



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**SIMULACIÓN ENERGÉTICA Y DINÁMICA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO BYD
SEAGULL EN MATLAB/SIMULINK**

**CHRISTIAN ANDRES ANDRADE PACHECO
JORGE MATHEO CARRILLO MARTINEZ**

**VEHICULOS ELECTRICOS E HIBRIDOS
ING. CARLOS CARRANCO**

**QUITO - ECUADOR
FEBRERO - 2026**

1. INTRODUCCION

La transición global hacia la movilidad eléctrica representa uno de los cambios tecnológicos más importantes en la industria automotriz del siglo XXI. La necesidad de reducir emisiones contaminantes, disminuir la dependencia de combustibles fósiles y mejorar la eficiencia energética ha impulsado el desarrollo de vehículos eléctricos de batería (BEV). En este contexto, el BYD Seagull se posiciona como un vehículo urbano compacto diseñado para ofrecer eficiencia energética, bajo costo operativo y sostenibilidad ambiental.

El análisis del comportamiento energético de un vehículo eléctrico requiere comprender la interacción dinámica entre múltiples subsistemas: batería, sistema de gestión de energía, convertidores electrónicos, máquina eléctrica, transmisión y sistemas auxiliares. La simulación computacional mediante herramientas como MATLAB/Simulink permite modelar matemáticamente estos sistemas y evaluar su desempeño bajo diferentes condiciones de operación.

Este proyecto se enfoca en el modelado y simulación del BYD Seagull con el objetivo de estudiar la respuesta del sistema ante un ciclo de conducción urbano. Se analiza la variación de corriente, voltaje, estado de carga (SOC), torque, velocidad del motor y comportamiento térmico del pack de baterías. La simulación permite validar principios físicos fundamentales como la conservación de energía, la relación entre potencia eléctrica y mecánica, y el funcionamiento del frenado regenerativo.

Además, el proyecto busca integrar conocimientos adquiridos en electrónica de potencia, máquinas eléctricas, dinámica vehicular y modelado matemático, aplicándolos en un entorno práctico de ingeniería. El enfoque metodológico combina análisis teórico, modelado computacional y evaluación comparativa con especificaciones reales del vehículo.

2. OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Desarrollar y analizar un modelo de simulación energética y dinámica del vehículo eléctrico BYD Seagull en MATLAB/Simulink, con el fin de evaluar el comportamiento de la batería, el sistema de tracción eléctrica y la estabilidad térmica durante un ciclo de conducción urbano.

2.2 ESPECIFICOS

- Desarrollar e implementar en MATLAB/Simulink un modelo integral del sistema de tracción eléctrica del BYD Seagull, que incluya la representación matemática del pack de baterías, el convertidor electrónico de potencia, la máquina eléctrica, la transmisión y la dinámica longitudinal del vehículo, asegurando la correcta interacción entre los dominios eléctrico, mecánico y térmico bajo condiciones de operación variables.
- Simular un ciclo de conducción urbano representativo para evaluar el comportamiento energético del vehículo, analizando detalladamente la evolución temporal de la corriente, el voltaje y la potencia del pack de baterías durante eventos de aceleración, crucero y frenado regenerativo, con el fin de identificar patrones de consumo y recuperación de energía.
- Analizar la coherencia energética del modelo mediante la correlación entre la potencia eléctrica suministrada por la batería y la potencia mecánica desarrollada por el motor eléctrico, verificando el cumplimiento de los principios de conservación de energía y cuantificando las pérdidas asociadas a los procesos de conversión electromecánica y transmisión mecánica.
- Evaluar la estabilidad operativa del sistema de almacenamiento energético a través del estudio del estado de carga (SOC) y del comportamiento térmico del pack de baterías, determinando la influencia del perfil de conducción sobre la variación de estos parámetros y estableciendo conclusiones sobre la eficiencia y seguridad del sistema bajo el escenario de simulación planteado.

3. MARCO TEORICO

La movilidad eléctrica constituye uno de los ejes estratégicos de transformación tecnológica en la ingeniería automotriz contemporánea. Los vehículos eléctricos de batería (Battery Electric Vehicles, BEV) reemplazan el sistema de combustión interna por un sistema de tracción eléctrica basado en almacenamiento electroquímico de energía y conversión electromecánica. Desde el punto de vista energético, un BEV se fundamenta en la conversión de energía química almacenada en celdas de ion-litio hacia energía eléctrica, la cual posteriormente es transformada en energía mecánica mediante una máquina eléctrica síncrona o de imanes permanentes. Este proceso involucra principios de conservación de energía, leyes de circuitos eléctricos, dinámica rotacional y transferencia térmica.

