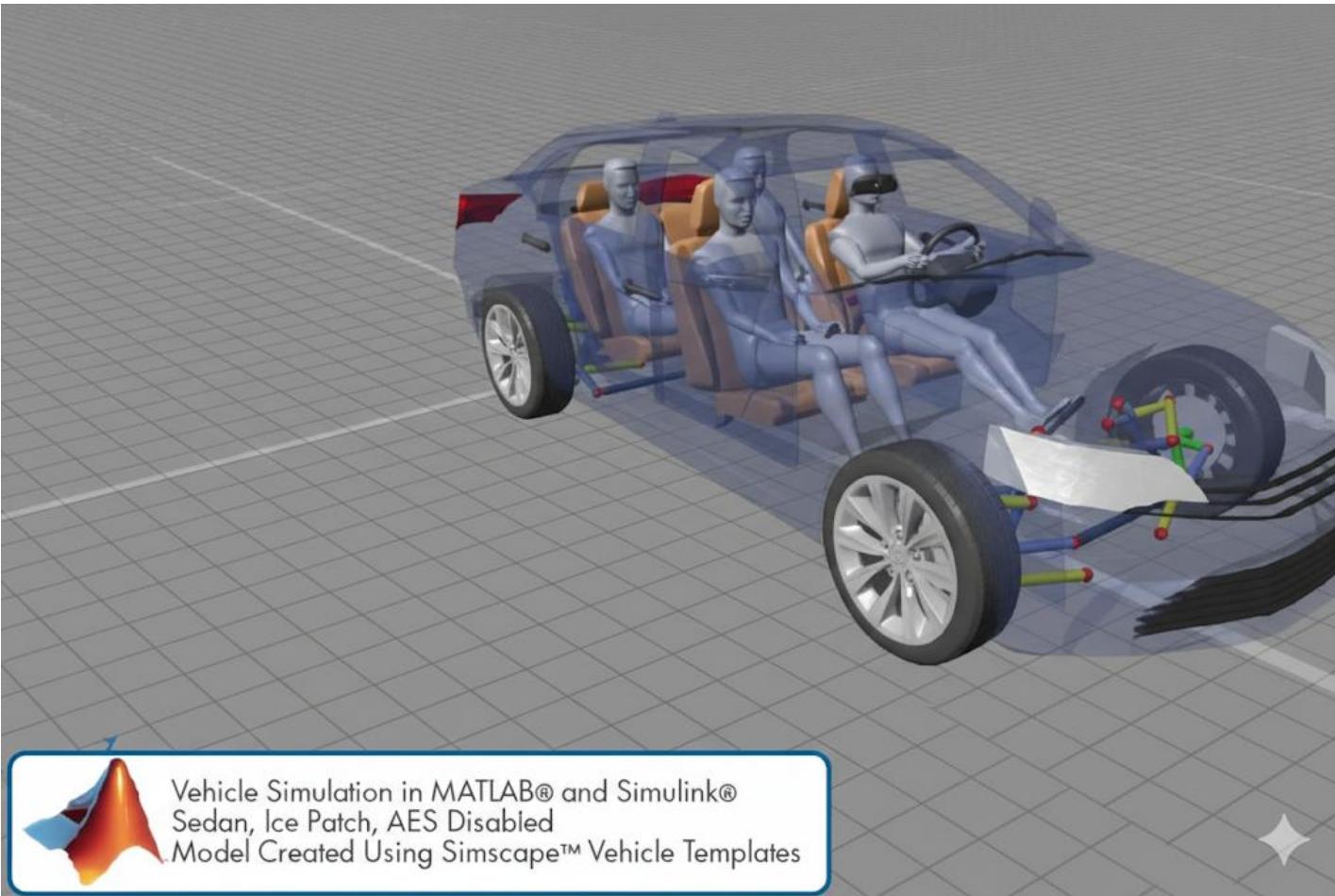


# Simulación y Análisis de un Vehículo Híbrido mediante MATLAB/Simulink



**Nombres:** Jean Gualichico y Brandon Cerón

**Materia:** VEHÍCULOS  
ELÉCTRICOS E  
HÍBRIDOS

**Profesor:** Ingeniero  
Carlos Carranco

**Grupo:** 1

# Introducción

---

El proyecto analiza a los vehículos híbridos como una alternativa eficiente para reducir el consumo de combustible y las emisiones contaminantes. Mediante el modelado y la simulación, se estudia la interacción entre el motor térmico, los motores eléctricos y el sistema de almacenamiento de energía. Se centra en el análisis del funcionamiento del Toyota Prius utilizando MATLAB/Simulink y Simscape, con énfasis en el comportamiento del motor eléctrico y la gestión energética del sistema.

# Metodología

---

El vehículo seleccionado para el estudio es un Toyota Prius, el cual emplea una arquitectura híbrida tipo Power-Split (IPS)



# Características del vehículo

Tipo de vehículo:  
Híbrido eléctrico

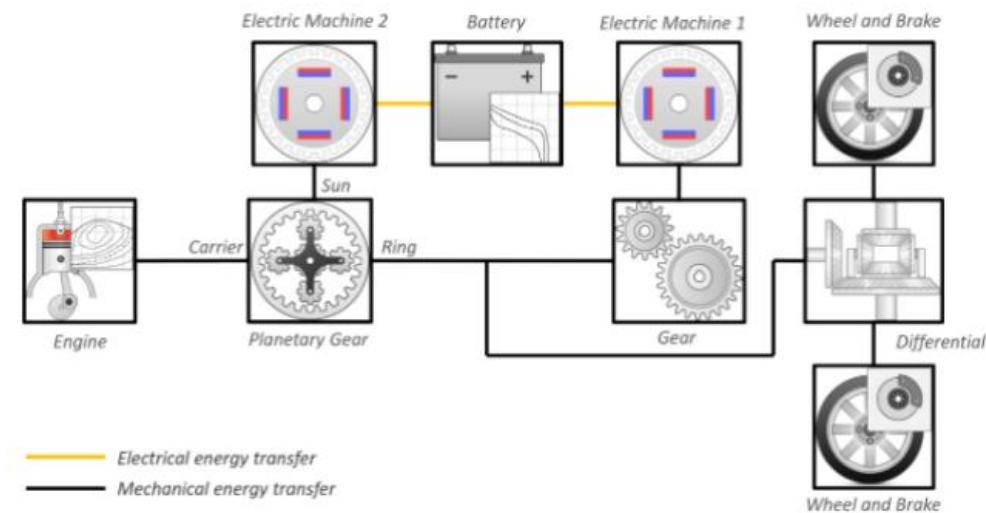
Arquitectura:  
Power-Split (IPS)

