

Formula E, una carrera por la innovación

Alejandra Icxih de la Guerra Carrasco,
Axel Alejandro Coronado Andrade
Luis Álvarez-Icaza Longoria

Artículo

Formula E, una carrera por la innovación



Cómo citar este artículo: De la Guerra-Carrasco AI, Coronado-Andrade AA, Alvarez-Icaza Longoria LA. 2023. Formula E, una carrera por la innovación. Revista Ciencia y Naturaleza 01 (1034): 00-00.





L

a Formula E es una carrera entre autos eléctricos monoplace que se realiza en las calles de varias ciudades del mundo. Esta carrera, que cuenta con 11 equipos o escuderías, está en su novena temporada este 2023. Como se menciona en la página oficial de la Formula E, la idea de esta competencia se originó en 2011 como un sueño de su fundador Alejandro Agag y Jean Todt el presidente, en ese entonces, de la Federación Internacional de Automovilismo (FIA por sus siglas en inglés). Alejandro Agag es un político español que encontró en la combinación de los deportes y el ecologismo una nueva carrera. En una entrevista mencionó que su principal motivación para adentrarse en el mundo de los vehículos eléctricos fueron sus hijos. Ser padre le hizo preguntarse qué sería del planeta y qué podría hacer él para ayudar a afrontar los problemas ambientales.



La Formula E tuvo muchas dificultades para arrancar porque se estaba proponiendo algo muy diferente a lo que se hacía en el mundo de las carreras. A pesar de que en algún momento se tuvieron grandes problemas financieros, el proyecto hoy es exitoso e incluso se ha expandido con más escuderías y patrocinadores.



Un recorrido electrizante

La historia de la Formula E se divide en tres etapas llamadas generaciones que abarcan 9 temporadas y que se describen a continuación. Generación 1 (2014-2017). En la figura 1 se muestra un vehículo con tracción trasera. En esta figura también se muestran los elementos básicos de un vehículo eléctrico: motor eléctrico, inversor, batería, transmisión y llantas.

La Formula E arrancó su primera temporada en 2014 con la primera generación, donde todas las escuderías usaban el mismo auto, el Spark-Renault SRT 01. Este vehículo también tenía tracción trasera con el motor eléctrico montado longitudinalmente. Un inversor iba colocado sobre la batería en la parte trasera del vehículo. El inversor es un dispositivo eléctrico que se encarga de transmitir la señal de control al motor eléctrico. Varios equipos de enfriamiento se distribuyen entre estos elementos para evitar sobrecalentamientos. Desde el inicio, las reglas han determinado que se debe utilizar una transmisión para conectar el movimiento del motor a las llantas. Con la intención de que las llantas duren toda la carrera, el fabricante Michellin, las diseñó empleando un solo material.





La batería fue construida por el fabricante Williams Advanced Engineering de ion-litio con un peso de 250 kilogramos aproximadamente. El diseño limita la potencia de la batería a 200 kW (268 hp) durante la calificación y a 180 kW (240 hp) durante la carrera. Los hp son una medida propuesta por James Watt para comparar la potencia de una máquina de vapor con la potencia de los caballos de tiro. En la actualidad se ha extendido este concepto para comparar motor de combustión, turbinas, motores eléctricos, etc. La limitación de la batería implica que se limita la velocidad máxima del vehículo. En cuanto a la aceleración, los autos de esta generación podían ir de 0 a 100 kilómetros por hora en 3 segundos. Lo más curioso en esta generación, es que la batería no duraba lo suficiente para el recorrido completo. Además, cambiar la batería en plena carrera era algo complicado y riesgoso, por lo que se usaban dos autos para completar las carreras. Algo que distingue a la Formula E es que, al usar el mismo auto, o un auto similar, las carreras son más competidas que en la Formula 1 donde suelen ganar sólo dos o tres escuderías.

