en el Ecuador.



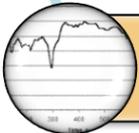
# Objetivos Específicos



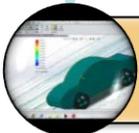
Buscar información técnica y teórica relevante que aporten un alto grado de contenido científico a la investigación.



Realizar un cuadro estadístico de los vehículos híbridos y eléctricos existentes en el Ecuador.



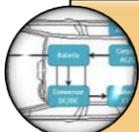
Obtener diferentes ciclos de conducción basados en la geografía del país.



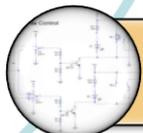
Realizar el análisis y simulación de los sistemas mecánicos y eléctricos de vehículos y motocicletas eléctricas.



Comparar los resultados obtenidos de la simulación con los datos de una moto eléctrica.



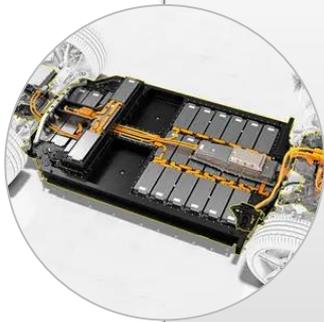
Detallar las partes y operación de los componentes principales del sistema de alta tensión y de control del sistema eléctrico en vehículos y motocicletas eléctricas.



Elaborar los diferentes circuitos eléctricos de potencia y control de los sistemas de movilidad eléctrica.



# Hipótesis



El análisis tecnológico y de operación de los sistemas de movilidad eléctrica como alternativa para disminuir el uso de combustibles fósiles en el Ecuador, permitirá fomentar e incursionar en el desarrollo de nuevas temáticas y técnicas de simulación de vehículos eléctricos.”



# Movilidad Eléctrica

Movilidad eléctrica sostenible a nivel mundial



Movilidad eléctrica sostenible en Ecuador



# Clasificación de los vehículos eléctricos



**Vehículos híbridos no enchufable (HEV)**



**Vehículos híbridos eléctricos enchufables (PHEV)**



**Vehículos 100% eléctricos (BEV)**



**Motocicleta eléctrica**



# Dinámica del Vehículo

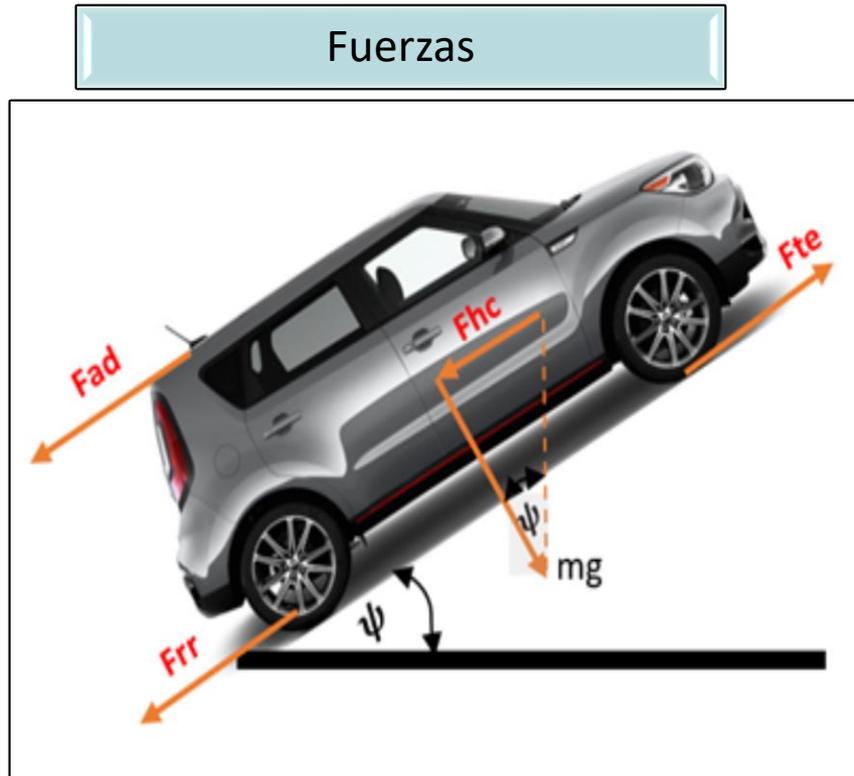


Fig. 1: Fuerzas que interactúan en el EV

Fuerza aerodinámica  **$F_{ad}$**   
Fuerza de arrastre  **$F_{rr}$**   
Fuerza en pendiente  **$F_{hc}$**   
Fuerza de tracción  **$F_{te}$**

# Cuadro estadístico de tecnologías de movilidad eléctrica existentes en el Ecuador

Marca	Modelo	2018	2019	2020	2021
Kia	Soul	33	23	3	193
Dongfeng	Serie Rich	-	-	-	33
Dayang	DY-GD04B	68	23	14	23
Audi	Audi E-Tron	-	-	-	20
Kaiyun	Pickman	-	-	37	15
Nissan	Leaf	-	-	1	14
Zhidou	D1	-	-	-	12
BYD	BYD E3	-	-	1	6
MG	MGZS	-	-	1	6
Jiayuan	City Spirits	-	-	5	6
Otras	-	29	57	44	20
<b>TOTAL</b>		<b>130</b>	<b>103</b>	<b>106</b>	<b>348</b>

**Tabla 1:** Número de vehículos eléctricos vendidos en los cuatro últimos años

Marca	2020	2021
SOCO	69	35
TEKNO	49	24
ZONGSHEN		4
FENGCHENG	1	1
ELEC-MOTION		1
YONSLAND	2	1
IMVOLTA		1
OTRAS	57	2
<b>TOTAL</b>	<b>178</b>	<b>69</b>

**Tabla 2:** Marcas más representativas en motos eléctricas en Ecuador



# Análisis Tecnológico

Categoría	Clase	Peso de referencia (PR)	CO g/km	HC g/km	HC+ONx g/km	NOx
$M^a$	--	Todas	2.3	0.2	--	0.15
	I	$PR \leq 1305$	2.3	0.2	--	0.15
$M1^b$	II	$1305 < PR \leq 1760$	4.17	0.25	--	0.18
	III	$1760 < PR$	5.22	0.29	--	0.21

**Tabla 3:** Límites máximos de emisiones con motor a gasolina. Tomado de la INEN 2204

Desplazamiento	CO g/km	HC g/km	HC+ONx g/km
0 – 169 cm <sup>3</sup>	12	1.0	--
170 – 279 cm <sup>3</sup>	12	1.0	--
≥ 280 cm <sup>3</sup>	12	--	1.4

**Tabla 4:** Valores límites máximos para motocicletas y tricimotos. Tomado de la INEN 136

## Fórmula

$$EP = KRV * FE_p$$

Cantidad de contaminación del aire en vehículos

$$EP_t = 27442.68kgCO \text{ y } 2386.320kgHC$$

Cantidad de contaminación del aire en motos

$$EP_t = 198841.2kgCO \text{ y } 165701kgHC$$



# Tecnología

Características	Vehículo a Combustión	Vehículo híbrido eléctrico enchufable (PHEV)	Vehículo Eléctrico (EV)
Combustible	Gasolina	Electricidad y gasolina	Electricidad
Tipo de batería	Plomo - Acido	Plomo - Acido Ion - Litio	Plomo-Acido Ion - Litio
Eficiencia energética	25%	49%	77%
Capacidad de combustible	18.5 gal	11.35 gal Batería 13.2 KWh	Batería 27 KWh
Costo del combustible	1 gal extra = \$2.40	Carga normal 1KWh=\$9.2 ctvs. Carga rápida 1KWh=\$0.25	Carga normal 1KWh=\$9.2 ctvs Carga Rápida 1KWh = \$0.25
Costo de carga completa de combustible	Tanque lleno =\$ 44.4	Carga lenta = \$1.22 Carga rápida= \$ 3.30 Tanque lleno gal = \$15.89	Precio de carga normal = \$2.49 Precio Carga rápida= \$ 6.75
Reducción de Emisiones	0%	(50 - 75) %	100%
Autonomía	400 km +	De 80 a 100 Km en cero emisiones	160 ± cero emisiones