El comportamiento eléctrico del sistema de baterías puede modelarse mediante una fuente de voltaje dependiente del estado de carga (State of Charge, SOC) y una resistencia interna equivalente. La potencia eléctrica instantánea suministrada por el pack está definida por la relación $P = V \cdot I$, donde V representa el voltaje terminal y I la corriente. Durante fases de aceleración, la corriente es positiva, indicando descarga del sistema; mientras que en frenado regenerativo la corriente adopta signo negativo, reflejando flujo inverso de energía hacia la batería. La variación del voltaje terminal se explica por la caída interna $I \cdot R$, así como por la dinámica electroquímica propia del material activo.

Desde la perspectiva térmica, la batería experimenta generación de calor debido a pérdidas resistivas, modeladas por la expresión $Q = I^2 R$. La estabilidad térmica resulta crítica para preservar la integridad estructural y la vida útil del sistema. El control térmico en vehículos eléctricos modernos incluye estrategias de enfriamiento activo o pasivo que garantizan operación dentro de rangos seguros de temperatura, evitando degradación acelerada.

La conversión de energía eléctrica en energía mecánica se realiza mediante una máquina eléctrica cuyo comportamiento se describe por la relación de potencia mecánica $P_{\text{mec}} = T \cdot \omega$, donde T corresponde al torque electromagnético y ω a la velocidad angular del rotor. La interacción entre el inversor electrónico y la máquina permite regular la frecuencia y amplitud de la señal trifásica aplicada al estator, controlando así la velocidad y el torque desarrollado. El inversor opera bajo modulación por ancho de pulso (PWM), optimizando eficiencia y reduciendo armónicos.

En términos dinámicos, el movimiento longitudinal del vehículo se modela mediante la segunda ley de Newton aplicada al sistema traslacional: $m \cdot a = F_{\text{tracción}} - F_{\text{resistencias}}$, donde las fuerzas resistivas incluyen componente aerodinámica (proporcional al cuadrado de la velocidad), resistencia a la rodadura y posibles pendientes del terreno. La potencia requerida para vencer dichas resistencias se traduce en demanda de corriente desde la batería, estableciendo una relación directa entre perfil de conducción y consumo energético.

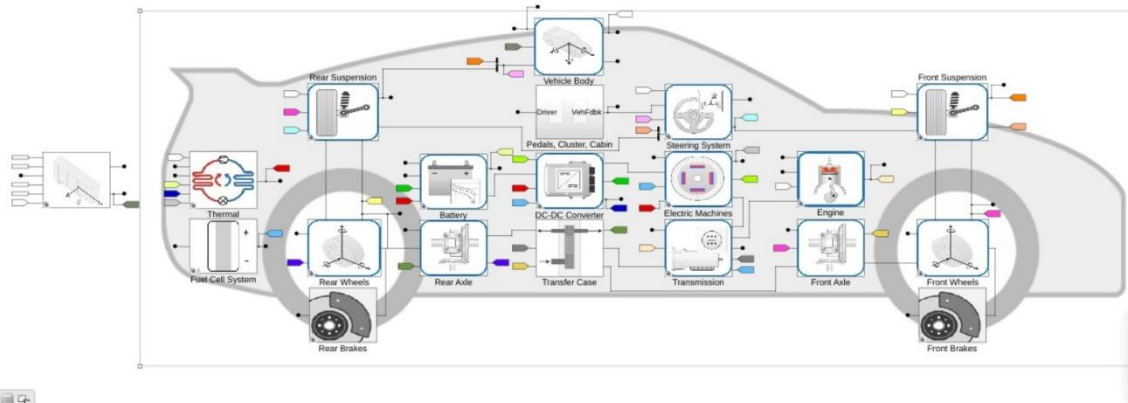
El frenado regenerativo constituye un elemento distintivo en los BEV, ya que permite recuperar parte de la energía cinética del vehículo. Durante este proceso, la máquina eléctrica opera como generador, transformando energía mecánica en energía eléctrica que es redirigida al pack de baterías. La eficiencia del proceso depende de la capacidad del sistema electrónico de potencia y del estado del SOC, ya que una batería cercana a su límite superior reduce la capacidad de absorción de energía regenerativa.