Tracción:  
Delantera

Uso principal:  
Conducción  
urbana y mixta

# Componentes principales

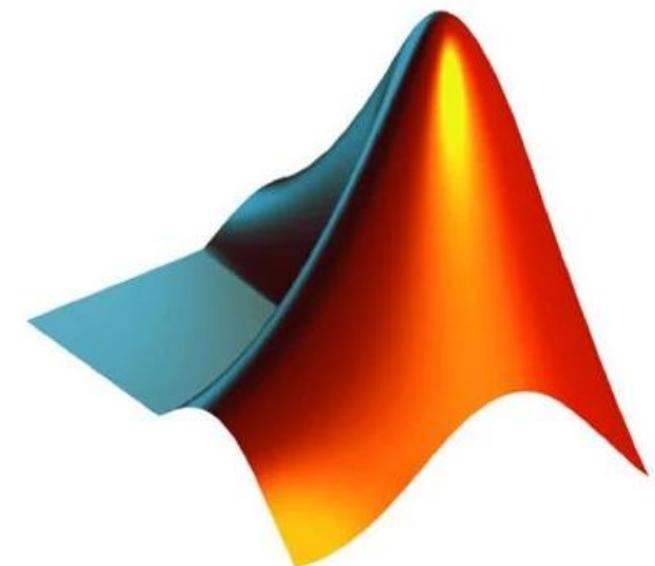
- Motor de combustión interna
- Motor eléctrico de tracción (MG2)
- Motor-generador (MG1)
- Batería de alto voltaje
- Dispositivo de división de potencia (e-CVT)



# Herramientas utilizadas

---

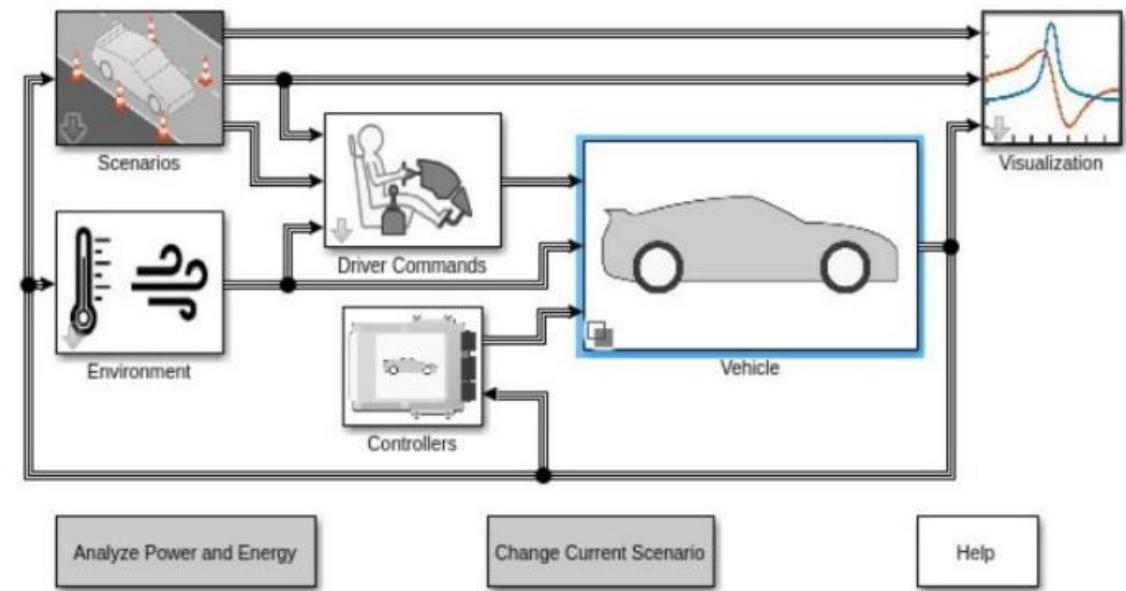
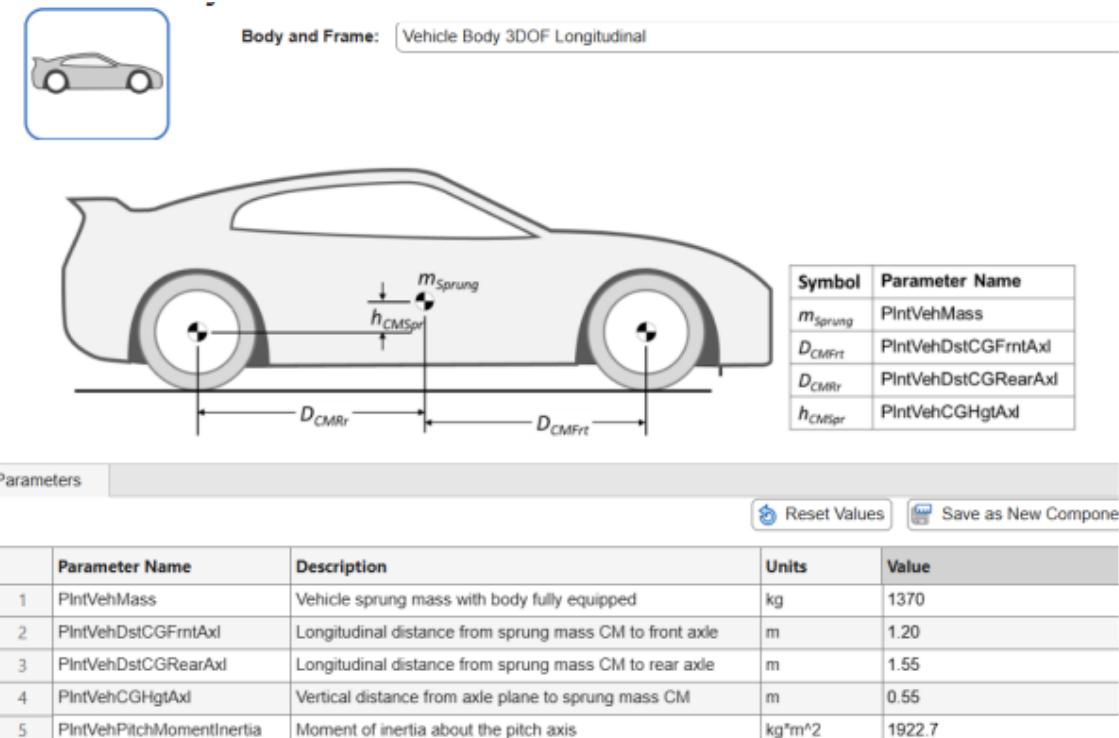
- MATLAB
- Simulink
- Simscape Battery (integrado en el modelo del sistema de potencia)



MATLAB®

# Modelo del vehículo en Matlab

El modelo del vehículo fue desarrollado utilizando Virtual Vehicle Composer, seleccionando la arquitectura Hybrid Electric Vehicle IPS, la cual representa de forma adecuada el funcionamiento del Toyota Prius.