Tabla 5: Comparación de las tecnologías



# Modelación de circuitos de alta, media y baja tensión de una motocicleta eléctrica

## Esquema moto classic II

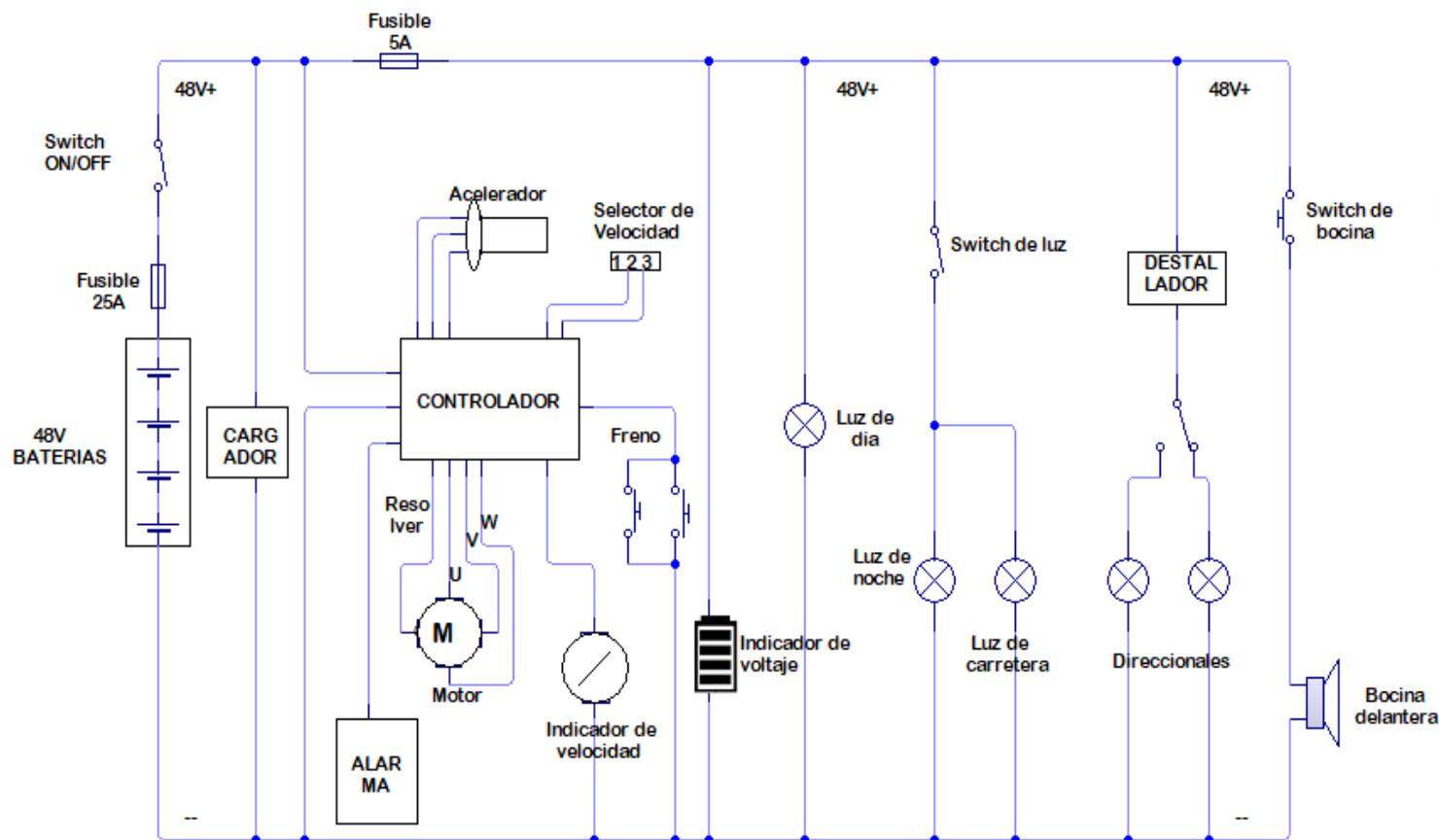


Fig. 3: Esquema eléctrico completo moto classic II



# Controlador

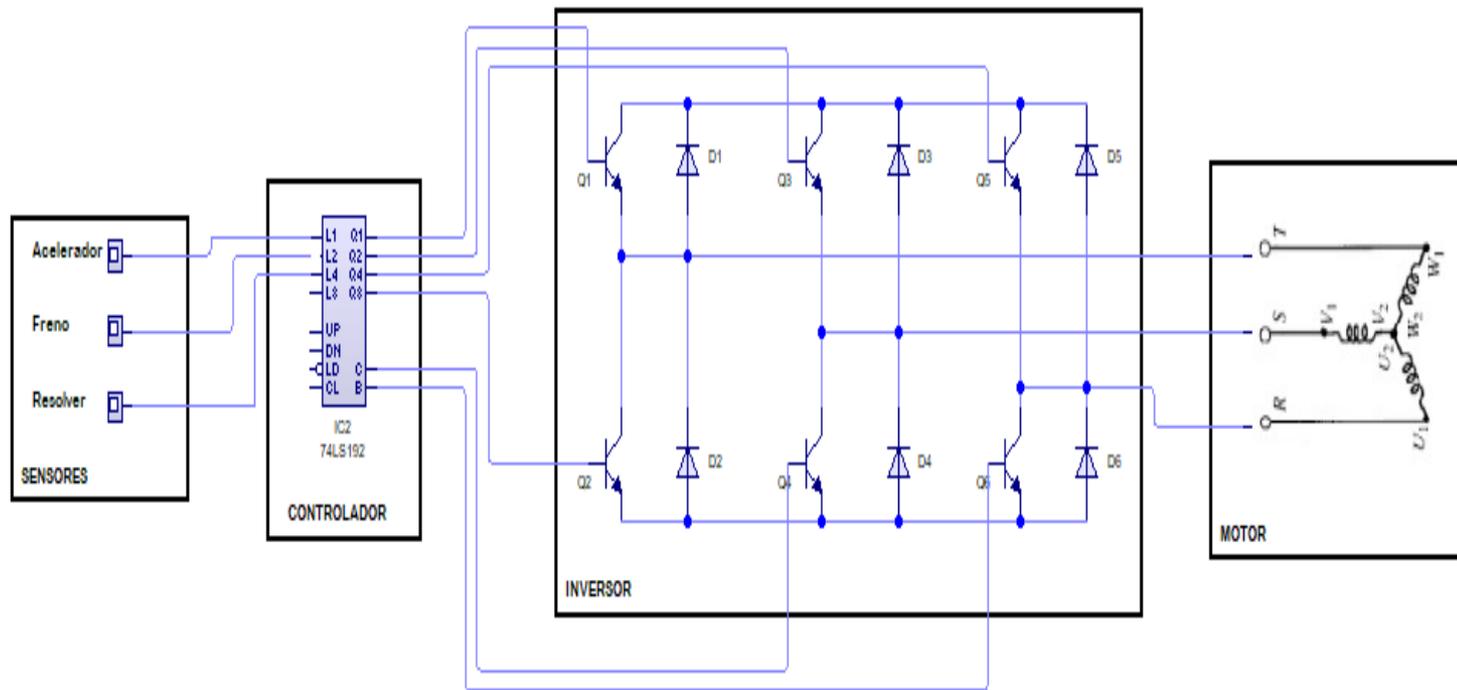


Fig. 4: Esquema eléctrico del controlador

# Controles

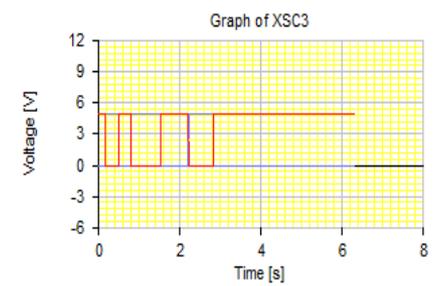
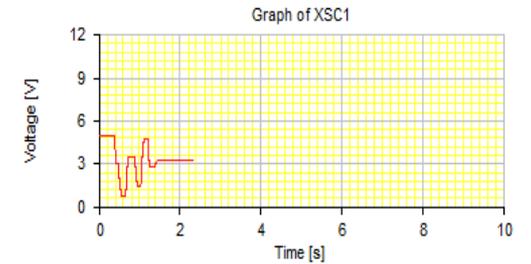
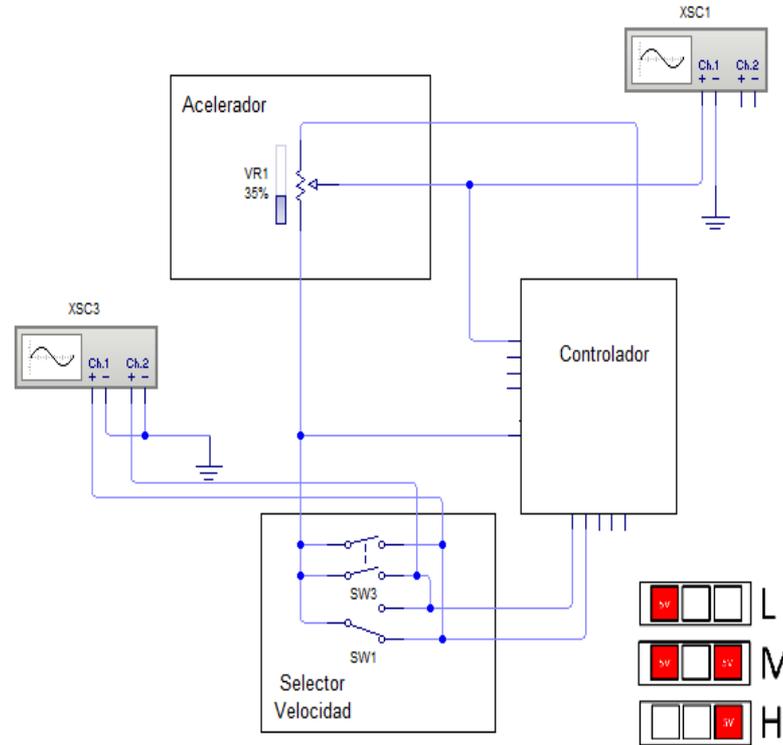


Fig. 5: Circuito del acelerador electrónico y selector de velocidad

# Motor

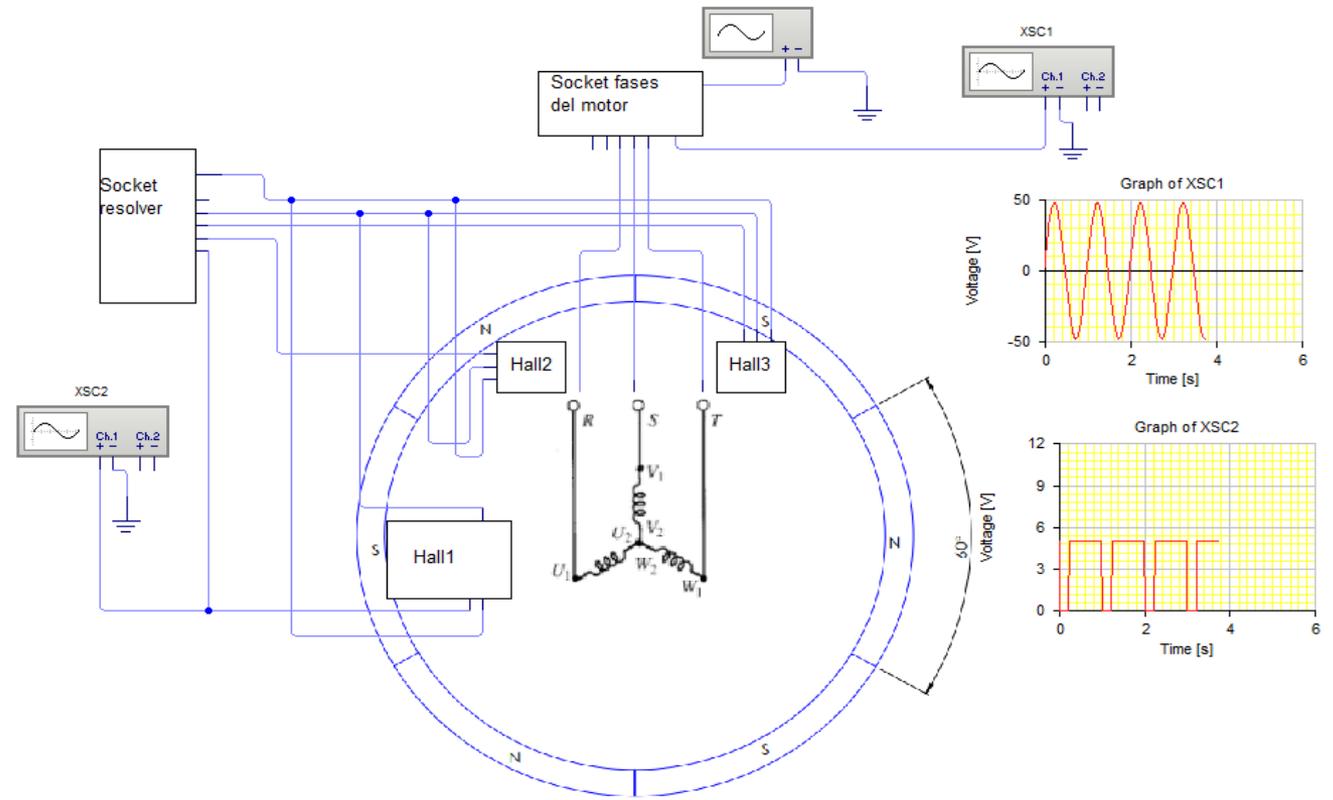
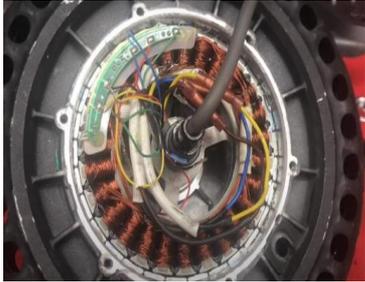
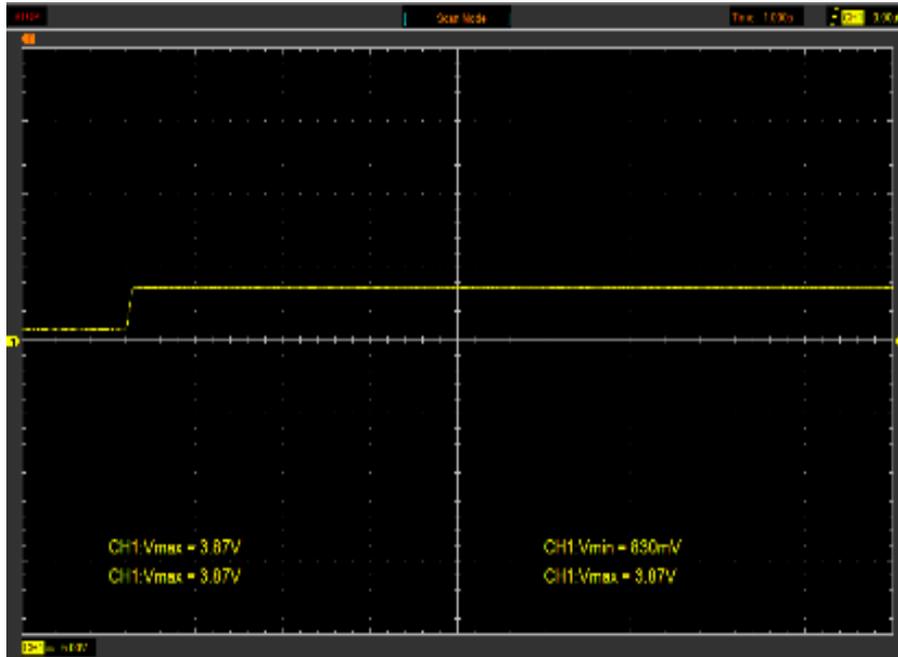