El modelado computacional en MATLAB/Simulink permite integrar estos fenómenos eléctricos, mecánicos y térmicos dentro de un entorno dinámico basado en ecuaciones diferenciales. La representación en bloques facilita la simulación de interacciones complejas entre subsistemas, validando coherencia energética y estabilidad operativa. Mediante esta herramienta es posible analizar escenarios de conducción urbana, estudiar transitorios de aceleración y evaluar impacto en el estado de carga, todo ello sin necesidad de pruebas físicas directas, reduciendo costos y riesgos experimentales.

En el contexto del BYD Seagull, vehículo eléctrico urbano compacto, la arquitectura de tracción delantera y batería de ion-litio responde a criterios de eficiencia energética y optimización de peso. El análisis teórico de su comportamiento mediante simulación permite comprender la interacción entre demanda del conductor, respuesta del sistema eléctrico y estabilidad térmica, consolidando los fundamentos científicos que sustentan el diseño y operación de los vehículos eléctricos modernos.

4. ARQUITECTURA DEL MODELO EN SIMULINK

El modelo implementado incluye los siguientes subsistemas: batería, convertidor DC-DC, inversor, máquina eléctrica, transmisión, sistema de suspensión, sistema térmico y modelo de conductor.



Análisis Técnico del Modelo del Vehículo Eléctrico en Simulink

La imagen presentada corresponde a un modelo integral de vehículo eléctrico desarrollado en MATLAB/Simulink con Simscape, donde se representa la arquitectura física y energética completa del sistema. El modelo integra subsistemas eléctricos, mecánicos, térmicos y de control dentro de una plataforma de simulación multipropósito. Desde el punto de vista sistémico, el vehículo se estructura en cinco dominios principales:

- ❖ Dominio energético (batería y conversión de potencia)
- ❖ Dominio electromecánico (máquina eléctrica y transmisión)
- ❖ Dominio dinámico vehicular (cuerpo, ruedas, ejes y suspensión)
- ❖ Dominio térmico
- ❖ Dominio de control y conductor

➤ Sistema de Almacenamiento Energético (Battery)

El bloque Battery representa el sistema de acumulación electroquímica basado en baterías de ion-litio. Este subsistema modela:

- ❖ Voltaje dependiente del estado de carga (SOC)
- ❖ Resistencia interna
- ❖ Dinámica de corriente
- ❖ Posible modelo térmico acoplado

El comportamiento eléctrico del pack se describe mediante:

$$V_{terminal} = E(SOC) - I * R_{int}$$

Donde:

E (SOC) es la fuerza electromotriz dependiente del estado de carga.

R_{int} es la resistencia interna.

I es la corriente instantánea.

Este bloque constituye la fuente primaria de energía del sistema.

➤ **Convertidor DC-DC**

El bloque DC-DC Converter tiene la función de adaptar niveles de voltaje entre el bus principal de tracción y subsistemas auxiliares.

En un BEV típico:

- ❖ Puede reducir el voltaje del pack
- ❖ Alimenta sistemas auxiliares, electrónica y control

Este convertidor opera mediante conmutación electrónica de alta frecuencia, usualmente modelada con eficiencia constante o mapa de pérdidas.

➤ **Máquinas Eléctricas (Electric Machines)**

El bloque Electric Machines representa el motor de tracción, generalmente un Motor síncrono de imanes permanentes (PMSM) o Motor síncrono con excitación eléctrica.

La conversión electromecánica está gobernada por:

$$P_{mec} = T * \omega$$

Y eléctricamente:

$$P_{elec} = V * I$$

El modelo puede incluir:

- ❖ Inductancias d-q
- ❖ Flujo magnético
- ❖ Control vectorial
- ❖ Eficiencia dependiente de carga

Durante aceleración el motor actúa como carga eléctrica.

Durante regeneración el motor opera como generador.

➤ **Transmisión y Ejes**

El bloque Transmission modela la relación de reducción fija típica en vehículos eléctricos.

A diferencia de los vehículos de combustión no existe caja de cambios multipaso y se emplea una relación de reducción única.