# Modelado del Motor Eléctrico (Simscape)

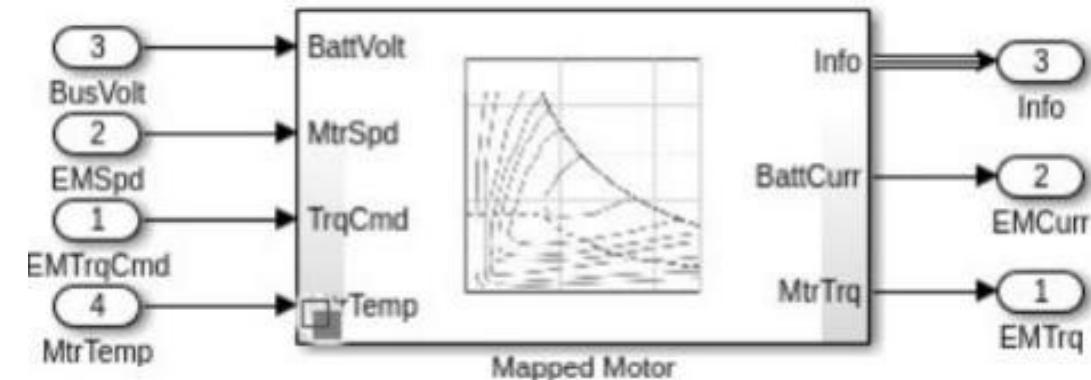
El motor eléctrico de tracción (MG2) fue modelado mediante un bloque de tipo Mapped Motor, el cual representa el comportamiento del motor eléctrico a partir de mapas de torque, velocidad y eficiencia. Este enfoque es adecuado para el análisis del funcionamiento del sistema híbrido a nivel vehicular.

Velocidad del motor

Torque electromagnético

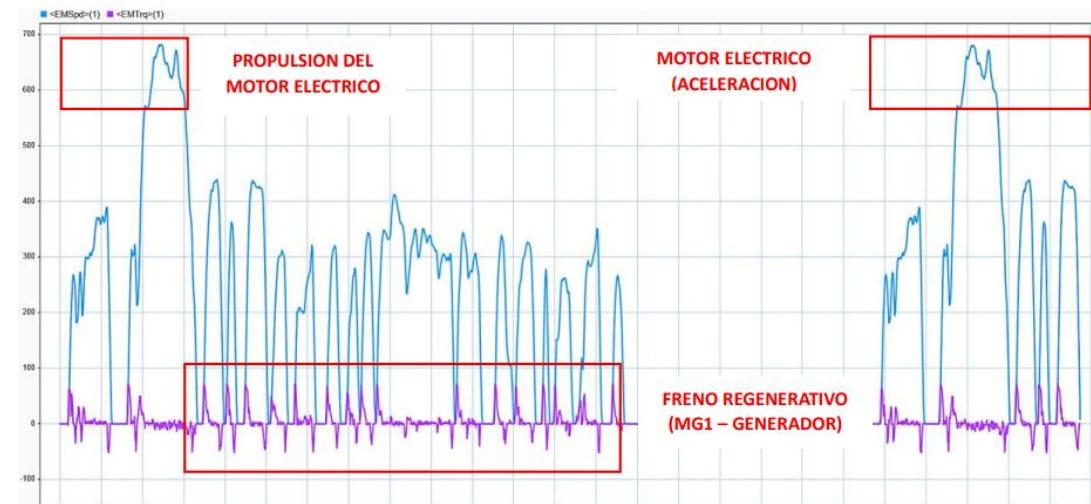
Potencia eléctrica

Corriente de batería asociada



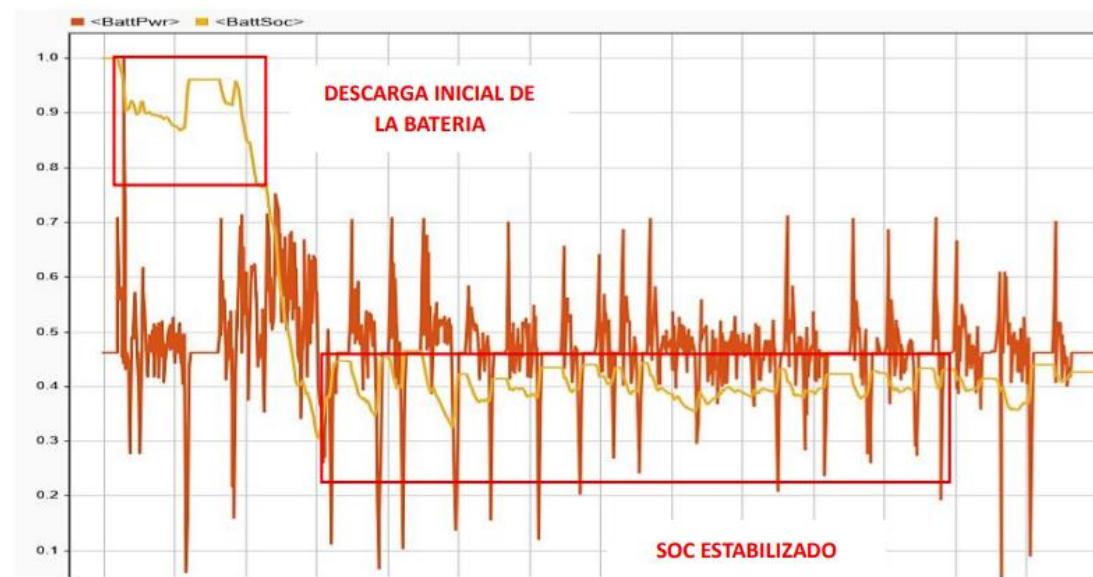
# EMSpd vs EMTrq

El análisis muestra que el motor eléctrico ajusta su aporte de torque según el rango de RPM. A bajas velocidades (0–300) entrega par positivo para una respuesta rápida y reducir el uso del motor térmico. Entre 300 y 900 aparecen picos positivos y negativos de torque, evidenciando fases de frenado regenerativo. En el rango medio (900–1400) el par es menor y más estable, cumpliendo una función de apoyo y regulación. Finalmente, a altas RPM (2000–2500) el motor eléctrico vuelve a aportar torque de forma significativa para asistir en aceleraciones más exigentes y mejorar el desempeño dinámico del vehículo.