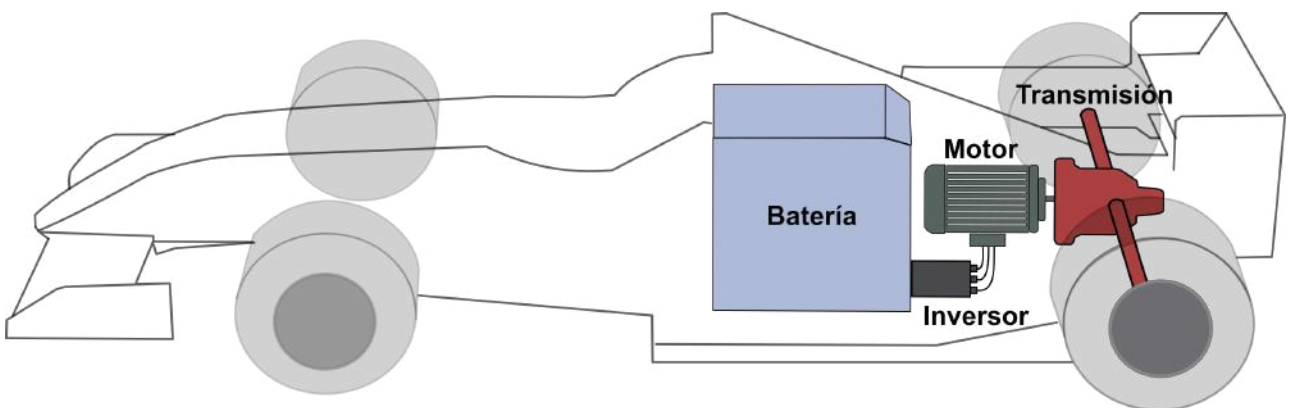
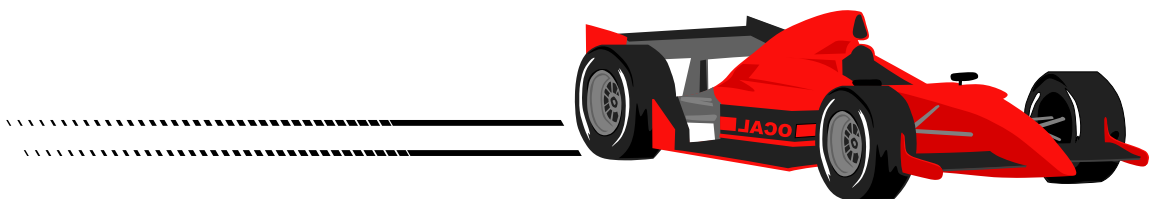


Figura 1. En la figura se muestra la ubicación y tamaño aproximados de la batería, el motor, el inversor y la transmisión.



Generación 2 (2018-2021). La segunda generación trajo muchos cambios: un vehículo más ligero, más pequeño y una mejor batería. Esto último, aumentó la potencia del vehículo a 250 kW y eliminó la necesidad de detenerse en los pits, lo que marcó una diferencia con respecto a la Formula 1. Pero lo más importante fue, que cada escudería pudo usar su propio motor, inversor, transmisión y sistema de enfriamiento. Lo anterior, derivó en diseños distintos que ayudaron a darle personalidad a cada competidor. También, a partir de esta generación, las escuderías comenzaron a usar transmisiones más pequeñas y ligeras con menos engranes. En estas dos generaciones se usaban dos tipos de frenos: hidráulico y el modo regenerativo.

Otra innovación de la generación 2 fue el Attack mode, o modo de ataque, donde el vehículo obtiene un aumento momentáneo de potencia al pasar sobre las zonas indicadas de la pista donde hay sensores enterrados que registran la presencia de un vehículo, y a través de un control central, se activa un aumento de potencia para ese vehículo. Este modo representó un reto para los pilotos, dado que las zonas de activación suelen desviar al vehículo del recorrido más conveniente a cambio de obtener la potencia necesaria para poder rebasar a otros competidores. En esta generación también se introdujo el Fan boost, donde los aficionados votan por 5 pilotos que obtienen una inyección de potencia durante 5 segundos en la segunda parte de la carrera. Asimismo a partir de esta generación, se generalizó el uso de halos, que son barras curvas de titanio que rodean la cabina del piloto diseñadas para protegerlo en el caso de una colisión o accidente. En los halos de cada competidor se instalaron leds que cambian de color para indicarle al público que el auto se encuentra usando el Fan boost si la luz es magenta o el modo de ataque si la luz es azul.