Fig. 6: Circuito del motor eléctrico y sensor resolver



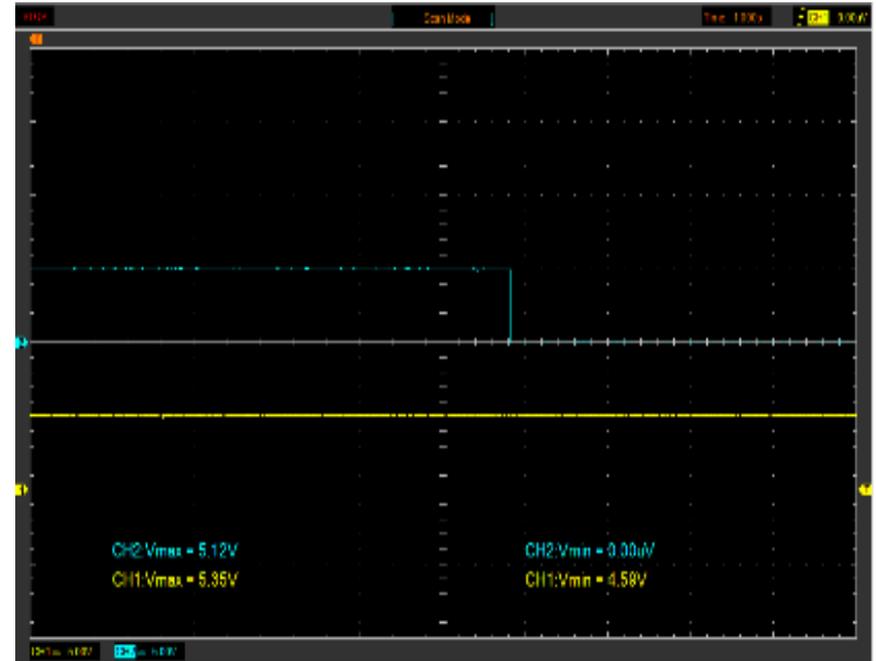
# Parámetros característicos y análisis de estado

Comprobación del Acelerador



Vmax: 3.87 V  
Vmin: 830 mV

Comprobación del selector de velocidad



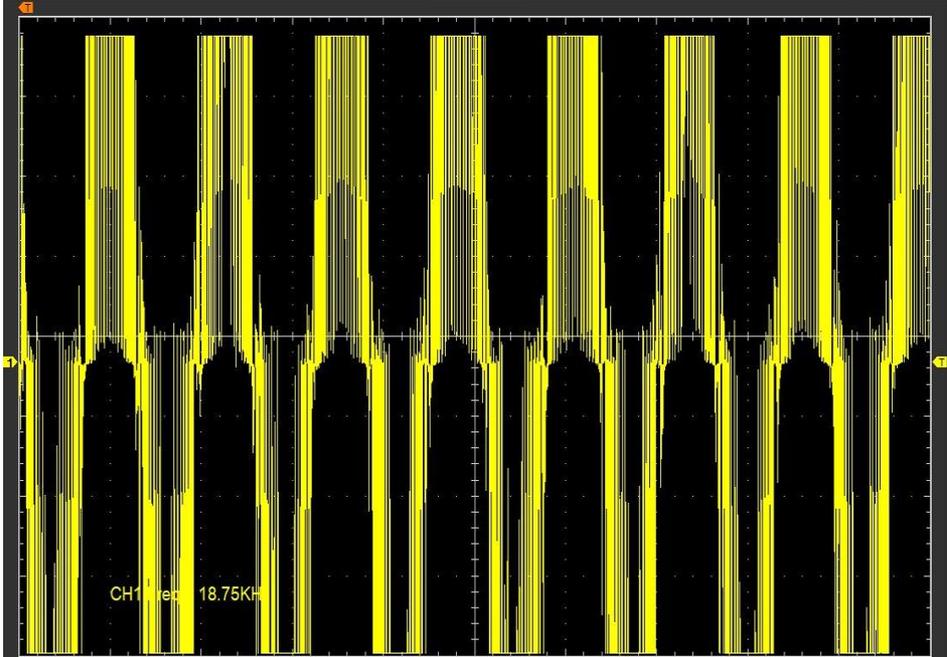
Posicion 2

P1: 5V  
P2: 0V  
P3: 5V



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Comprobación del Controlador