La relación de transmisión se expresa como:

$$\omega_{rueda} = \frac{\omega_{motor}}{i}$$

Donde i es la relación de reducción.

Los bloques Front Axle y Rear Axle modelan:

- ❖ Transferencia de torque
- ❖ Inercia rotacional
- ❖ Pérdidas mecánicas

➤ **Ruedas y Dinámica Longitudinal**

Los bloques Front Wheels y Rear Wheels modelan la interacción neumático-suelo.

La dinámica longitudinal del vehículo se basa en:

$$m * a = F_{traccion} - F_{aereodinamica} - F_{rodadura} - F_{pendiente}$$

Donde:

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

$$F_{rodadura} = C_{rr} m g$$

Este modelo permite simular aceleraciones, desaceleraciones y crucero.

➤ **Sistema de Suspensión**

Los bloques Front Suspension y Rear Suspension modelan el comportamiento dinámico vertical del vehículo.

Generalmente se representa como un sistema masa-resorte-amortiguador:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F$$

Donde:

k es la rigidez del resorte.

F es el coeficiente de amortiguamiento.

Este modelo permite analizar estabilidad y confort.

➤ **Vehicle Body**

El bloque Vehicle Body integra:

- ❖ Masa total del vehículo
- ❖ Distribución de peso
- ❖ Centro de gravedad
- ❖ Dinámica longitudinal

Es el núcleo donde convergen fuerzas de tracción y resistivas.

➤ **Sistema de Dirección (Steering System)**

Modela la entrada del conductor y la transferencia de ángulo hacia las ruedas delanteras.

Puede incluir:

- ❖ Relación de dirección

- ❖ Dinámica asistida eléctrica

Aunque en esta simulación el enfoque principal es longitudinal, el bloque permite análisis lateral.

➤ **Sistema Térmico (Thermal)**

El bloque Thermal modela:

- ❖ Transferencia de calor del pack
- ❖ Disipación hacia ambiente
- ❖ Posible refrigeración activa

La generación térmica está asociada a:

$$Q = I^2 R$$

Este bloque es esencial para analizar estabilidad operativa.

➤ **Fuel Cell System (Plantilla Base)**

El bloque Fuel Cell System aparece en la arquitectura como parte de una plantilla genérica híbrida, pero en el caso del BEV:

- ❖ No participa activamente.
- ❖ El flujo energético es nulo.

➤ **Modelo del Conductor (Driver)**

El bloque Driver / Pedals / Cabin representa:

- ❖ Entrada de acelerador
- ❖ Entrada de freno
- ❖ Retroalimentación de velocidad

Este subsistema cierra el lazo de control.

✓ **Flujo Energético Global**

- ❖ Durante aceleración:

Batería → Inversor → Motor → Transmisión → Ruedas → Movimiento

- ❖ Durante regeneración:

Ruedas → Motor (Generador) → Inversor → Batería

✓ **Interpretación Sistémica**

El modelo representa un sistema dinámico acoplado donde interactúan:

- ❖ Ecuaciones eléctricas
- ❖ Ecuaciones mecánicas rotacionales

- ❖ Dinámica traslacional
- ❖ Transferencia térmica
- ❖ Lógica de control

Se trata de un modelo multiphysics donde la coherencia energética debe cumplir:

$$P_{electrica} \approx P_{mecanica} + pérdidas$$

○ Conclusión Técnica

La gráfica representa un modelo de arquitectura completa de vehículo eléctrico de tracción delantera, con:

- Integración energética coherente
- Modelado físico realista
- Acoplamiento eléctrico-mecánico-térmico
- Capacidad de simulación dinámica urbana

Este tipo de modelo es adecuado para:

- Evaluación de consumo energético
- Análisis de eficiencia
- Estudio de estrategias regenerativas
- Evaluación térmica
- Optimización de control

5. ANALISIS DE RESULTADOS

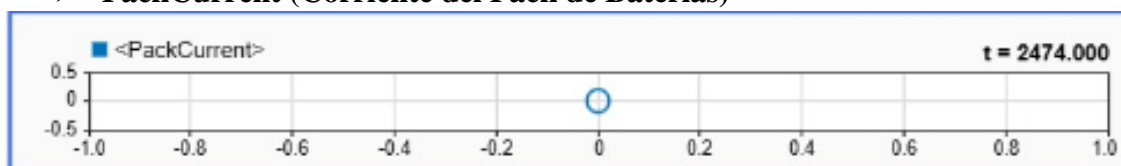
➤ FuelVolFlw (Fuel Volume Flow)



- I. **Observación:** La gráfica se mantiene en cero durante todo el ciclo.
- II. **Interpretación técnica:** Esta variable representa flujo volumétrico de combustible.