Generación 3 (2022-presente). En esta generación, la directiva de la Formula E planteó un rediseño del auto para disminuir peso e incluir un motor más poderoso. En total, el nuevo diseño restó 60 kilogramos al peso total del auto al eliminar el freno hidráulico y disminuir el tamaño de la batería. Además, la generación 3 es toda una revolución al incluir una transmisión delantera. Lo que quiere decir que en esta generación la potencia aumentará a 350 kW generados en la tracción trasera, mientras los 250 kW de la tracción delantera se destinarán a la carga de la batería y no podrán ser utilizados para tracción. Esto implica que aproximadamente el 40% de la energía usada en la carrera se obtendrá en el momento del frenado, contra un 25% que podían obtener los vehículos de la generación 2. Así los vehículos podrían alcanzar velocidades de aproximadamente 320 kilómetros por hora siempre que la pista se los permita.

Lo que distingue a la Formula E es que, al usar el mismo auto, o un auto similar, las carreras son más competidas que en la Formula 1 donde suelen ganar dos o tres escuderías.

¿Qué es el control?

El control es un algoritmo, también llamado controlador, que nos ayuda a obtener un comportamiento deseado en alguna señal o variable de interés. Los controladores funcionan manipulando el comportamiento de un sistema a partir del cambio de una señal de error. El error es la comparación entre la señal de interés deseada y la señal de interés medida. Se dice que el control usa retroalimentación cuando la señal del error se usa para modificar la señal del controlador. También existen controladores que no usan la señal de error y que basan sus algoritmos en el uso de temporizadores como en una lavadora.

La medición de las señales se hace usando sensores, el control se programa en computadoras o en microcontroladores y se implementa usando actuadores. Los actuadores son elementos que comunican la señal del controlador al sistema a controlar. Por ejemplo, si el objetivo es llenar un tanque, una válvula puede ser el actuador, el sistema a controlar es el tanque, el control puede ser un relevador y el sensor sería el flotador.



Frenado regenerativo

Varios vehículos eléctricos usan sólo un pedal, cuando el conductor pisa el pedal se acelera, pero cuando se quita el pie del pedal se frena. Al acelerar, el motor convierte energía eléctrica de la batería en movimiento. Por el contrario, en el frenado el motor pasa a modo generador y ahora convierte el movimiento en energía eléctrica que se almacena en la batería.

El frenado regenerativo ha sido fundamental para permitir que los vehículos terminen las carreras con una sola batería. En el caso de los vehículos de la generación 3, el frenado regenerativo se puede hacer con cualquiera de los dos motores en las transmisiones trasera y delantera, lo que implica un aumento en la energía que se tiene disponible a lo largo de la carrera. Los pilotos que usan el frenado regenerativo para almacenar energía de forma más eficiente pueden conducir más rápido durante mayor tiempo a lo largo de una carrera. Además, el uso del frenado regenerativo también implica que se utiliza menos energía durante las carreras lo que abona a la sostenibilidad del proyecto.



continental.com

Alejandro Agag
creador de la Formula E

Son muchos más los que ven los deportes que los documentales de medio ambiente. Así que pensé que el deporte podía jugar un papel para ayudar a la gente a entender lo que está pasando con el planeta



Control del motor

Los motores eléctricos montados en los vehículos eléctricos no son del mismo tipo de los que se pueden encontrar en los electrodomésticos del hogar. Los motores comúnmente utilizados en estos vehículos son los llamados motores de imanes permanentes sin escobillas (MIPSE) y a diferencia de otros tipos de motores eléctricos, estos son de menor tamaño, mayor potencia y requieren menor mantenimiento.

Un motor eléctrico se conforma de un rotor y un estator como se muestra en la figura 2 para el caso de un motor de tres fases. El rotor es el componente que gira y normalmente se encuentra en el interior. El estator se mantiene estático y contiene al rotor. En estos motores, un número par de imanes permanentes se encuentran montados en la superficie del rotor y tres conjuntos de embobinados se encuentran montados en la superficie interior del estator. Para producir movimiento del rotor es necesario energizar estas bobinas en la secuencia correcta, la cual depende de la posición del rotor.

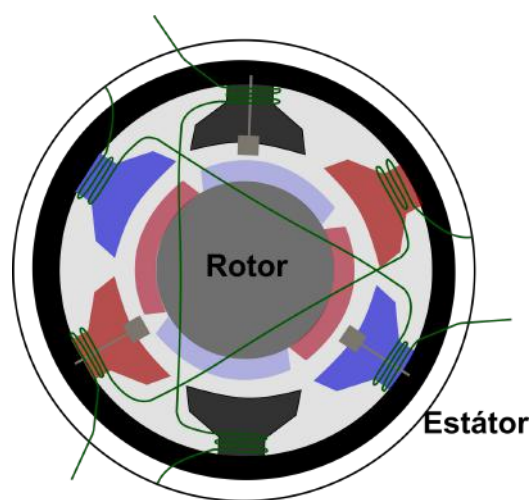


Figura 2. Estator y rotor de un motor de tres fases.



En el caso de los vehículos eléctricos, el objetivo es controlar la velocidad del eje o flecha del motor eléctrico, los sensores miden corrientes, voltajes, posición y velocidad, finalmente los actuadores son los inversores. Para controlar la velocidad y el par que entregará el motor, no sólo es necesario alimentar los tres embobinados con la secuencia correcta, sino también con la magnitud y frecuencia adecuada, lo que representa un problema de control complejo.

Sin embargo, para facilitar esta tarea, los ingenieros han diseñado una técnica conocida como control de campo orientado. Esta técnica de control básicamente toma la medición de las tres corrientes senoidales del motor y las transforma a un sistema equivalente donde las corrientes a controlar son sólo dos y constantes. Estas consideraciones son válidas si el motor opera a velocidad constante.

Para llevar estas corrientes al valor que corresponda a la velocidad y par deseados, el diseño debe incluir un controlador típicamente utilizado en la industria y desarrollado en los inicios del siglo XX, conocido como controlador proporcional integral (PI). Un controlador PI es un tipo de controlador de retroalimentación que utiliza un término proporcional (P) y un término integral (I) para controlar la salida de un sistema. El término P ajusta la salida del sistema en función del error actual, y el término I ajusta la salida del sistema en función de la suma de los errores pasados.





La salida de los controladores PI nos entregan los voltajes que se deben aplicar al motor en el sistema equivalente, por lo cual es necesario transformarlos al sistema original y finalmente aplicarlos al motor por medio del inversor. La figura 3 muestra de manera simplificada esta técnica de control, donde se ilustra la transformación de las tres señales senoidales a dos señales para ser procesadas por el controlador y como después de éste las señales deben volver a transformarse para ser tres señales que son enviadas al inversor. Todo este proceso se realiza dentro de una computadora varias veces por segundo para garantizar que el vehículo se mueva a la velocidad y con el par deseado por el conductor.

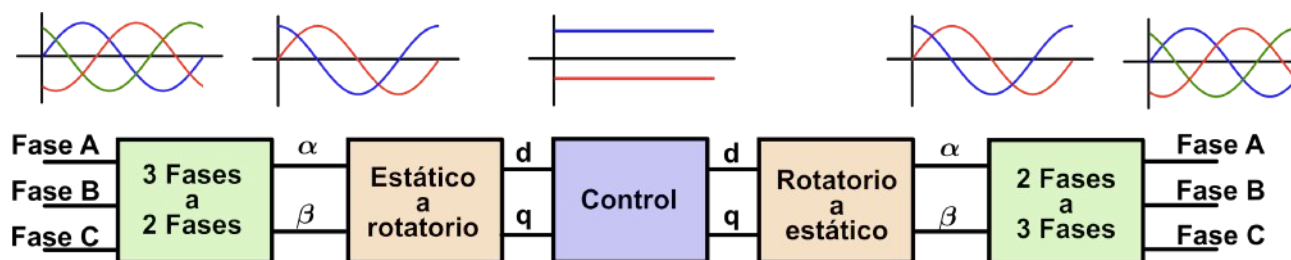
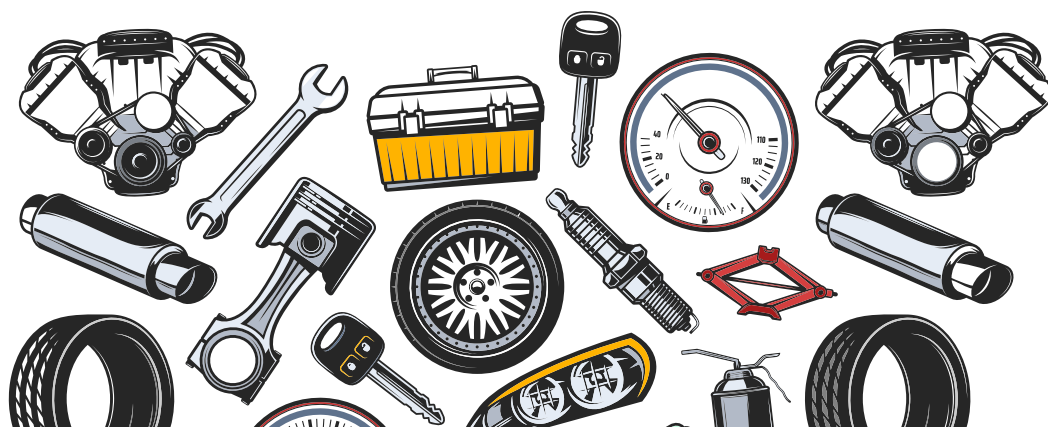


Figura 3. Transformaciones usadas por el control de campo orientado. Estas operaciones se hacen en una computadora o microcontrolador.





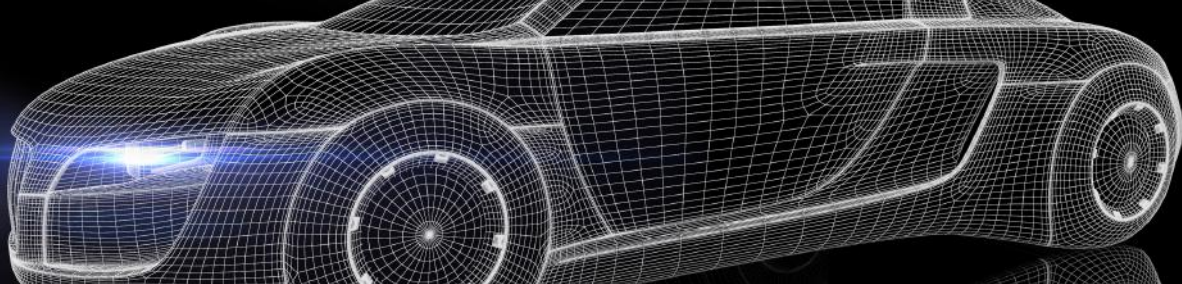
Diseño sostenible

Existen dos conceptos que parecen sinónimos pero que no lo son, uno de ellos es el desarrollo sustentable, donde se promueve el uso de los recursos naturales de tal forma que se garantice que no se compromete su existencia para las siguientes generaciones. Por otra parte, el desarrollo sostenible también busca proteger los recursos, pero tomando en cuenta cuestiones sociales, económicas y políticas. El desarrollo sostenible promueve un desarrollo económico y social respetuosos con el medio ambiente. En otras palabras, un desarrollo ecológicamente soportable, económicamente viable y socialmente equitativo.

En el sentido del desarrollo sostenible, la fórmula E ha estado desarrollando, de forma paralela al desarrollo del vehículo eléctrico para las carreras, diversos métodos para reducir su huella de carbono y sus desechos. Uno de estos esfuerzos es el *Cycle Thinking*, que busca que los desechos tengan una segunda vida al definir un mecanismo de reciclado de todos los componentes: llantas, elementos de fibra de vidrio, celdas de baterías, etc. Asimismo, este tipo de diseño utiliza materiales que sean sostenibles como en el caso de las llantas, donde se planea usar un 26% de caucho natural y fibras recicladas para su fabricación.

Otra iniciativa que refleja la forma de pensar de la comunidad de escuderías y aficionados es que se motiva a que éstos últimos lleguen a los eventos a pie, en bicicleta o en transporte público para minimizar la huella de carbono de todo el evento. Además, el evento dura sólo un día, durante el que se llevan a cabo la clasificación y la carrera.