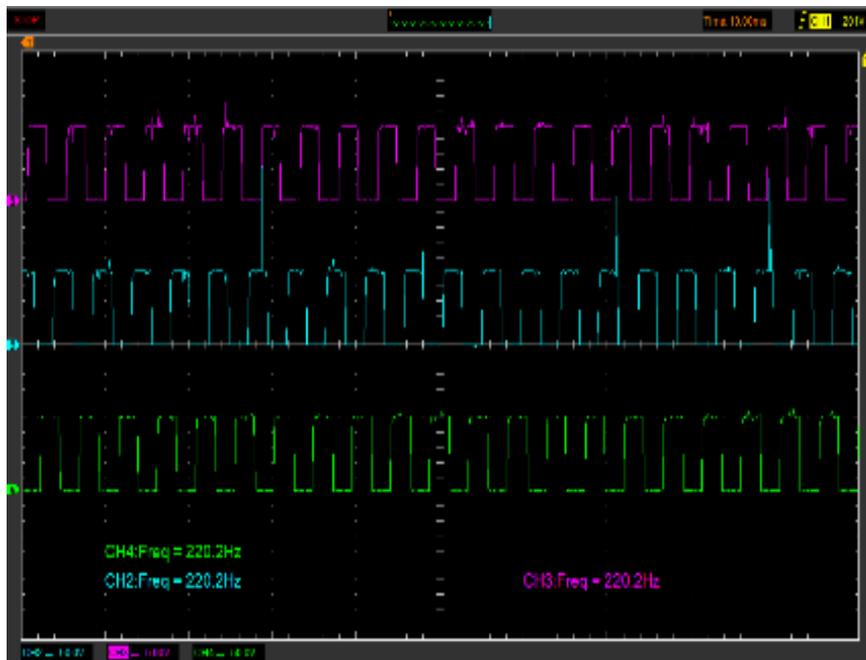


Ccontinuidad  
0

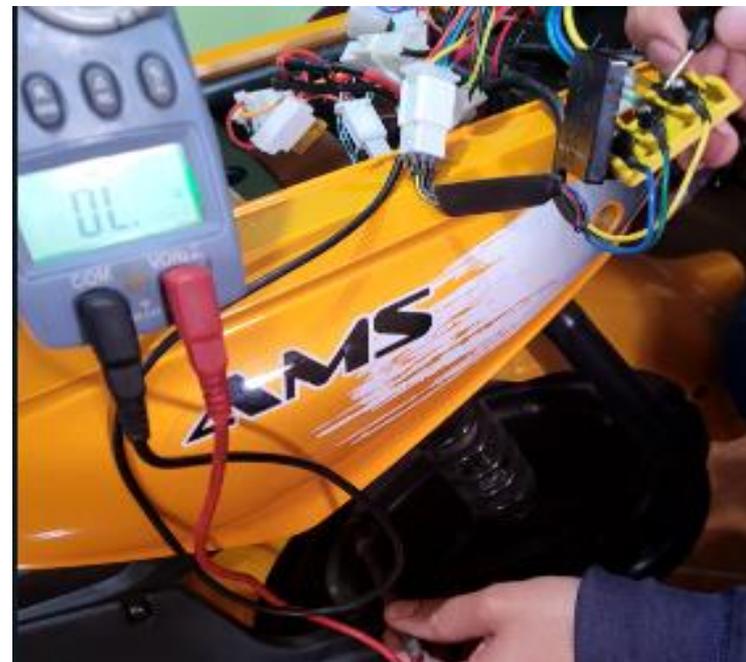


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Comprobación del Motor



Posición 3  
F2: 220.2Hz  
F3: 220.2Hz  
F4: 220.2Hz



Ccontinuidad  
0



# Modelación de circuitos de alta, media y baja tensión de un vehículo Kia Soul

## Batería de alta tensión

### Batería de alta tensión

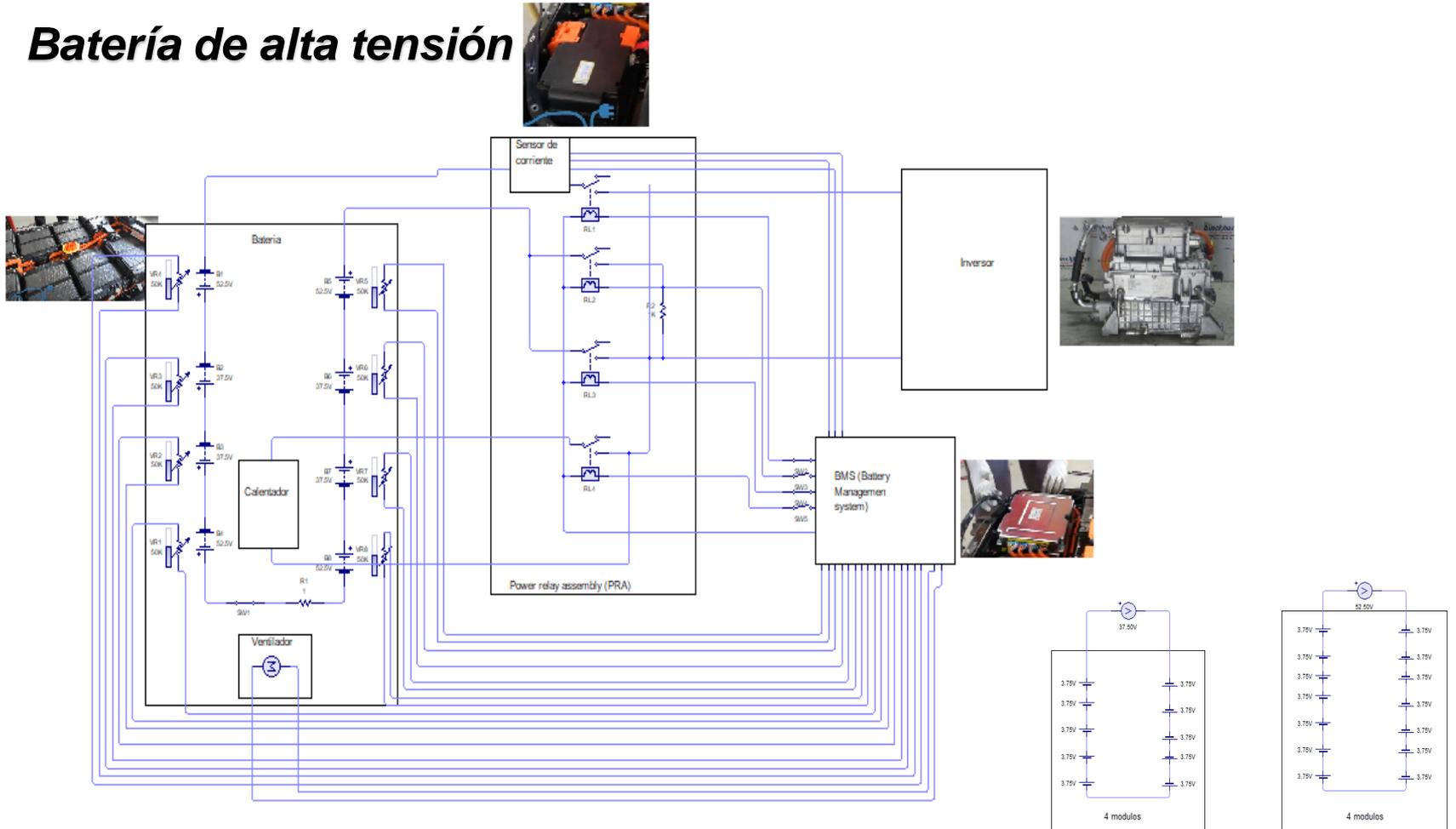


Fig. 7: Circuito eléctrico batería de alto voltaje



# Inversor

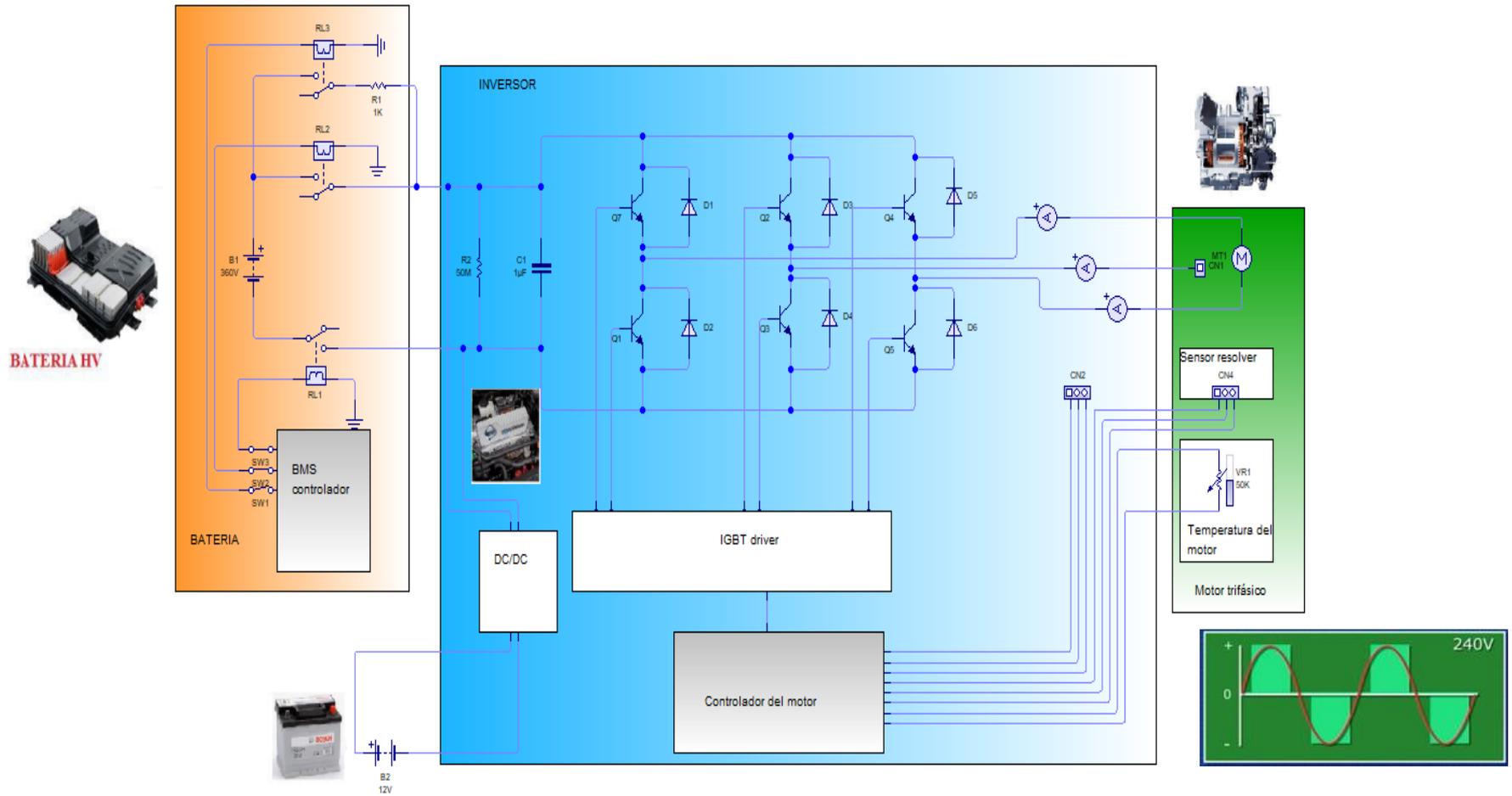
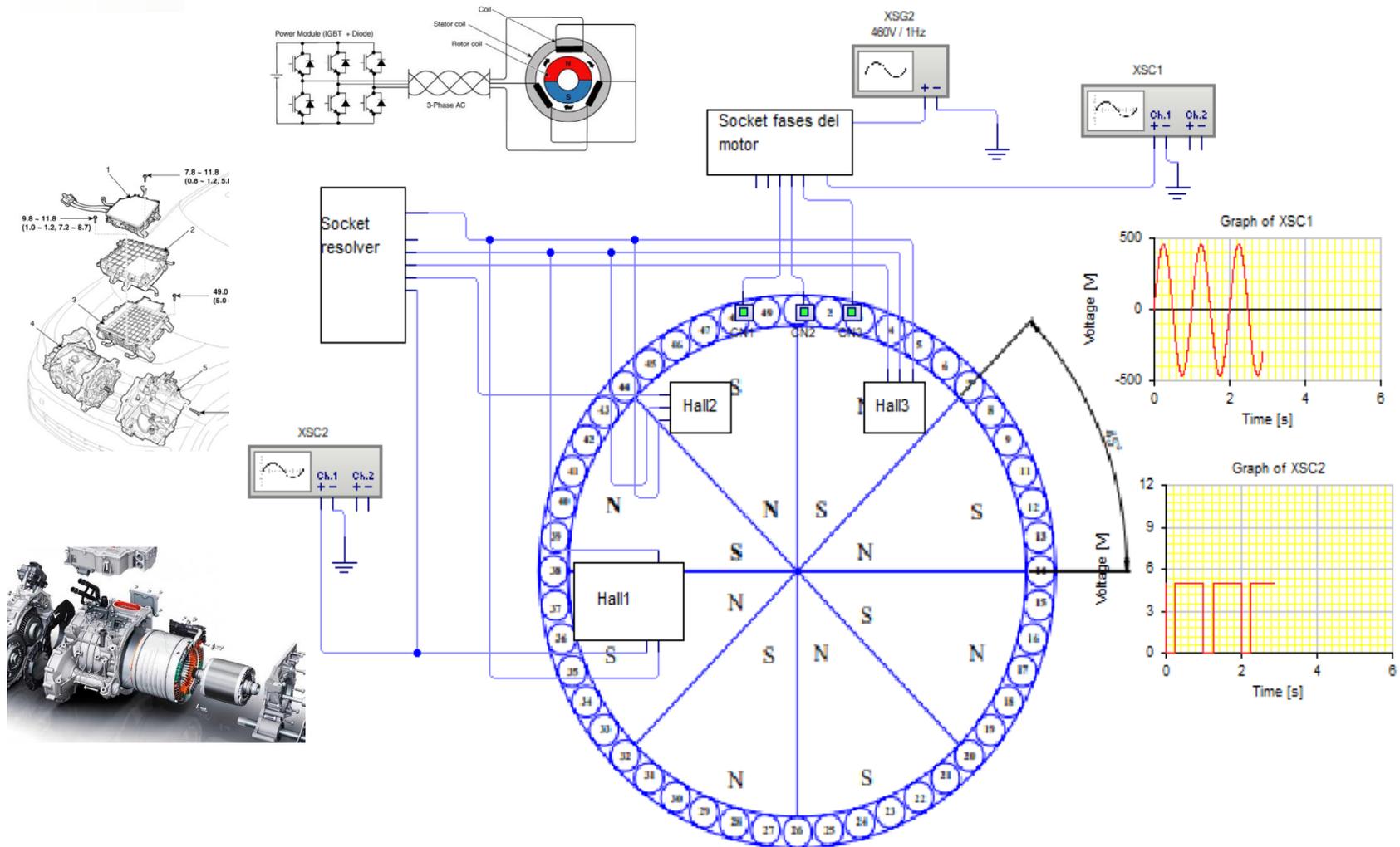