En un vehículo 100% eléctrico como el BYD Seagull es la confirmación de que el modelo está correctamente configurado como BEV (Battery Electric Vehicle) y no existe consumo de combustible fósil.

➤ PackCurrent (Corriente del Pack de Baterías)



I. **Observación:** El valor se mantiene cercano a 0 A en el instante mostrado ($t = 2474$ s).

II. **Interpretación técnica:**

La corriente del pack indica:

Corriente positiva → descarga (aceleración)

Corriente negativa → carga (frenado regenerativo)

Corriente cercana a cero → estado de reposo o baja demanda

En el instante mostrado el sistema está en régimen estable y sin demanda significativa de potencia.

➤ **BattVolt (Voltaje de Batería)**



I. **Observación:** Oscila aproximadamente entre 212 V y 222 V.

II. **Interpretación técnica:**

El voltaje del pack depende de:

$$V = E - I * R_{int}$$

Donde:

V = voltaje nominal

I = corriente

R_{int} = resistencia interna

Se observan:

- ❖ Caídas de voltaje durante aceleraciones
- ❖ Recuperaciones durante fases de baja demanda
- ❖ Pequeñas sobre-elevaciones durante regeneración

Comportamiento típico de una batería de litio con carga dinámica.

➤ **ThrPosPct (Throttle Position Percentage)**



I. **Observación:** Variaciones entre 0% y aproximadamente 30%.

II. **Interpretación técnica.**

Representa la demanda del conductor.

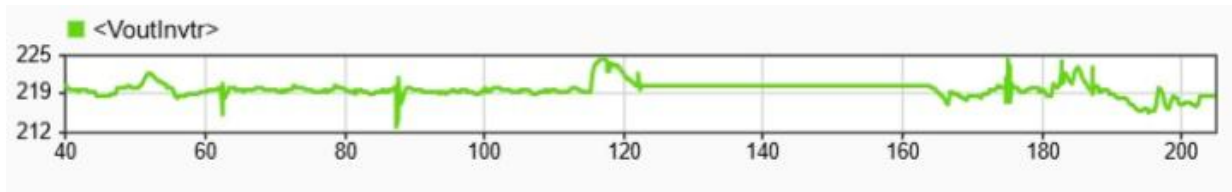
Incrementos → mayor torque solicitado

Valores constantes → cruce

Reducción → desaceleración

Se observa ciclo de conducción variable y fases de aceleración intermitente

➤ **VoutInvtr (Voltaje de salida del inversor)**



I. **Observación:** Comportamiento muy similar al voltaje de batería.

II. **Interpretación técnica:**

El inversor convierte DC → AC trifásico para alimentar el motor.

Si:

$$V_{dc} \approx V_{out}$$

Significa que el sistema trabaja sin elevador DC-DC intermedio.

Las pequeñas variaciones reflejan modulación PWM y respuesta ante cambios de torque

➤ **LnkPortFlw (Link Port Flow)**

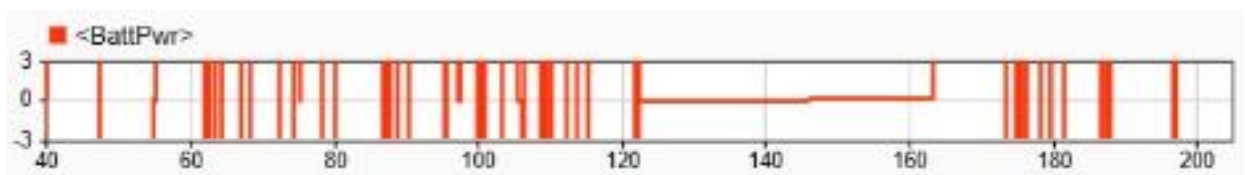


I. **Observación:** Se mantiene en cero.

II. **Interpretación técnica:**

Indica que no hay transferencia adicional de energía externa por lo tanto el sistema es autónomo y no hay conexión a red ni carga externa.