# BattPwr vs BattSoc

Evidencia la relación entre la potencia de la batería y su estado de carga como indicadores clave de la gestión energética del vehículo híbrido. En el rango 0–300, la batería presenta un alto estado de carga y entrega potencia positiva para apoyar el arranque y las primeras aceleraciones, provocando una disminución gradual del BattSoc. Entre 300 y 900, la potencia alterna entre valores positivos y negativos debido a la asistencia eléctrica y al frenado regenerativo, lo que permite que el estado de carga descienda hasta alrededor de 0.4 y luego se estabilice, reflejando un equilibrio entre carga y descarga.



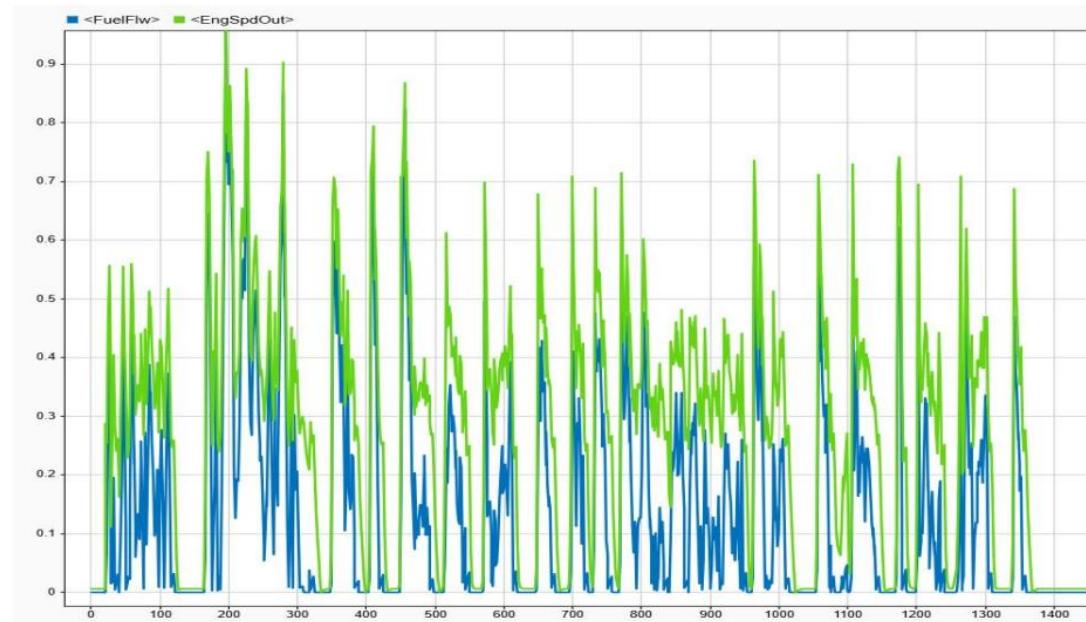
# EngTrq vs. EMTrq

La señal de par del motor de combustión presenta pulsos repetitivos asociados a aceleraciones parciales. El motor eléctrico actúa de forma complementaria, aportando par positivo para asistir al motor térmico durante aumentos de demanda y par negativo durante desaceleraciones, lo que evidencia procesos de frenado regenerativo. Esta coordinación refleja una estrategia de reparto de torque que suaviza las variaciones del par, mejora la respuesta transitoria del sistema y favorece la recuperación de energía, manteniendo al motor de combustión en condiciones de operación más eficientes.



# EngSpdOut vs FuelFlw

La señal de velocidad del motor presenta un comportamiento altamente dinámico, con picos elevados y caídas frecuentes, lo que refleja un ciclo de conducción con aceleraciones rápidas y períodos de ralentí típicos de entornos urbanos o pruebas transitorias. El flujo de combustible mantiene una correlación directa con la velocidad del motor, mostrando picos durante las fases de aceleración, cuando se requiere mayor aporte energético para vencer la inercia y alcanzar las velocidades de operación.



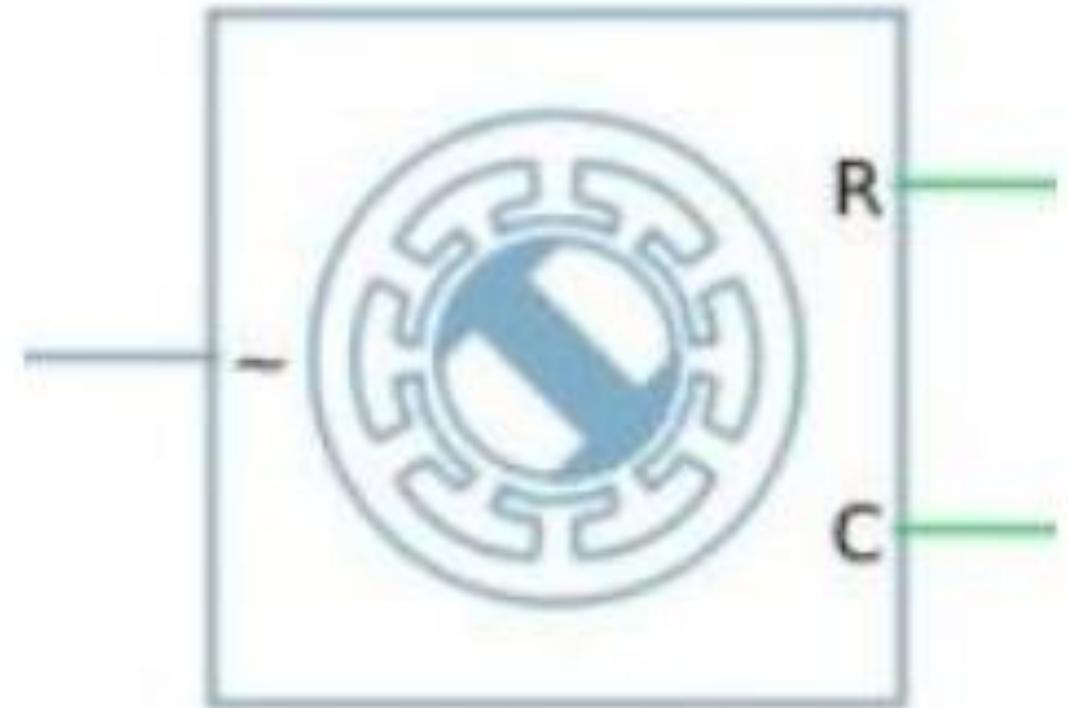
# Variables Registradas (Logging)

<b>Variables del vehículo</b>	Velocidad del vehículo Aceleración longitudinal
<b>Variables del motor eléctrico</b>	Velocidad del motor eléctrico (EM2Spd) Torque del motor eléctrico (EM2Trq) Potencia eléctrica del motor (EM2PwrElec)
<b>Variables de la batería</b>	Estado de carga (SOC) Corriente de batería Potencia de batería

## Selección del tipo de motor eléctrico (Simulink)

---

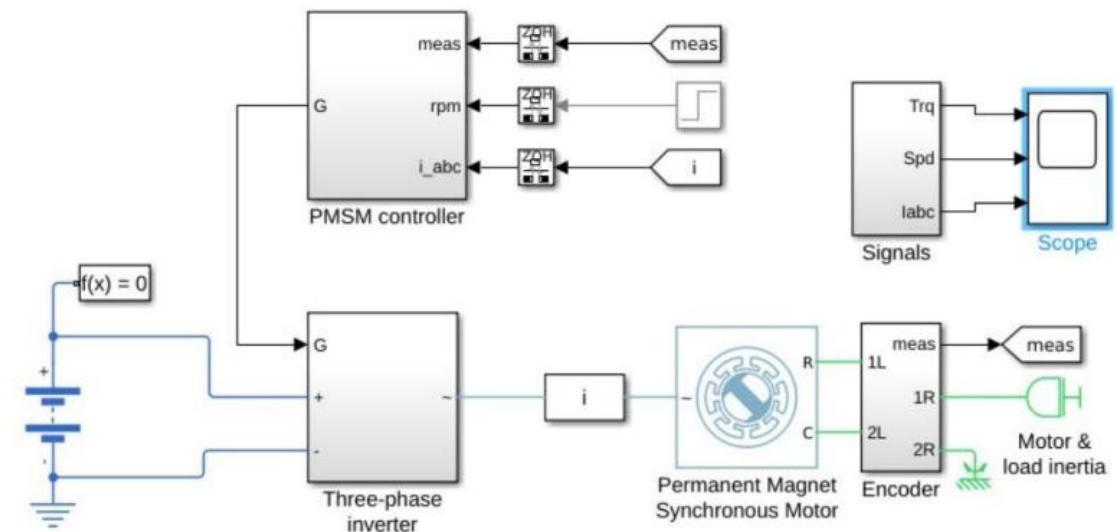
Un motor síncrono de imanes permanentes (PMSM), debido a que este tipo de máquina eléctrica es la utilizada en el sistema híbrido del Toyota Prius, específicamente en el motor de tracción principal (MG2)



Permanent Magnet  
Synchronous Motor

# Implementación del motor PMSM en MATLAB/Simulink

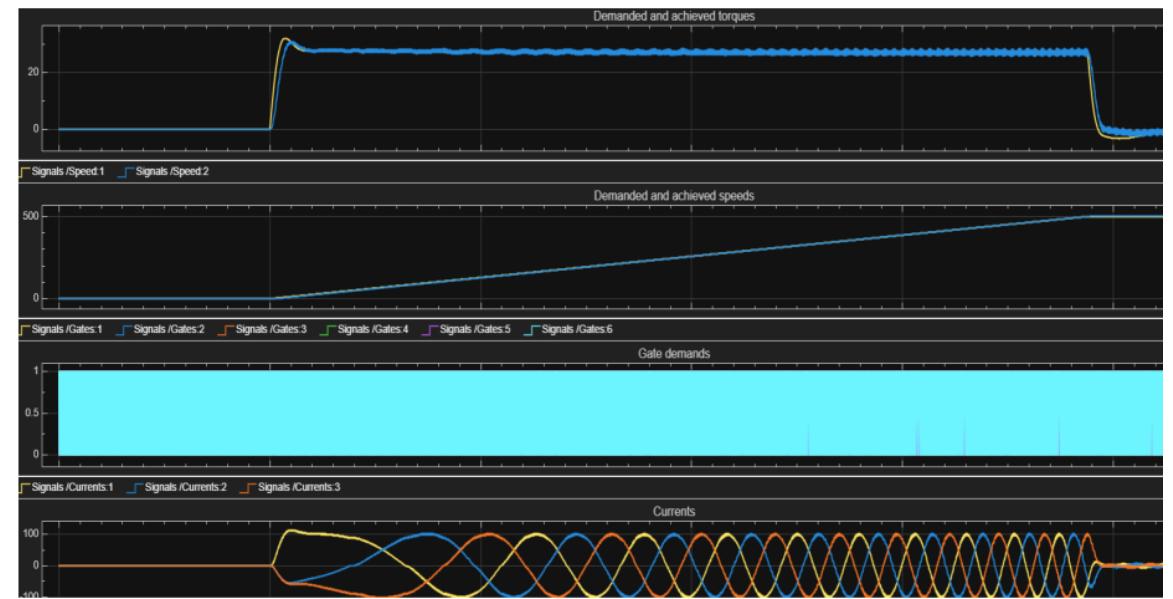
- Fuente de energía en corriente continua (DC Source / Battery)
- Inversor trifásico (Three-Phase Inverter)
- Controlador PMSM (PMSM Controller)
- Sensor de posición y velocidad (Encoder)
- Carga mecánica (Load / Inertia)



# Variables analizadas del motor eléctrico

---

- Par electromagnético (Nm)
- Velocidad de rotación (rpm)
- Corrientes trifásicas del estator (A)
- Potencia eléctrica y mecánica