Fig. 8: Inversor

# Motor trifásico



**Fig. 9:** Diagrama eléctrico motor síncrono imanes permanentes

# Cargador

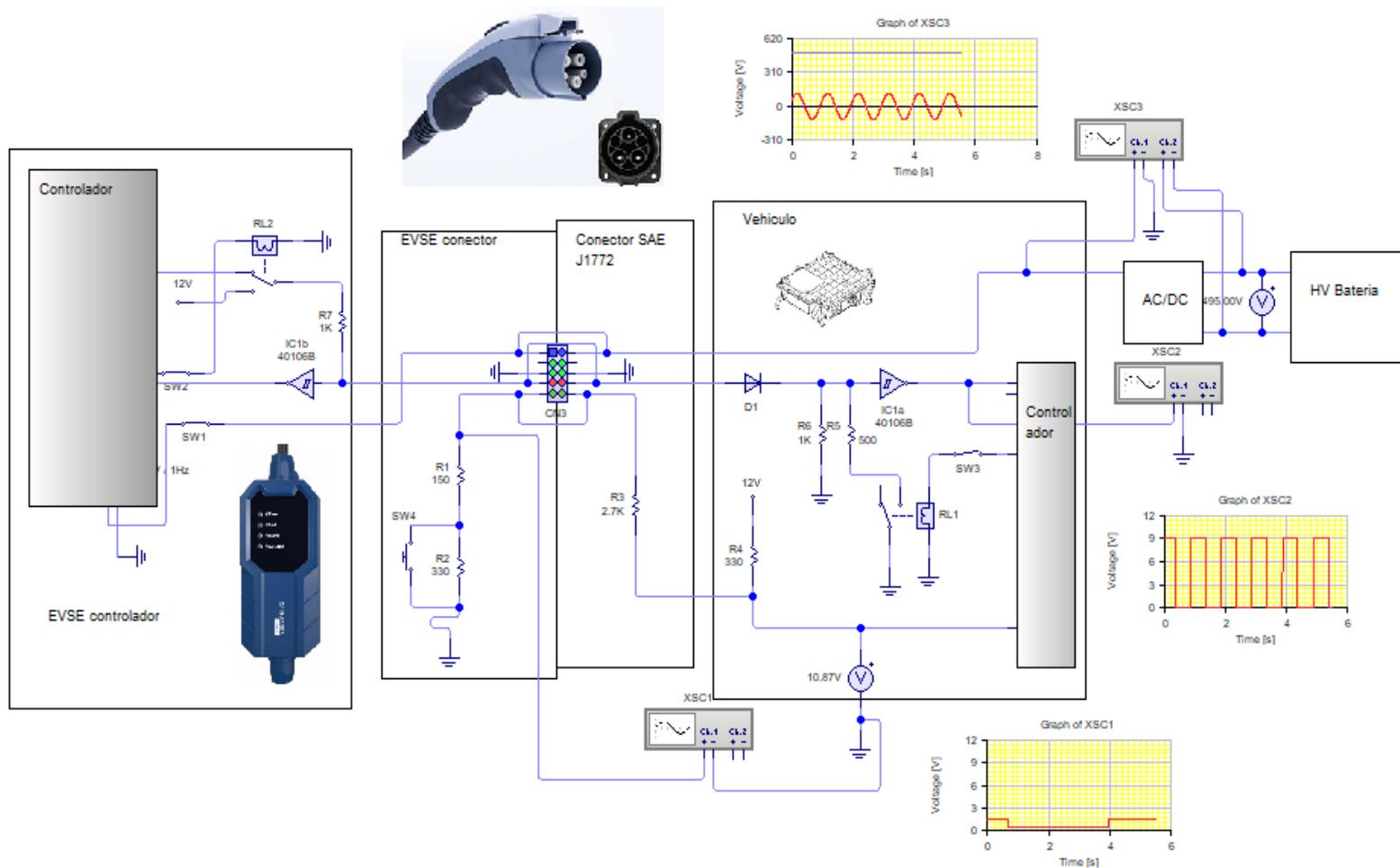


Fig. 10: Circuito eléctrico del cargador nivel 1

# Modelación dinámica de fluidos computacional

- En primer lugar realizamos la simulación CFD para obtener como resultado la fuerza aerodinámica y el área frontal de la moto eléctrica y del vehiculó eléctrico.

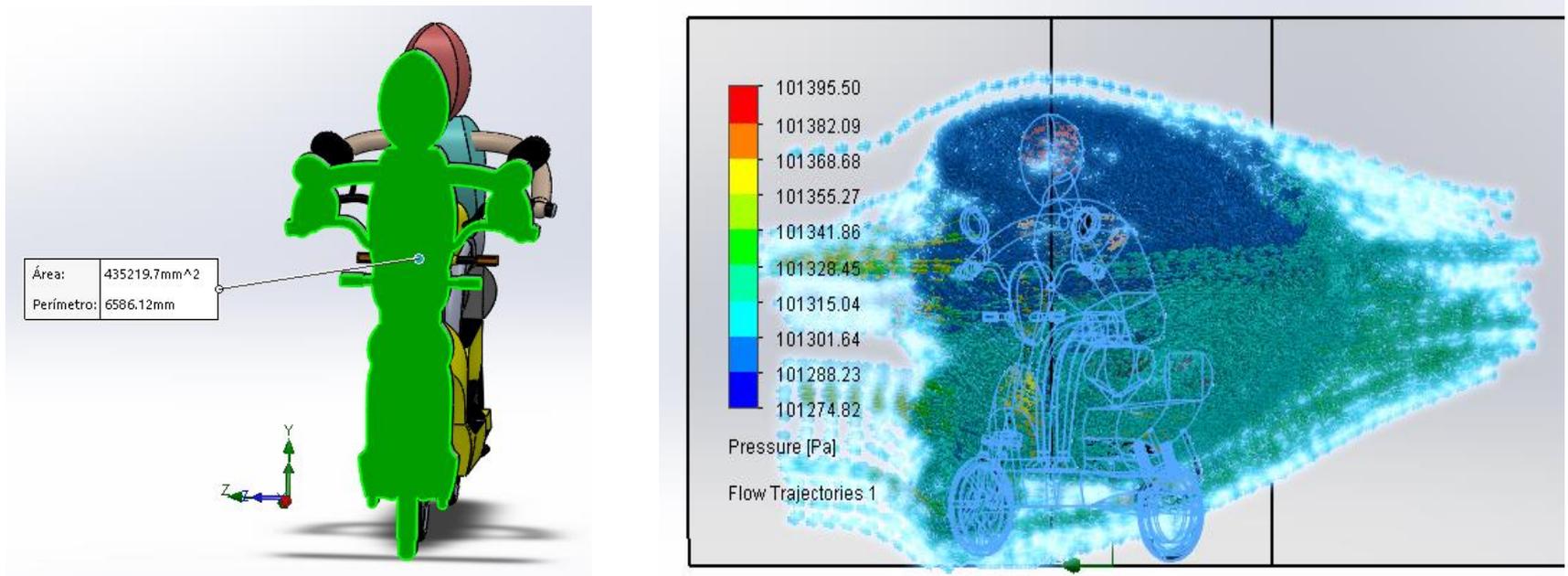


Fig. 11: Área y simulación CFD de la motocicleta

# Modelación dinámica de fluidos computacional

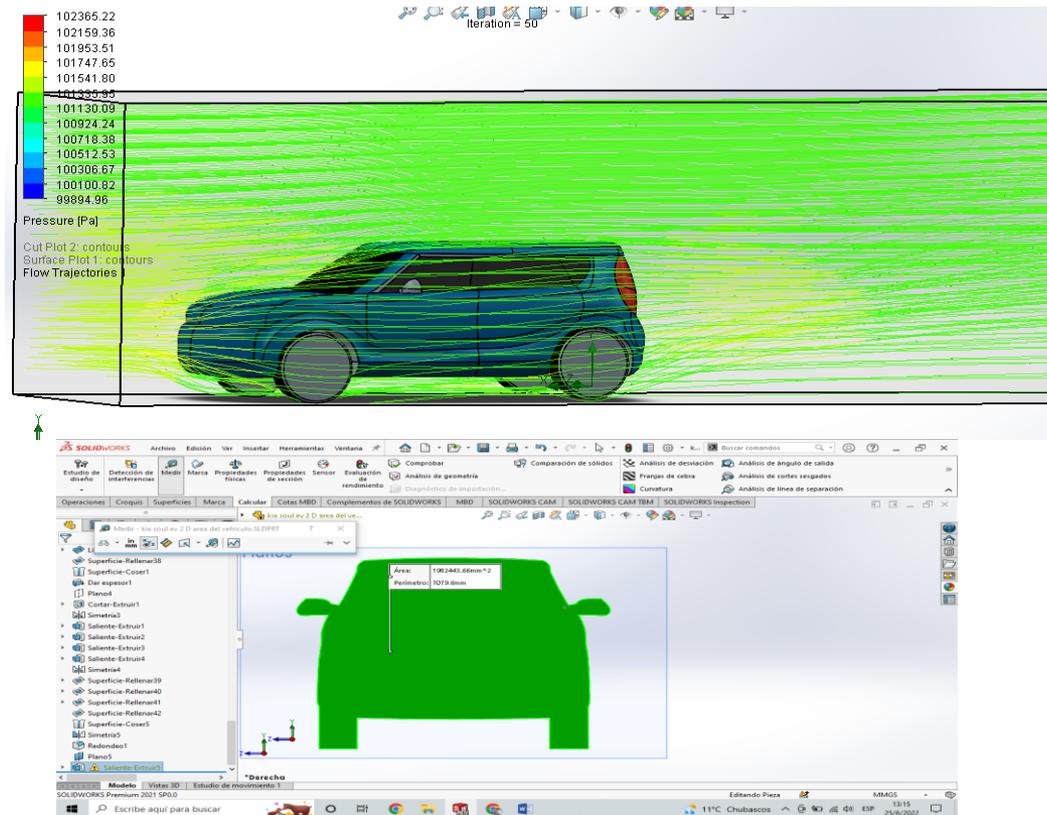


Fig. 12: Área y simulación CFD del vehículo



# Modelación dinámica de fluidos computacional

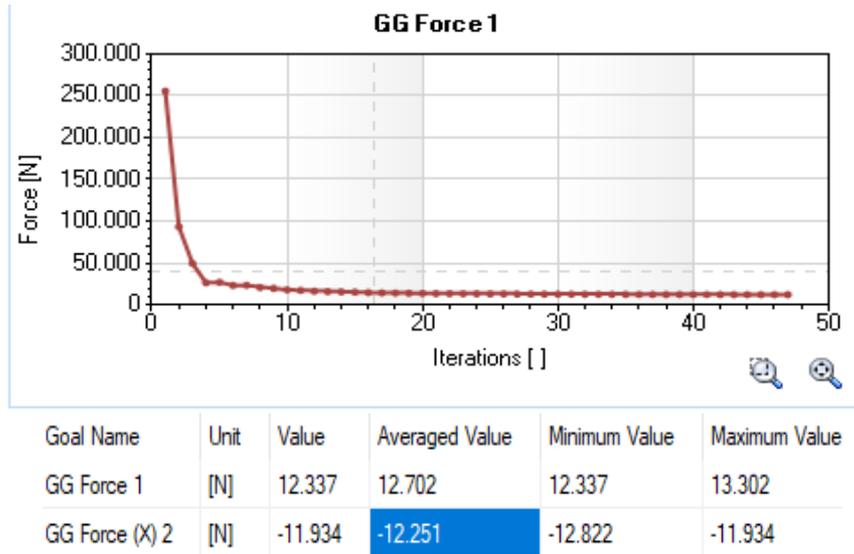


Fig. 13: Resultados fuerza aerodinámica moto eléctrica

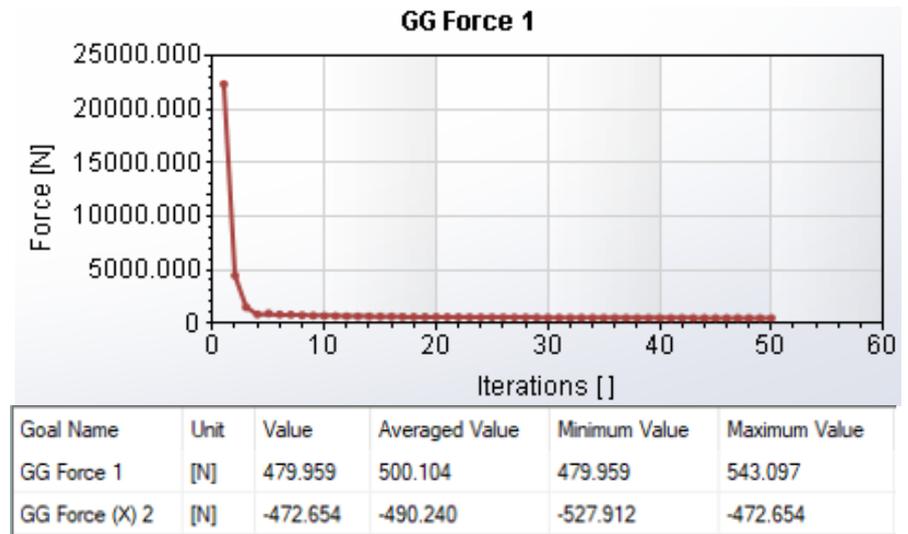


Fig. 14: Resultados fuerza aerodinámica Vehículo

# Modelación dinámica de fluidos computacional

Moto eléctrica

Variable	Valor
Área	$A=435219.7 \text{ mm}^2 = 0.4352197\text{m}^2.$
Coeficiente aerodinámico	0.4690