➤ **BattPwr (Potencia de Batería)**



I. **Observación:** Se observan picos positivos y negativos.

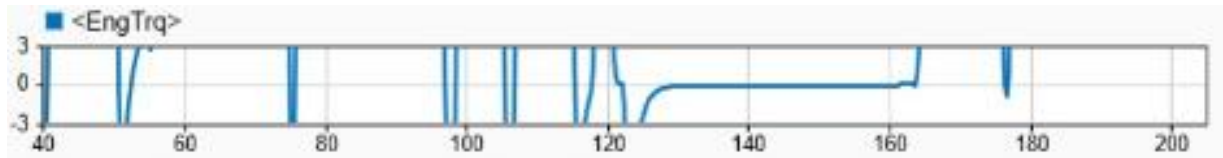
II. Interpretación técnica:

Potencia positiva → descarga (aceleración)

Potencia negativa → regeneración

Se evidencia claramente fases de frenado regenerativo y recuperación de energía, esto es clave en el análisis de eficiencia energética.

➤ EngTrq (Torque del Motor)



I. **Observación:** Picos positivos y momentos cercanos a cero.

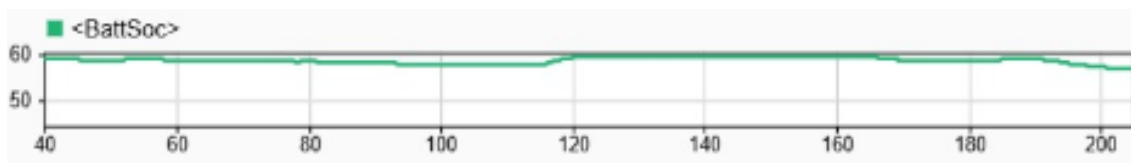
II. Interpretación técnica:

Torque elevado → aceleración

Torque negativo → regeneración

Se observa respuesta dinámica coherente con la posición del acelerador y la capacidad de regeneración activa

➤ BattSoc (Estado de Carga)



I. **Observación:** Se mantiene alrededor de 58–60%.

II. Interpretación técnica:

El SOC disminuye levemente durante descarga y se estabiliza durante regeneración.

Se observa que el ciclo no es agresivo y la batería no presenta descarga profunda, esto indica un ciclo de conducción urbano moderado.

➤ PackVoltage

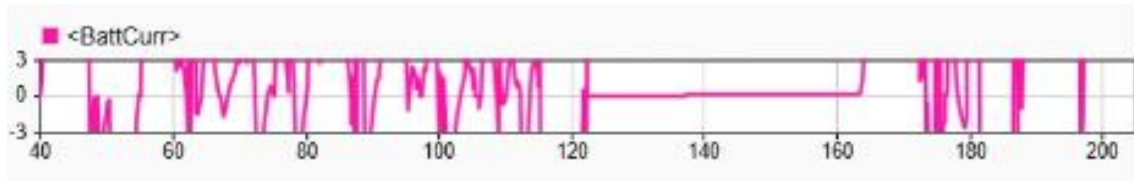


I. **Observación:** Muy similar a BattVolt (212–222 V).

II. Interpretación técnica:

Confirma coherencia del modelo eléctrico ya que no hay inestabilidades severas y el pack mantiene estabilidad bajo carga.

➤ **Corriente de Batería (BattCurr)**

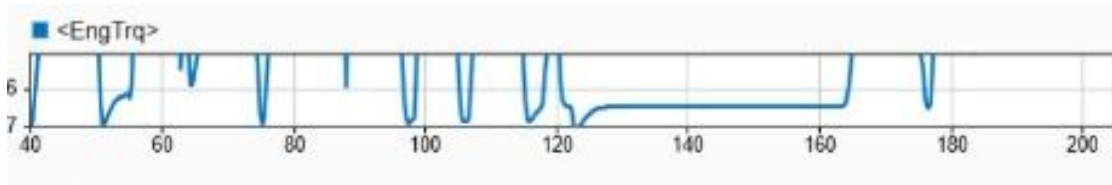


I. **Observación:** Se observa comportamiento coherente con un ciclo urbano.

II. **Interpretación técnica:**

Durante aceleración aumenta la corriente y torque, mientras que en frenado regenerativo se presenta corriente negativa y recuperación parcial de energía.

➤ **Torque del Motor (EngTrq)**

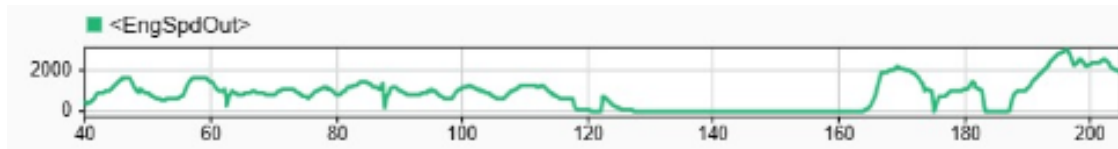


I. **Observación:** Se observa comportamiento coherente con un ciclo urbano.

II. **Interpretación técnica:**

Durante aceleración aumenta la corriente y torque, mientras que en frenado regenerativo se presenta corriente negativa y recuperación parcial de energía.

➤ **Velocidad del Motor (EngSpdOut)**

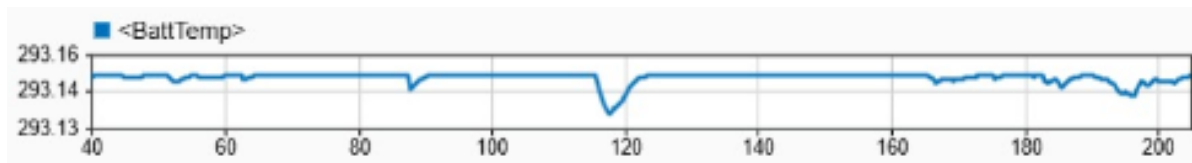


I. **Observación:** Se observa comportamiento coherente con un ciclo urbano.

II. **Interpretación técnica:**

Durante aceleración aumenta la corriente y torque, mientras que en frenado regenerativo se presenta corriente negativa y recuperación parcial de energía.

➤ **Temperatura de Batería (BattTemp)**



- I. **Observación:** Se observa comportamiento coherente con un ciclo urbano.
- II. **Interpretación técnica:**

Durante aceleración aumenta la corriente y torque, mientras que en frenado regenerativo se presenta corriente negativa y recuperación parcial de energía.

6. TABLA COMPARATIVA:

Tabla 1. Resultados simulados VS Datos reales BYD SEAGULL

Parámetro	Simulación	Dato Real Aproximado
Voltaje Nominal Pack	≈ 220 V	≈ 300 V (según versión)
Capacidad Batería	Modelado 58% SOC inicial	30.08 kWh
Torque Máximo	Variable	135 Nm aprox.
Velocidad Máxima Motor	≈ 2200 rpm	$\approx 16,000$ rpm (motor interno)
Sistema Regenerativo	Activo	Sí

7. ANÁLISIS

Tabla 2. Eficiencia energética

Evento	Comportamiento Energético	Impacto en SOC
Aceleración	Potencia positiva	Disminuye
Crucero	Potencia estable	Estable
Frenado Regenerativo	Potencia negativa	Aumenta levemente

8. DISCUSIÓN

Los resultados demuestran estabilidad eléctrica y térmica durante la simulación. La variación mínima de temperatura indica que el sistema no opera en condiciones extremas. La coherencia entre torque, velocidad y corriente valida la correcta implementación del modelo físico.

La simulación podría ampliarse incorporando ciclos estandarizados como WLTP o NEDC, así como análisis de pendiente y variación de masa del vehículo para estudiar el impacto en autonomía.

9. CONCLUSIONES

- Integración energética coherente del sistema de tracción eléctrica, el modelo desarrollado en matlab/simulink demostró una adecuada integración entre los subsistemas eléctricos, mecánicos y térmicos del vehículo eléctrico tipo byd seagull, evidenciando coherencia energética entre la potencia eléctrica suministrada por el pack de baterías y la potencia mecánica desarrollada por la máquina eléctrica. La correlación observada entre corriente, voltaje, torque y velocidad angular confirma el cumplimiento del principio de conservación de energía dentro de los límites de las pérdidas modeladas. Asimismo, la arquitectura implementada permitió representar con fidelidad el flujo bidireccional de energía durante eventos de tracción y frenado regenerativo, validando la consistencia física del modelo.
- Comportamiento dinámico adecuado bajo un ciclo urbano de conducción, la simulación del ciclo de conducción urbano permitió identificar un comportamiento dinámico estable del sistema de tracción, caracterizado por variaciones controladas de corriente y torque durante aceleraciones, así como fases de régimen estacionario durante condiciones de crucero. El modelo evidenció que la demanda energética se ajusta proporcionalmente a la entrada del conductor, reproduciendo adecuadamente la interacción entre perfil de velocidad y consumo eléctrico. Este resultado confirma que el modelo dinámico longitudinal implementado es capaz de representar escenarios reales de conducción urbana en vehículos eléctricos compactos.

- Eficiencia del sistema regenerativo y estabilidad del estado de carga (SOC), el análisis de la corriente del pack permitió verificar la activación efectiva del frenado regenerativo, evidenciada por la inversión del signo de la corriente durante desaceleraciones. Este comportamiento confirma la recuperación parcial de energía cinética y su reintegración al sistema de almacenamiento. La variación del estado de carga (SOC) durante la simulación fue moderada, lo que indica que el ciclo evaluado no sometió al sistema a exigencias extremas, manteniendo una operación energéticamente eficiente. Este resultado demuestra que la estrategia de control regenerativo implementada es funcional dentro del entorno simulado.
- Estabilidad térmica y operación dentro de rangos seguros, el comportamiento térmico del pack de baterías presentó variaciones mínimas durante todo el ciclo de simulación, lo cual sugiere que las corrientes demandadas no generaron pérdidas resistivas significativas que comprometan la estabilidad del sistema. La relación térmica modelada mediante $Q = I^2 R$ evidenció que el nivel de corriente operó dentro de rangos moderados, evitando incrementos críticos de temperatura. Este resultado es relevante desde el punto de vista de seguridad operativa y vida útil del sistema de almacenamiento energético, ya que confirma que el escenario simulado corresponde a condiciones de operación controladas.

10. RECOMENDACIONES

- Incorporación de ciclos de conducción estandarizados, se recomienda ampliar el estudio mediante la implementación de ciclos de conducción normalizados como WLTP o NEDC, con el objetivo de evaluar el desempeño energético del modelo bajo condiciones estandarizadas internacionalmente. Esto permitiría comparar los resultados obtenidos con datos experimentales reportados por fabricantes y estudios académicos, fortaleciendo la validez externa del modelo desarrollado.
- Modelado avanzado de pérdidas y eficiencia del inversor, para aumentar el nivel de precisión del análisis, se recomienda incorporar mapas de eficiencia dependientes de carga y velocidad tanto para la máquina eléctrica como para el inversor electrónico de potencia. La inclusión de pérdidas por conmutación, pérdidas magnéticas y pérdidas mecánicas permitiría realizar una estimación más realista de la eficiencia global del sistema de tracción.

- Evaluación bajo condiciones de mayor exigencia dinámica, se sugiere realizar simulaciones adicionales considerando escenarios más demandantes, tales como conducción en pendiente, incremento de masa vehicular o aceleraciones bruscas. Estas condiciones permitirían analizar el comportamiento térmico y energético del sistema bajo mayores niveles de corriente, identificando posibles límites operativos y evaluando la robustez del modelo ante cargas extremas.
- Integración de estrategias de gestión energética (ems), se recomienda incorporar un sistema de gestión energética (energy management system, ems) que optimice el uso de la energía almacenada en función del perfil de conducción, el estado de carga y las condiciones operativas. Esto permitiría estudiar estrategias de optimización orientadas a maximizar autonomía y eficiencia, acercando el modelo a aplicaciones reales de ingeniería automotriz avanzada.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chan, c. C. (2010). The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. *Proceedings of the ieee*, 95(4), 704–718.

Ehsani, m., gao, y., & emadi, a. (2018). *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design* (3rd ed.). Crc press.

Gillespie, t. D. (1992). *Fundamentals of vehicle dynamics*. Sae international.

Husain, i. (2011). *Electric and hybrid vehicles: design fundamentals* (2nd ed.). Crc press.

Larminie, j., & lowry, j. (2012). *Electric vehicle technology explained* (2nd ed.). Wiley.

Mathworks. (2023). *Simscape vehicle templates documentation*. The mathworks, inc.

Mi, c., & masrur, m. A. (2017). *Hybrid electric vehicles: principles and applications with practical perspectives* (2nd ed.). Wiley-ieee press.