Uno de estos esfuerzos es el *Cycle Thinking*, donde se busca que los desechos tengan una segunda vida al definir un mecanismo de reciclado de todos los componentes: llantas, elementos de fibra de vidrio, celdas de baterías, etc.



El futuro es ahora

Una de las motivaciones de los organizadores para crear esta categoría es acercar al público al concepto del vehículo eléctrico. Históricamente, una gran desventaja del vehículo eléctrico ha sido su potencia. Debido a que, aunque menos eficiente, el motor de combustión puede dar mucha potencia y mover cargas grandes. En cambio, los vehículos eléctricos tienen el problema de una batería pesada que ha dificultado el diseño de vehículos de alta potencia. Asimismo, la batería puede limitar el tiempo que el vehículo puede operar sin necesitar una recarga. Por lo tanto, el diseño de los vehículos de la Formula E se ha enfocado en mostrar que se puede tener alta potencia usando más motores, cargando la batería en movimiento, diseñando la transmisión de formas creativas y rediseñando el vehículo para ser más ligero. Estos esfuerzos han derivado en un circuito de carreras cada vez más emocionante que poco a poco se acerca a las velocidades que se manejan en la Formula 1, pero que desde su diseño busca impactar lo menos posible en el ambiente y contribuir a una cultura del reciclaje de materiales.

Agradecimientos

Este artículo fue realizado con apoyo del proyecto PAPIIT-UNAM IT100623. A Conahcyt por la beca de doctorado de Axel Alejandro Coronado Andrade (CVU 856213).



Crédito de imágenes en orden de aparición: jamesteohart (Getty Images, GI), Photocreo, peepo (Getty Images Signature, GIS), Racha Images, vesvocrea, stevecoleimages (GIS), BNPDesignStudio, Vectortradition, Ahmad wahyu kurniawan, Clker-Free-Vector-Images (pixabay), WinWin.artlab, Marcus Millo (GI), junce (GI), Slab Design Studio, GraphicsRF, lucian coman's Images, Alberto Sava's Images, elsar77 (GI), Kritsanot, zirconicussoicons.



Para Consulta

1. Chiasson J. 2005. Modeling and high performance control of electric machines. John Wiley & Sons.
2. Coob H. 2022. Formula E Gen3: What is it and what is new. (Autosport). [Link](#)
3. Coordinación de Universidad Abierta, Innovación Educativa y Educación a Distancia de la UNAM. (s.f.). Sostenibilidad y sustentabilidad. [Link](#)
4. Driscoll F (s.f.). Formula E cars how they have evolved become so unique. [Link](#)
5. Formula E. (8 de octubre de 2016). INSIGHT: how the cars have changed. (FIA) [Link](#)
6. Gitlin JM. 2022. Formula E's new electric race car is lighter, more powerful, more nimble. [Link](#)
7. Hewland (s.f.). Formula E Transmission Evolution. [Link](#)
8. Kumar I. 2021. Alejandro Agag: "Hacemos una version verde de los deportes de motor". (euronews) [Link](#)
9. Mitchell S (s.f.). Formula E Gen3 spec revealed. [Link](#)
10. Mraz, S. J. 2022. The Evolution of the Formula E Racecar. [Link](#)
11. Porsche. (s.f.). A beginners guide to formula E. [Link](#)
12. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2018. Diferencia entre sustentable y sostenible. [Link](#)
13. Steele B. 2022. Formula E Gen3: The world's most efficient race car. (Engadget) [Link](#)



Alejandra Icxiah de la Guerra Carrasco



Axel Alejandro Coronado Andrade



Luis Álvarez-Icaza

se dedica al diseño de controladores para motores con aplicación en vehículos eléctricos. Ha hecho posdoctorado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM y en la UAM Azcapotzalco.

Contacto: ale_delaguerra@comunidad.unam.mx

Estudiante de doctorado en ingeniería eléctrica en el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Su tema de tesis aborda el diseño observadores y controladores para motores BLDC.

profesor investigador del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Entre sus múltiples áreas de trabajo se encuentra el control de motores para aplicaciones de vehículos eléctricos y aerogeneradores.