**Tabla 6:** Resultados modelación dinámica de fluidos moto eléctrica.

Kia Soul

Variable	Valor
Área	$A=1982443.66 \text{ mm}^2 = 1.98244366\text{m}^2.$
Coeficiente aerodinámico	0.3510

**Tabla 7:** Resultados modelación dinámica de fluidos vehículo.



## Ciclos de conducción

- Se realizaron ciclos de conducción con el objetivo de tener un base de datos de velocidad y tiempo para posteriormente cargar este documento en el programa Matlab

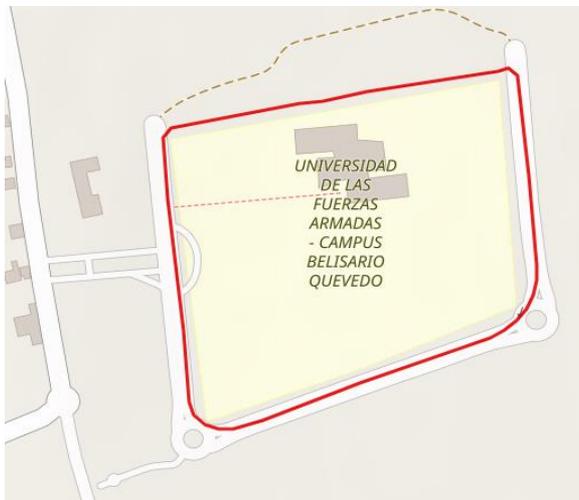


Fig. 15: Ruta y grafico de velocidad vs tiempo estudiado para la moto eléctrica.



# Ciclos de conducción

- Del mismo ciclo de conducción también se obtuvo el perfil de elevación de la ruta estudiada

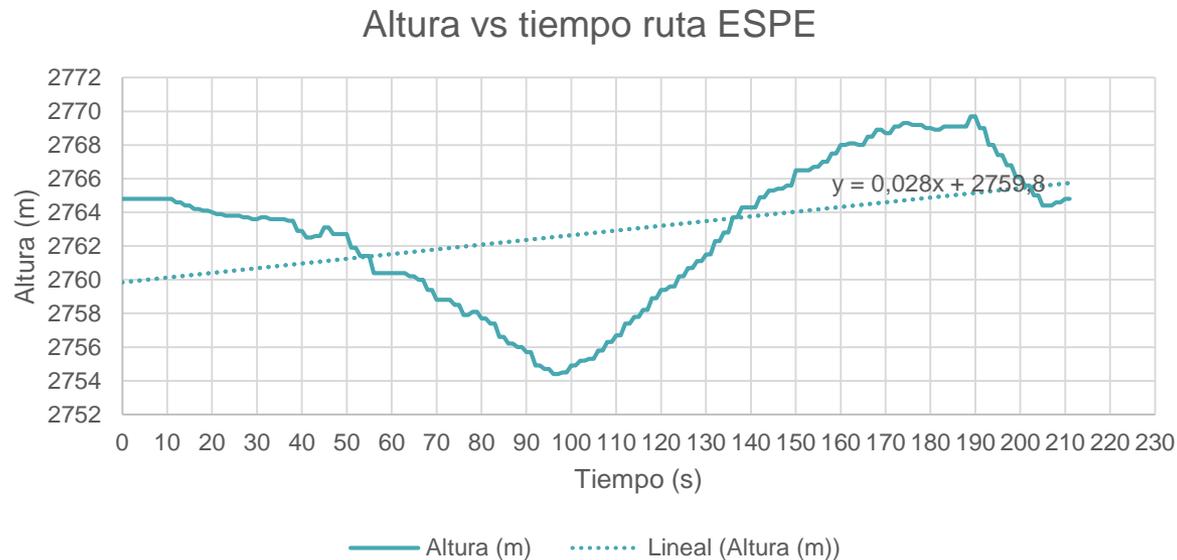


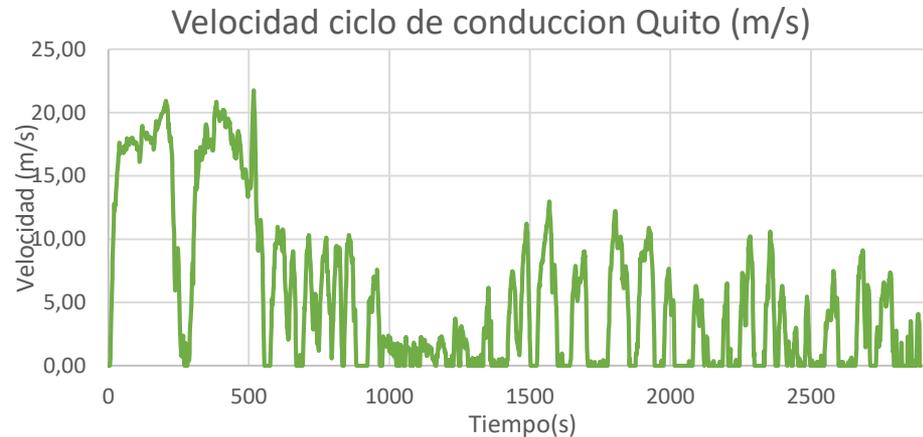
Fig. 16: perfil de elevación de la ruta estudiada ESPE.

- El perfil de elevación de la ruta en quito consta de: el 42% del total del recorrido es plano o con pendientes menores a grado 3, el 22% contiene pendientes de grado 4



# Ciclos de conducción

- Para el vehículo eléctrico se utilizó un ciclo de conducción realizado en la ciudad de Quito.



**Fig. 17:** Ruta y grafico de velocidad vs tiempo estudiado para vehículo

Tiempo total transcurrido(s)	Número de paradas	Velocidad máxima (Km/h)	Aceleración máxima (m/s <sup>2</sup> )	Distancia (m)
2889	63	78.33	1.45	15673

**Tabla 8:** Parámetros tomados del ciclo de conducción distrito metropolitano de Quito.

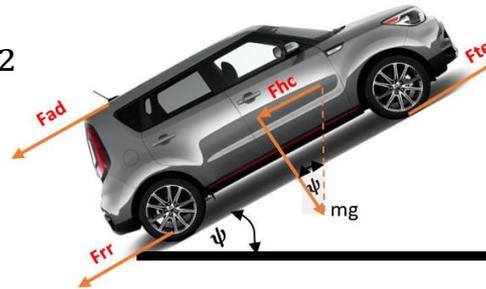


- **Fuerza de arrastre**

Esta es considerada como la resistencia a dicha rodadura esto debe mayormente al roce del neumático del vehículo con la calzada.

$$F_{rr} = u_{rr} * m * g$$

$$u_{rr} = 0.0136 + 0.40 \times 10^{-7} * V^2$$



Vehículo	Fuerza de arrastre (N)
Moto eléctrica	23.951
Kia Soul	261.879

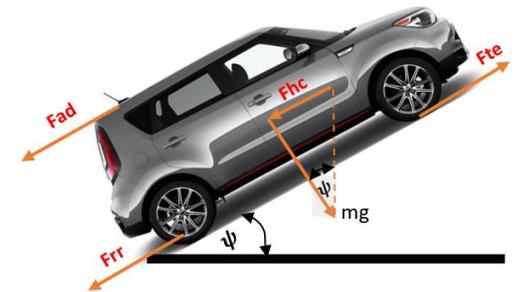
**Tabla 9:** Resultados fuerza de arrastre calculada.

# Dinámica del vehículo

- **Fuerza aerodinámica**

La fuerza aerodinámica es aquella que sufre un cuerpo al moverse en un medio gaseoso

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * \rho * A * C_d * v^2$$



Vehículo	Velocidad (Km/h)	Fuerza aerodinámica (N)
Moto eléctrica	10	1.001
	20	4.004
	35	12.239
Kia Soul	30	30.653
	90	275.88
	120	490.74

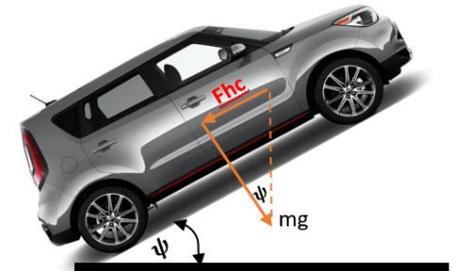
**Tabla 10:** Resultados fuerza aerodinámica calculada.

## Dinámica del vehículo

- Fuerza en pendiente**

La fuerza en pendiente es necesaria para poder impulsar el vehículo en una cuesta, esta fuerza es la proyección del vector al ángulo de inclinación de la cuesta.

$$F_{hc} = m * g * \sin\psi$$



Vehículo	$\sin\psi$ (Psi)	Fuerza en pendiente (N)
Moto eléctrica	1.252 ° (0.02186 rad)	27.554 N
Kia Soul	4° (0.0698132 rad)	1341.25N

**Tabla 11:** Resultados fuerza en pendiente calculada.

- **Fuerza neta**

Esta fuerza se produce cuando el movimiento de traslación del vehículo este acoplado al movimiento giratorio de ciertos componentes que están conectados a las ruedas,

$$F_{net} = \gamma_m * m * a$$

$$\gamma_m = 1.04 + 0.0025(\varepsilon_c * \varepsilon_d)^2$$

Vehículo	Relación de diferencial	Fuerza neta (N)
Moto eléctrica	0	0 N
Kia Soul	8.206	3433.136 N

**Tabla 12:** Resultados fuerza neta calculada.



# Dinámica del vehículo

## • Fuerza de tracción

Vehículo	Fuerza de tracción (N)
Moto eléctrica	61.88
Kia Soul	5312.065

Tabla 13: Resultados fuerza de tracción calculada.

## • Potencia mecánica

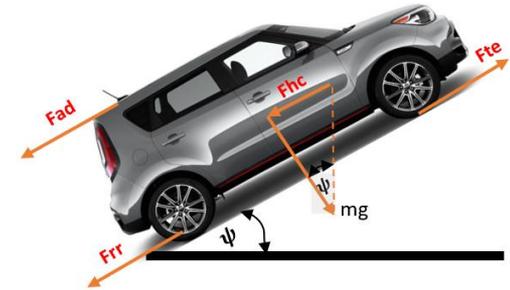
Vehículo	Potencia mecánica (W)
Moto eléctrica	601.47
Kia Soul	75696.93

Tabla 14: Resultados potencia mecánica calculada.

## • Potencia eléctrica

Vehículo	Eficiencia	Potencia eléctrica (W)
Moto eléctrica	0.90	668.3 W
Kia Soul	0.95	79.68 KW

Tabla 15: Resultados Potencia eléctrica calculada.