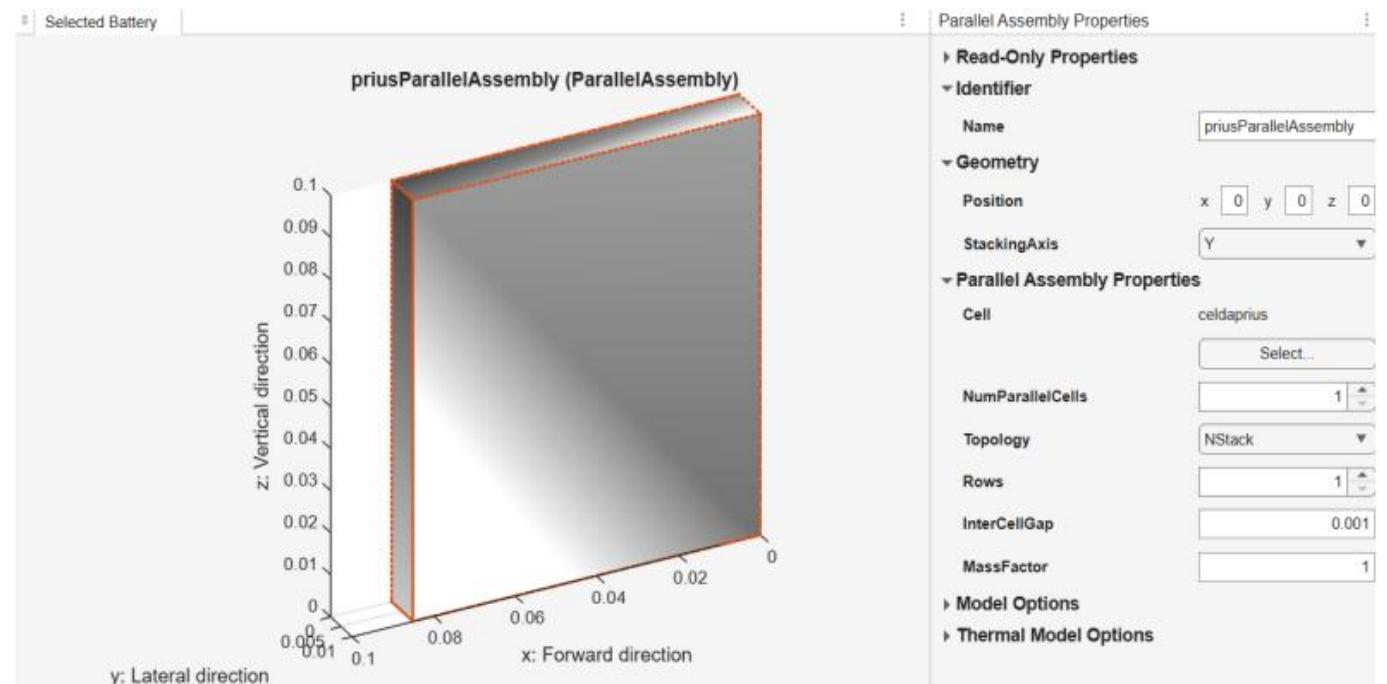
# Simscape Battery (Battery Equivalent Circuit)

La batería de alta tensión del Toyota Prius entrega aproximadamente 220 V en las versiones más modernas, aunque este valor puede variar según el fabricante y la generación del vehículo. En el caso del Prius, el voltaje se obtiene a partir de 28 baterías pequeñas de 7,89 V, conectadas en pares para formar 14 módulos de 15,78 V, los cuales se conectan en serie para alcanzar el voltaje total del sistema.

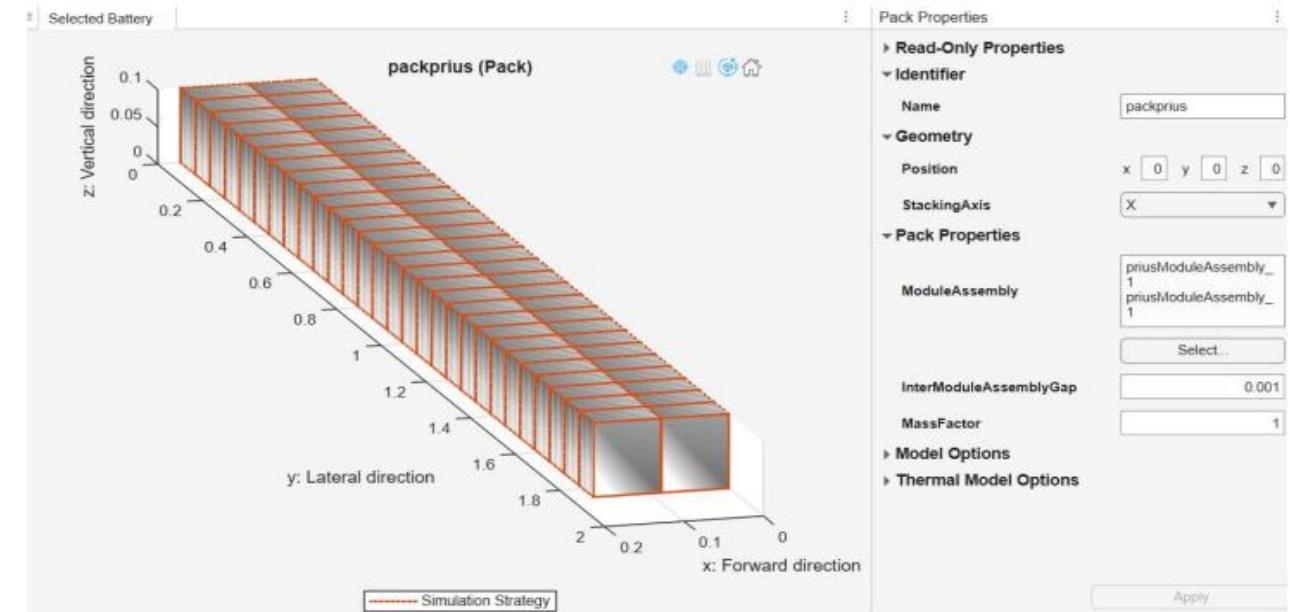
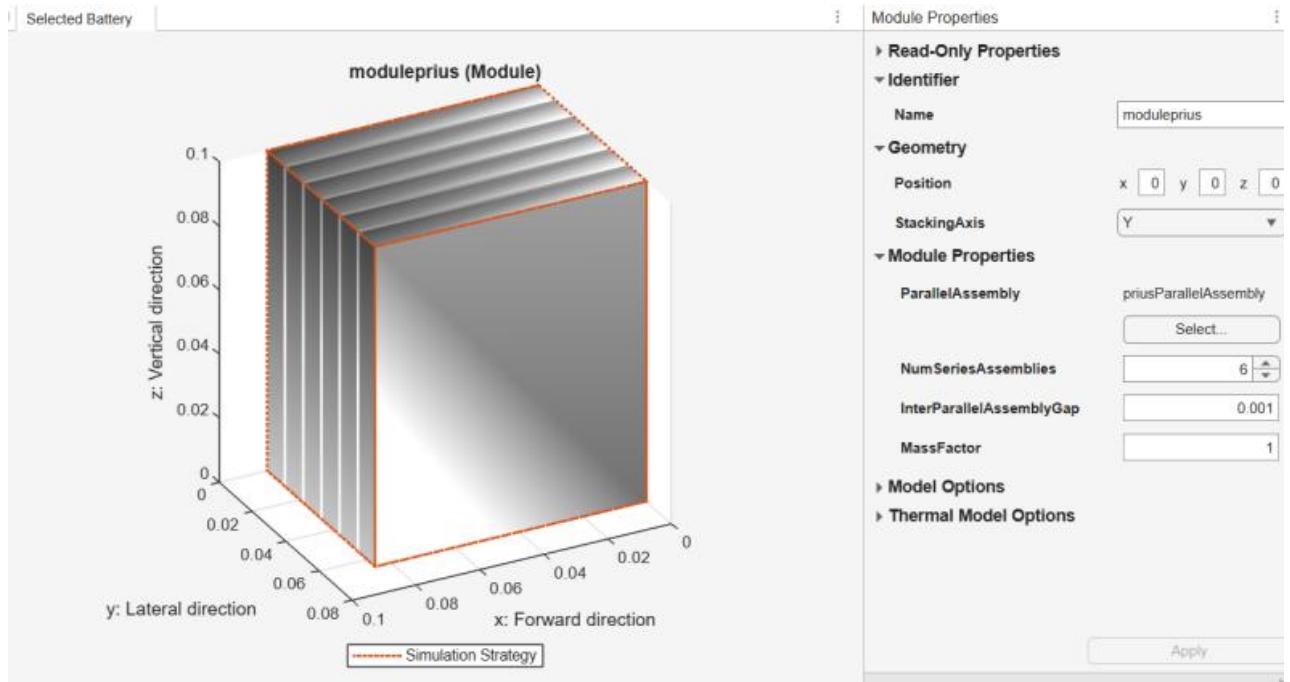
- 6 celdas por módulo
- 28 módulos
- 168 celdas en total
- Voltaje nominal  $\approx 201.6$  V

# Celda

En BatteryBuilder, se procede a generar la celda con las especificaciones de la ficha técnica del Toyota Prius, los datos que pide dentro del Matlab y que no se encuentran en la ficha técnica fue consultado en fuentes del fabricante para proporcionar datos exactos.

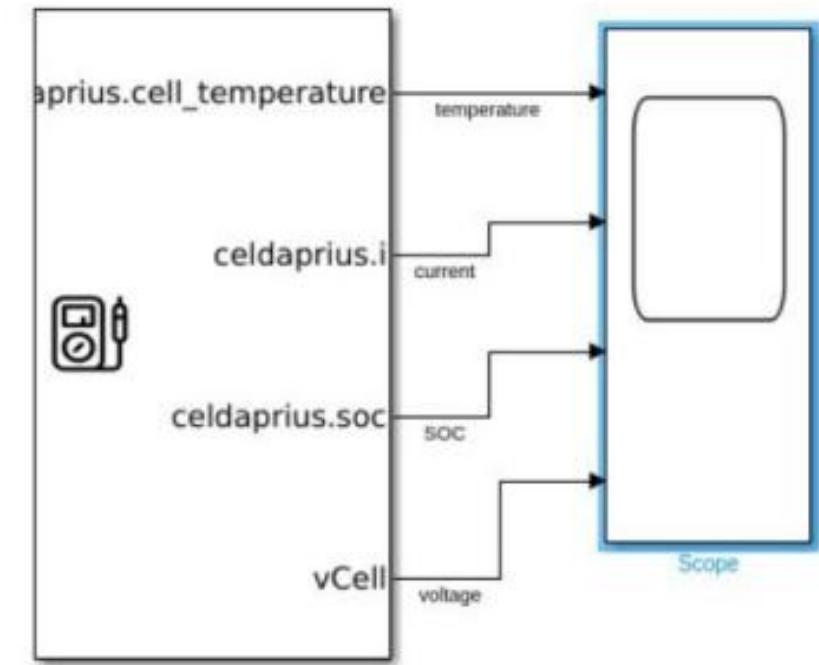
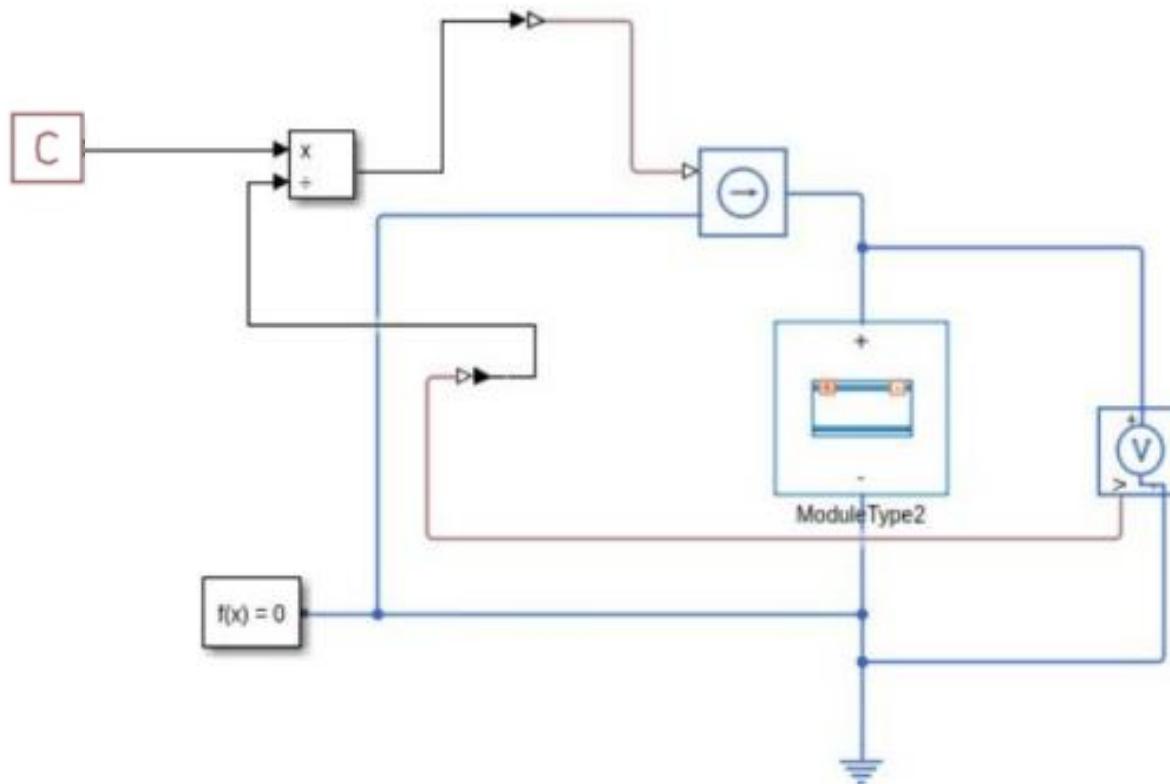


# Battery Equivalent Circuit

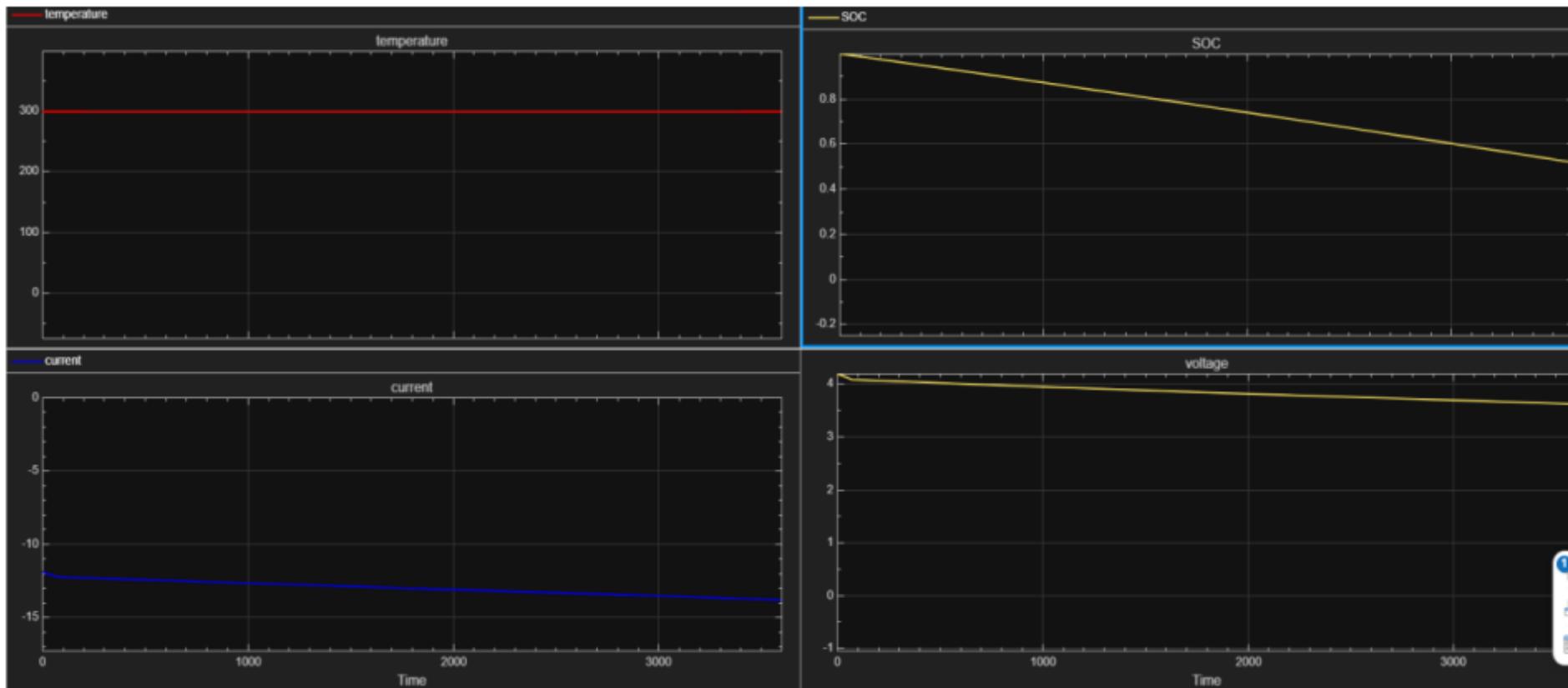


# Batería en Simulink

Dentro del simulink se realiza una estructura general para obtener las gráficas de la batería



# Graficas de la batería en Simulink



# Resultado

Los resultados muestran que el sistema híbrido funciona de manera coordinada y eficiente entre el motor térmico y el eléctrico. El motor eléctrico asiste en las aceleraciones con torque positivo y recupera energía mediante frenado regenerativo con torque negativo. La batería mantiene un estado de carga estable, con descargas y recargas controladas que protegen su vida útil y conservan una tensión adecuada. Además, el modo eléctrico reduce el consumo de combustible, mientras que el modo híbrido optimiza el uso conjunto de ambos motores según la demanda, logrando un equilibrio entre eficiencia energética, recuperación de energía y estabilidad operativa.

# Conclusiones

Los hallazgos validan la arquitectura Power-Split, donde el PMSM (MG2) proporciona torque rápido a bajas RPM, optimizando eficiencia en conducción urbana, como se ve en la asistencia durante picos de EngTrq. El frenado regenerativo y balance SOC destacan la gestión energética, amortiguando fluctuaciones del motor térmico y priorizando zonas eficientes (~1800-2200 rpm).

Limitaciones incluyen simplificaciones en Mapped Motor y Battery Equivalent Circuit, que aproximan, pero no capturan pérdidas térmicas reales o envejecimiento de celdas NiMH (168 celdas, 201.6 V nominal). Comparado con vehículos híbridos reales, los resultados alinean con datos del Prius, mostrando ~20-30% menor consumo vía eléctrico.

# Conclusiones

La simulación facilita comprensión de torque split y e-CVT, útil para diseño de HEV futuros y nos ayuda a confirmar que el sistema híbrido del Prius integra efectivamente motor térmico, PMSM y batería NiMH, logrando modos EV puro, asistencia y regeneración para eficiencia energética.

El modelo en Simulink/Simscape es robusto para análisis dinámico, evidenciando estabilidad SOC y voltaje bajo demandas variables.

# Gracias