# Diseño del modelo matemático en software especializado

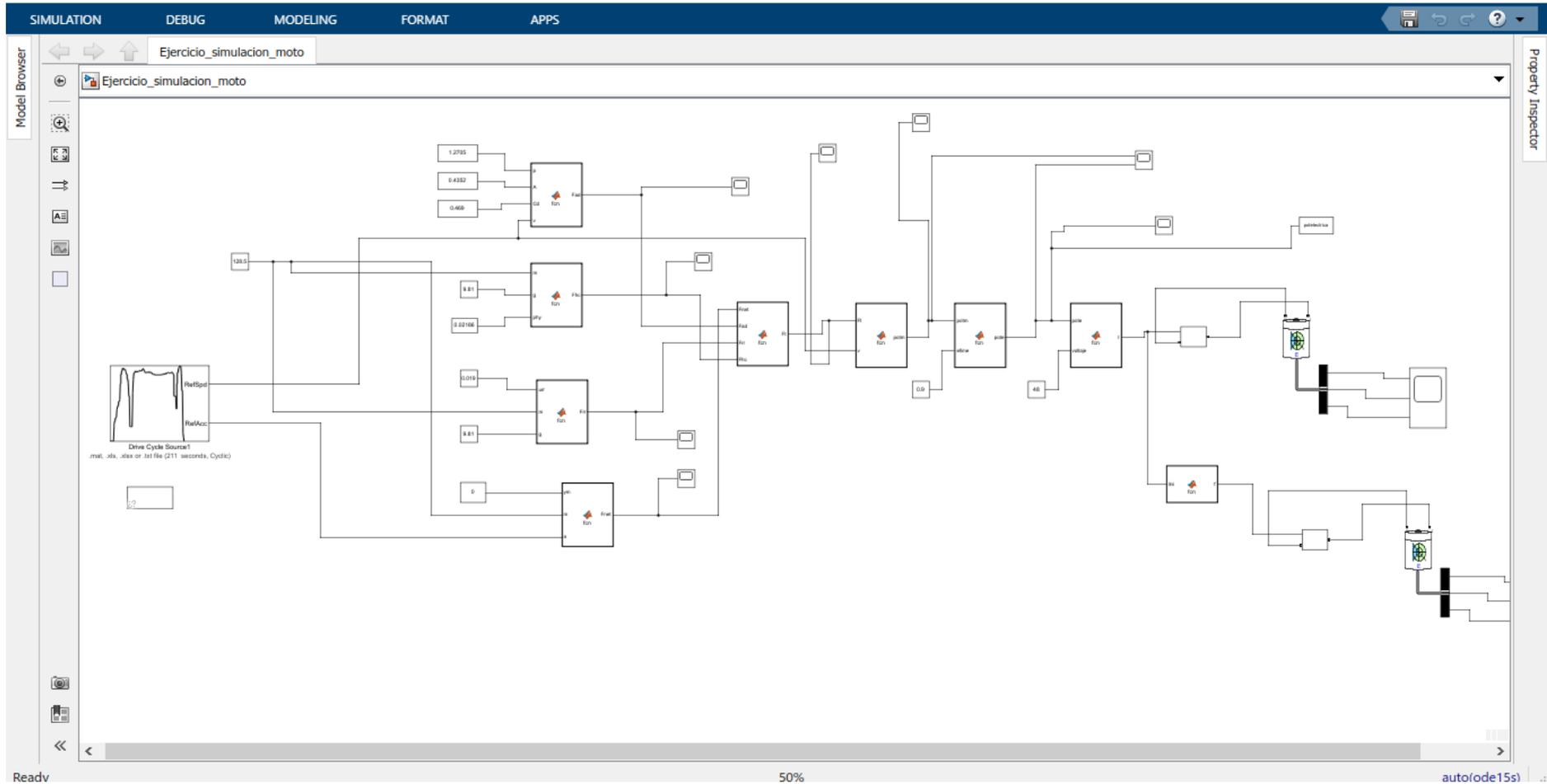


Fig. 18: Modelo matemático en programa Matlab.



# Resultados obtenidos de la simulación

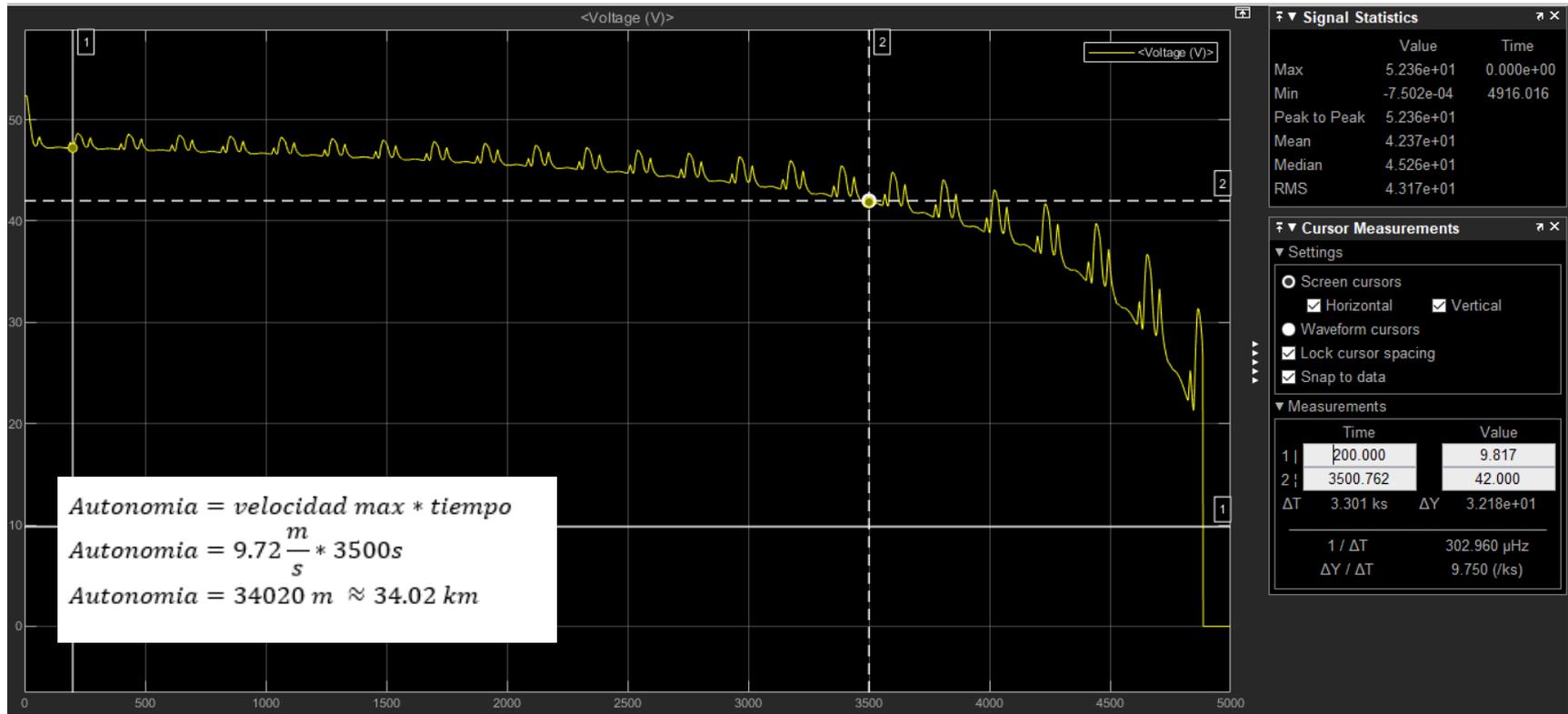


Fig. 19: Grafico de voltaje vs tiempo acido plomo.

Autonomía manual	Autonomía simulada	Autonomía real	Error
40-60 Km	34.02 Km	36.5 Km	6.79%

Tabla 16: Autonomía moto eléctrica.

# Resultados obtenidos de la simulación

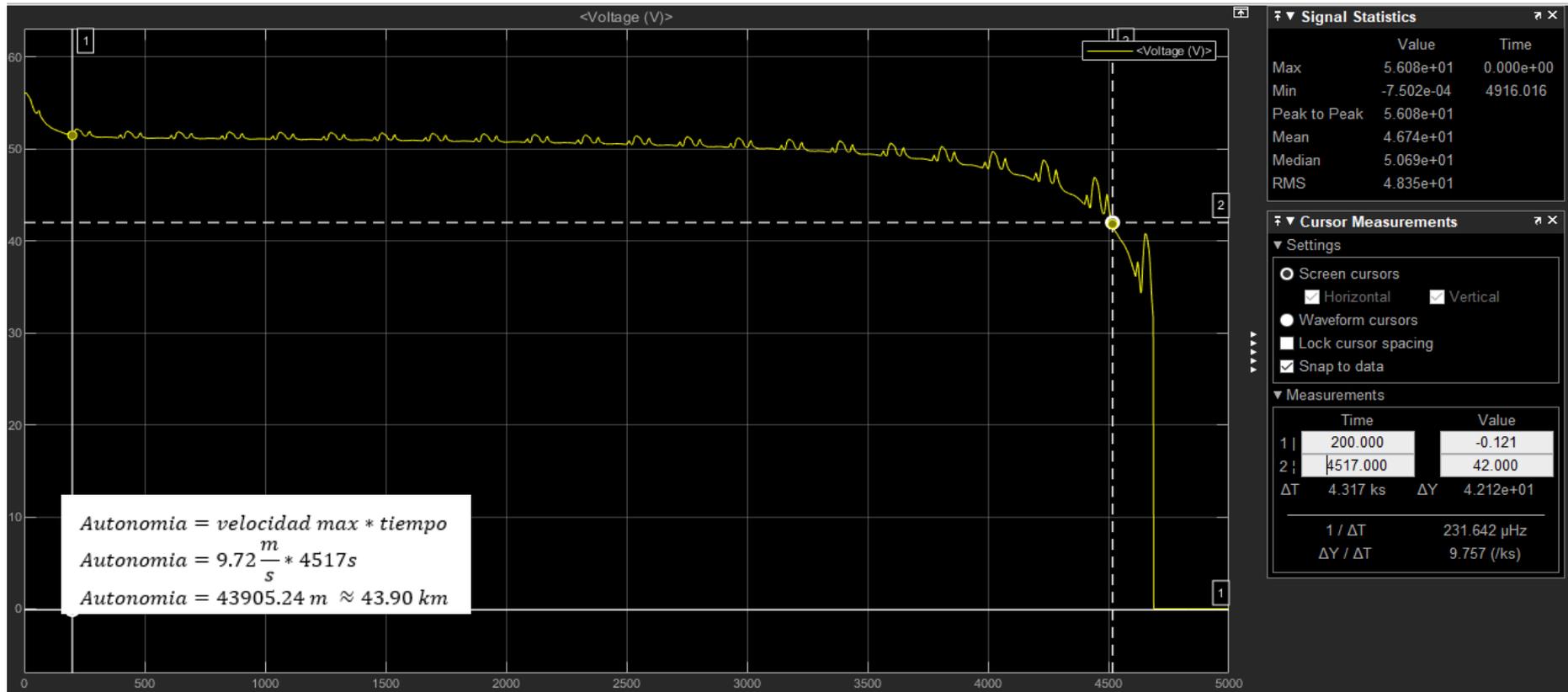


Fig. 20: Grafico de voltaje vs tiempo ion litio.

Autonomía manual	Autonomía simulada ion litio	Autonomía simulada Plomo acido	Ganancia
40-60 Km	43.90 Km	36.5 Km	7.4 Km

Tabla 17: Autonomía moto eléctrica Ion litio.



# Resultados obtenidos de la simulación

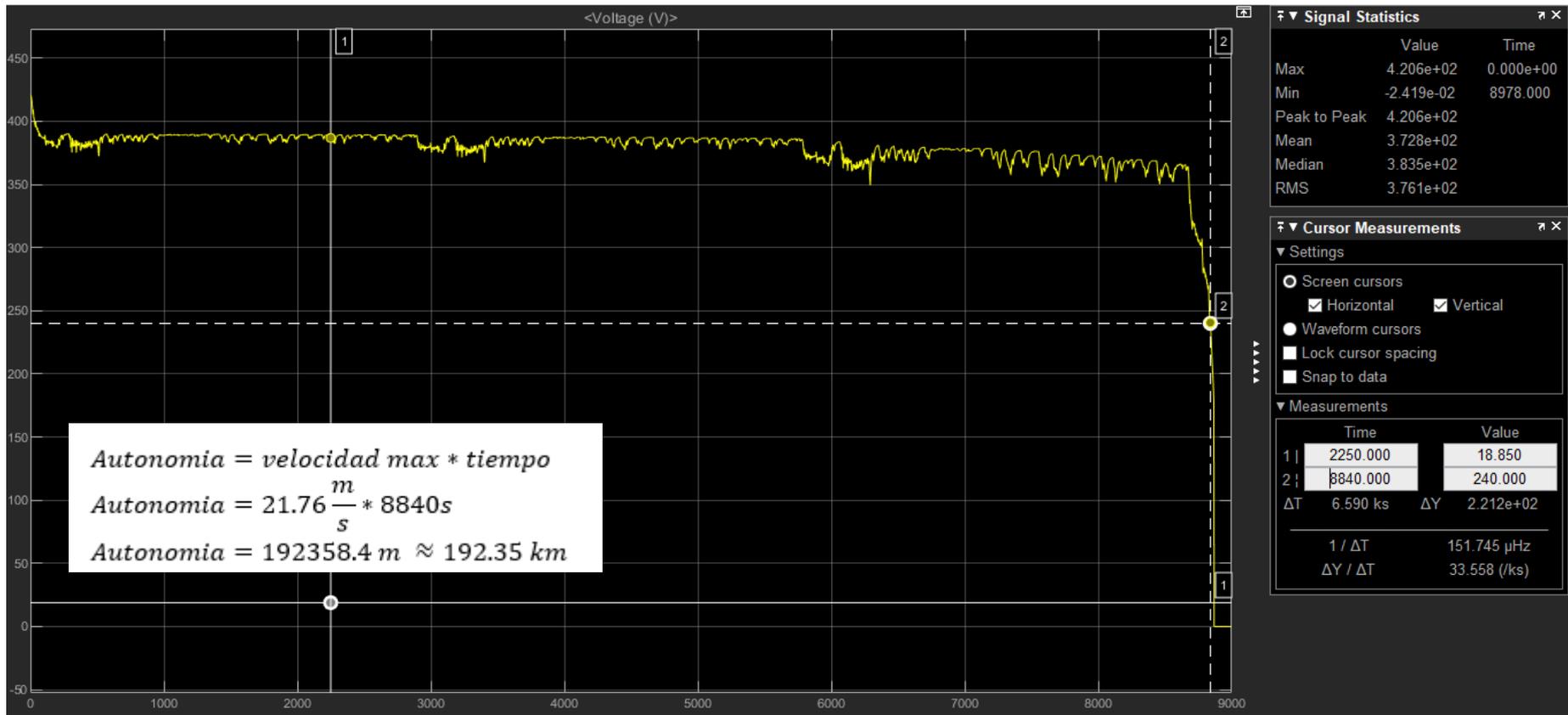


Fig. 21: Grafico de voltaje vs tiempo ion litio.

Autonomía manual	Autonomía simulada ion litio	Error
212 Km	192.35 Km	9.27%

Tabla 18: Autonomía Kia Soul Ion litio.



# Resultados obtenidos de la simulación

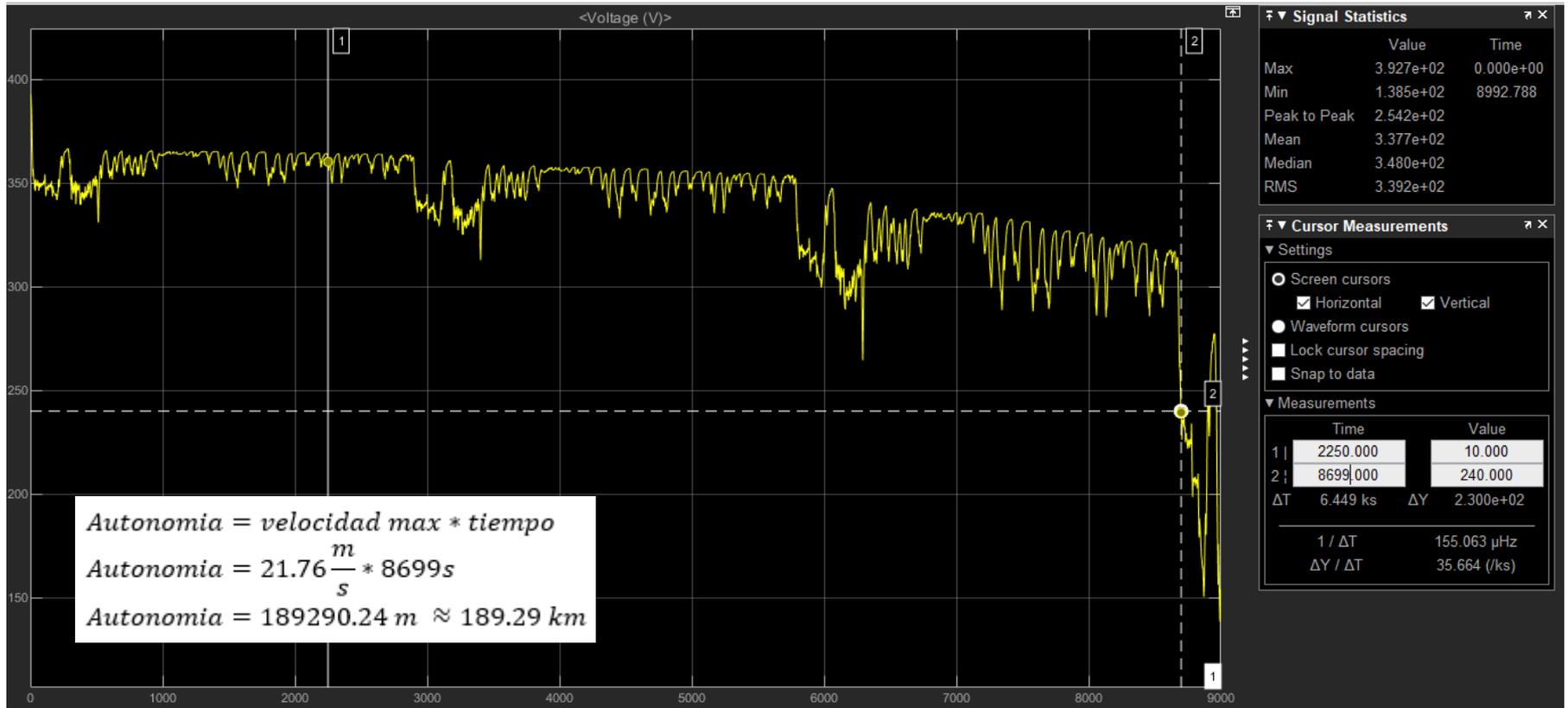


Fig. 22: Grafico de voltaje vs tiempo plomo acido.

Autonomía manual	Autonomía simulada acido plomo	Error
212 Km	189.29 Km	10.72%

Tabla 19: Autonomía Kia Soul plomo acido.



## Conclusiones

- Mediante el análisis de contaminación se concluye que si el 100% de vehículos vendidos en el año 2021 fueran eléctricos el valor de CO que no se emitiría al ambiente fuera de 80.04 Kg y 6.96 Kg de HC. Se determinó que las motocicletas aportan un mayor número de contaminación al aire que los vehículos, las motos tiene un límite máximo de contaminación mayor al de los vehículos.
- El proceso de generación de energía eléctrica en Ecuador, en su mayoría es limpio porque el 92 % de la energía eléctrica producida en el país es por centrales hidroeléctricas, mientras que solo el 7% corresponde a las termoeléctricas.
- Mediante la modelación dinámica de fluidos computacional (CFD), se consiguió la fuerza aerodinámica de la moto eléctrica y el vehículo eléctrico
- Se logro modelar el comportamiento de la batería en los medios estudiados. Concluyendo que la tecnología de baterías de ion litio es la que mas autonomía brinda a la moto eléctrica y al vehiculo.



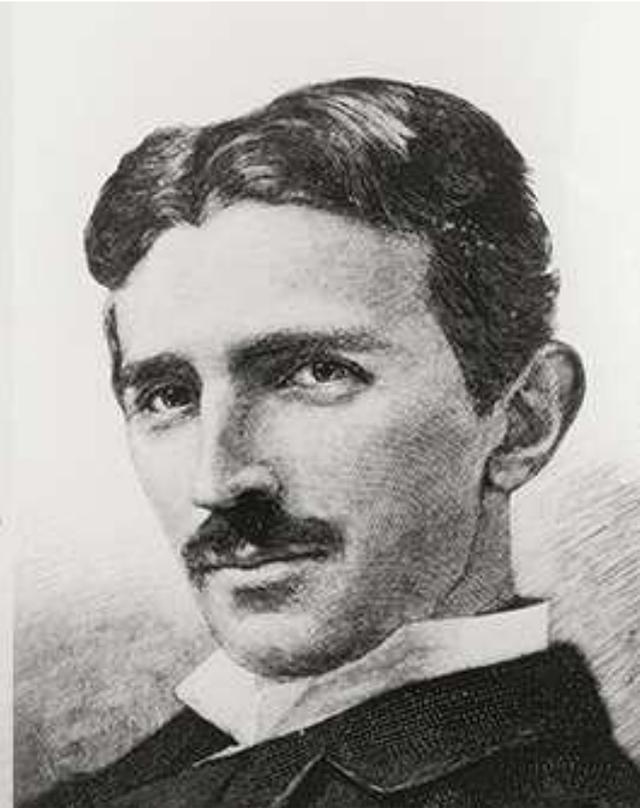
## Recomendaciones

- Es recomendable realizar planes y capacitaciones para que se incremente el uso de electromovilidad ya que como se ve en este trabajo es una alternativa viable para disminuir el problema de contaminación del aire que afecta principalmente a las grandes ciudades del Ecuador.
- Para futuras investigaciones es recomendable generar ciclos de conducción basados en la geografía del Ecuador, con la disponibilidad del vehículo eléctrico para que los datos recolectados sean más reales y que la simulación en Matlab de resultados más parecidos a los de la realidad.
- Al momento de realizar mediciones en los sistemas eléctricos de alto voltaje es recomendable usar guantes de protección aislados para evitar descargas eléctricas al personal técnico.



**EL FUTURO  
MOSTRARÁ LOS  
RESULTADOS Y  
JUZGARÁ A CADA  
UNO DE ACUERDO  
A SUS LOGROS.**

**NIKOLA TESLA**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA