

# Mejora de la estructura del chasis de un Go Kart eléctrico mediante análisis numérico computacional

David Alvarez<sup>1</sup>, Nelson Jara-Cobos<sup>2</sup>, Fran Reinoso-Avecillas<sup>3</sup>, Olena Leonidivna Naidiuk<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación y Desarrollo en Simulación, Optimización y Toma de Decisiones, Estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Email: [dalvarez@est.ups.edu.ec](mailto:dalvarez@est.ups.edu.ec)

<sup>2</sup>Grupo de Investigación y Desarrollo en Simulación, Optimización y Toma de Decisiones, Maestría en Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Email: [njara@ups.edu.ec](mailto:njara@ups.edu.ec)

<sup>3</sup>Grupo de Investigación y Desarrollo en Simulación, Optimización y Toma de Decisiones, Carrera de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Email: [freinoso@ups.edu.ec](mailto:freinoso@ups.edu.ec)

<sup>4</sup>Grupo de Investigación y Desarrollo en Simulación, Optimización y Toma de Decisiones, Carrera de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Email: [oneira@ups.edu.ec](mailto:oneira@ups.edu.ec)

## Resumen

Este estudio se centra en la mejora de la estructura del chasis de Go Karts eléctricos, mediante una integración de análisis estático, dinámico y vibracional, utilizando para ello el software de elementos finitos ANSYS. Se aborda la necesidad de mejorar la resistencia y la vida útil del chasis, los cuales son factores cruciales para la seguridad y el rendimiento en competencias. La metodología adoptada incluye el diseño inicial en Solid Works 2023, simulaciones en ANSYS y pruebas experimentales en un circuito urbano. Los resultados obtenidos indican mejoras significativas en la resistencia estructural y la reducción de la vibración, lo que implica una ventaja competitiva y mayor seguridad para los pilotos.

**Palabras clave:** Go Kart eléctrico, análisis numérico, análisis vibracional, chasis.

## Abstract

This study focuses on improving the chassis structure of electric Go Karts, through an integration of static, dynamic and vibrational analysis, using the ANSYS finite element software. It addresses the need to improve chassis strength and lifespan, which are crucial factors for safety and performance in competitions. The methodology adopted includes the initial design in Solid Works 2023, simulations in ANSYS and experimental tests on an urban circuit. The results obtained indicate significant improvements in structural resistance and vibration reduction, which implies a competitive advantage and greater safety for pilots.

**Keywords:** Electric Go Kart, numerical analysis, vibrational analysis, chassis.

## 1. Introducción

Los karts son pequeños vehículos monoplaza, los cuales se ponen en movimiento gracias a un motor de combustión interna, diseñados específicamente para competencias de velocidad en pistas autorizadas, se conoce a estos coches por su diseño compacto, ágil y liviano, fáciles de maniobrar debido a que su centro de gravedad se encuentra muy próximo a la superficie del piso.

La normativa que se aplica para el diseño e implementación del chasis para estos vehículos monoplaza de competición, fundamentalmente son las que establecen la Comisión Internacional de Karting (CIK) y la Federación Internacional de Automovilismo (FIA).

### 1.1. Desarrollo y Evolución de los Vehículos Karts

El deporte automotor, o deporte tuerca como se lo conoce en el mundo automovilístico, nace desde la

idea más sencilla de impulsar una estructura y experimentar la velocidad. En 1956, Art Ingels y Lou Borelli, empleados de KurtisKraft, empresa especializada en el diseño y construcción de autos de carreras, crearon el primer Go-kart en Los Ángeles, California, utilizando para ello tubos de calefacción para el chasis, un motor West Bend de una cortadora de césped y neumáticos del tren de aterrizaje de un avión en desuso; en un inicio este tipo de vehículos escasamente alcanzaban los 50 km/h [1].

Dos años más tarde, en 1958, Go-Kart Manufacturing Co. Inc. se estableció como la pionera en la producción y comercialización de karts. Al año siguiente, McCullough se destacó como la primera compañía dedicada a la fabricación de motores específicos para karts.

La regulación de este deporte comenzó en 1957 con la formación de la Federación Internacional de Kart (IFK), que implementó estándares para las competiciones. Las carreras de Go-kart ganaron popularidad rápidamente y para 1960 ya eran un evento común en numerosas pistas locales a lo largo de Estados Unidos. Durante esa década, el número de pistas aumentó significativamente en diversas ciudades y estados. Originalmente, los karts eran estructuras simples y básicas, pero con el paso del tiempo se han transformado en sistemas complejos que requieren un ensamblaje avanzado. A pesar de los cambios en diseño y tecnología, las carreras de Go-kart continúan siendo la opción más accesible dentro del ámbito de las competiciones automovilísticas profesionales. Con el tiempo, la IFK introdujo varias modalidades de competición, incluyendo Sprint Racing, Shifter Karts, Road Racing Karts y Speedway Karts, según Dunn [2], [3].



**Figura 1.** Primer Kart fabricado en 1956. Fuente: [3]

### 1.2. Tipos de Karts Eléctricos

Los vehículos eléctricos se definen como aquellos propulsados en su totalidad o en parte por la electricidad obtenida de baterías recargables o en su defecto a través de la red eléctrica. Existen varias categorías de estos vehículos:

**a. Vehículo Híbrido Eléctrico Enchufable (PHEV):** este vehículo combina un motor eléctrico y uno de

combustión interna que pueden funcionar de manera paralela. En este sentido aprovecha dos tipos de energía: la electricidad, que recarga la batería conectada a la red, y los combustibles fósiles, que alimentan el motor térmico. El principal problema de los motores de combustión es su falta de eficiencia al arranque y ralentí. En cambio, los motores eléctricos generan su par máximo desde casi cero revoluciones pudiendo compensar esa baja eficiencia a bajas revoluciones. Las posibilidades de sistemas híbridos son múltiples; a continuación, se presentan algunas [4]:

- En serie: únicamente el motor eléctrico es el que impulsa el vehículo y el único papel que desempeña el motor de combustión es el de accionar el generador.
- En paralelo: los motores de combustión y eléctrico trabajan al mismo tiempo. La distribución más típica es situar el motor eléctrico entre la transmisión y el motor de combustión, el cual suele ser bastante pequeño debido a que el motor eléctrico le da soporte mejorando así los consumos.
- Mixto: también conocidos como repartidores de energía, el mecanismo de distribución de la energía emplea un engranaje planetario para dividir la energía entre el generador y el motor consiguiendo de esta manera que, al arrancar y a bajas velocidades sea la batería quien proporcione la energía y que, a velocidades normales sea el motor de combustión el que acciona el generador y, a su vez, recarga la batería.

**b. Vehículo Eléctrico de Batería (BEV):** Operan exclusivamente mediante un motor eléctrico alimentado por electricidad almacenada en baterías (ver figura 2), las cuales se recargan conectándose a la red eléctrica. También existen otro tipo de instalaciones para alimentar al motor eléctrico como la energía solar o, incluso, la energía nuclear.

Se pueden incluir también en esta clasificación a los vehículos impulsados por hidrógeno mediante una pila de combustible. El principio de funcionamiento del sistema parte de la combinación de hidrógeno y oxígeno, produciendo energía eléctrica que permite alimentar directamente el motor eléctrico, además de alimentar las baterías. Sin embrago, al ser sistemas complejos y por requerir espacios grandes no se consideran para utilizarse en karts [4].

**c. Vehículo Eléctrico de Autonomía Extendida (EREV):** similar al vehículo eléctrico de batería en cuanto a su funcionamiento primario, incluye un motor de combustión interna que actúa como un generador, recargando las baterías y extendiendo así la autonomía del vehículo.



**Figura 2.** Kart con motor eléctrico. Fuente: [5].

### 1.3. Tipos de Chasis

**Chasis en escalera o bitubo:** Utiliza perfiles tubulares, los cuales son muy eficaces contra la torsión. Generalmente, este tipo de chasis se compone de dos vigas tubulares conectadas por refuerzos que pueden ser transversales, diagonales o ambos. Sus principales ventajas radican en una construcción sencilla y una larga durabilidad y facilidad para adaptar partes mecánicas. Su principal desventaja es su peso y una menor rigidez torsional en comparación con otros modelos, lo que requiere soportes de suspensión frontal muy robustos y soportes adicionales para la dirección.

**Chasis multitubular:** utilizan perfiles tubulares en su estructura con mínima triangulación, requiere incluir diagonales. Ofrece mejor desempeño que el chasis bitubo y es económicamente viable. Se considera como variables al diámetro de los tubos, la precisión en la soldadura, su resistencia a la flexión y su durabilidad (estas dos últimas como variables dependientes del peso).

**Chasis cercha:** también conocido como estructura articulada, se compone de barras rectas unidas en puntos denominados nudos, generalmente ubicados en los extremos para maximizar la rigidez y la estabilidad. Estos elementos suelen ser delgados y están diseñados para soportar cargas principalmente axiales, aplicadas directamente en los nudos. Las ventajas de este diseño son su eficiencia debido al bajo peso y alta resistencia a la torsión y flexión, y el uso de materiales económicos como el acero que además proporciona una excelente durabilidad. Las desventajas incluyen costos más elevados de diseño y fabricación, y un acceso limitado a componentes, además de la necesidad de proteger los interiores de los tubos contra la corrosión para evitar fallos estructurales.

**Chasis Monocasco:** se caracteriza por una distribución uniforme de las cargas a lo largo de su periferia completa. Este diseño es esencial en la estructura de los vehículos de Fórmula 1, donde se destaca por su ligereza y eficiencia. Se utilizan

láminas metálicas muy delgadas (entre 0,6 y 0,8 mm) y a menudo se incorporan materiales compuestos en su fabricación. A pesar de ser uno de los más costosos de desarrollar, las ventajas significativas que ofrece compensan su precio.

**Chasis Tipo Columna o en X:** Este diseño presenta una estrechez central que confiere al vehículo una estructura excepcionalmente rígida. El chasis cuenta con un travesaño frontal robusto, diseñado específicamente para anclar las suspensiones delanteras. Una variante de este modelo incluye un chasis con un tubo central, que posee una viga longitudinal en el centro, de perfil cuadrado o redondo, diseñada para integrar y soportar los componentes mecánicos del vehículo.

### 1.4. Tipos de Baterías

La batería es esencial para la configuración de un vehículo eléctrico, determinando factores críticos como la autonomía del vehículo, la velocidad máxima y el tiempo necesario para recargar. Para ser efectiva, la batería debe ofrecer una densidad energética alta, una tasa de auto descarga mínima, durabilidad extendida, y tiempos de recarga rápidos. Además, es fundamental que estas baterías sean seguras, asequibles y aptas para el reciclaje. Por lo general se clasifican principalmente en tres categorías:

- **Baterías de arranque:** estas baterías suelen ser de plomo-ácido, con placas positivas de dióxido de plomo y placas negativas de plomo junto con ácido sulfúrico. Ocasionalmente se emplean baterías de níquel-cadmio por su superioridad técnica, aunque son considerablemente más caras y por ello menos comunes. Estas baterías son más compactas pero pesadas.

- **Baterías de tracción:** Diseñadas para soportar ciclos de descarga profunda, son esenciales para vehículos eléctricos que requieren recargas diarias. Se caracterizan por tener placas con una alta proporción de antimonio (entre 4% y 10%), lo que conduce a una auto-descarga significativa y una eficiencia de carga menor, necesitando mantenimiento periódico. Estas baterías son más grandes y costosas en comparación con las baterías de arranque.

- **Baterías de litio:** Usadas comúnmente en dispositivos electrónicos como teléfonos móviles y laptops, estas baterías están siendo adaptadas para su uso en vehículos híbridos debido a su capacidad superior de descarga y su menor peso comparado con otros tipos de baterías. No obstante, tienen un costo de producción elevado y una vida útil que puede variar entre 300 y 1000 ciclos de carga y descarga, representando una desventaja significativa.

### 1.5. Tipos de Motores Eléctricos

Son dispositivos que convierten la energía eléctrica en movimiento mecánico rotacional, han sido ampliamente utilizados en diversas aplicaciones, desde la industria y el transporte hasta aplicaciones domésticas.

Operan bajo principios electromagnéticos, donde la interacción entre un campo magnético y una corriente eléctrica en una bobina genera movimiento. Su estructura es relativamente simple, lo que limita el número de componentes que pueden fallar, en este sentido las más comunes están relacionadas con impedimentos mecánicos en el eje o problemas en el campo magnético, generalmente causados por daños en los cepillos o en los bobinados del motor. Se pueden clasificar en varios tipos:

- **Motores de Corriente Continua (CC):** Ideales para aplicaciones donde es crucial ajustar precisamente la velocidad. Estos motores se caracterizan por tener una cantidad igual de polos en el rotor y el estator, y están disponibles en configuraciones en serie, paralelo y compuesto. Está siendo ampliamente utilizado para la tracción en vehículos eléctricos o híbridos y pueden ser alimentados eléctricamente mediante baterías.

- **Motores de Corriente Alterna (CA):** Estos funcionan con corriente alterna y son conocidos por convertir la energía eléctrica en movimiento rotativo a través de la interacción de campos magnéticos. Se clasifican principalmente en motores Asíncronos y Síncronos.

- Los motores asíncronos, conocidos como motores de inducción, operan basados en el efecto de un campo magnético alterno en un estator que induce corriente en un rotor sin conexiones externas. Este tipo de motor es notable por su sencillez, ya que no requiere de un sistema de escobillas.
- Los motores síncronos funcionan mediante un estator que recibe corriente alterna y un rotor configurado como un imán o electroimán con múltiples pares de polos magnéticos. La interacción entre el campo alterno del estator y los polos del rotor produce un movimiento sincronizado con la frecuencia de la corriente aplicada.

### 1.6. Funcionamiento Del Go Kart

Un Go-kart funciona gracias a una combinación de elementos mecánicos, automotrices, eléctricos y/o de combustión. El chasis sostiene el motor, la transmisión y la suspensión. Los motores pueden ser de combustión interna o eléctricos, y la transmisión puede ser manual o automática.

La dirección controla las ruedas delanteras, mientras que los frenos, típicamente de disco en las ruedas traseras, permiten detener el vehículo. En karts eléctricos, se pueden encontrar sistemas de iluminación alimentados por baterías. La física del kart involucra dinámicas como la fuerza centrífuga, el centro de gravedad y las fuerzas durante la conducción, que afectan su manejo y rendimiento.

**Sistema de Dirección.** - Este sistema está compuesto por el volante, la columna, varillas y los pivotes de dirección. Constituye uno de los componentes más críticos en un vehículo, junto con el sistema de frenos, ya que la seguridad de las personas depende de estos elementos. Por lo tanto, la dirección debe cumplir con ciertas cualidades que garanticen al conductor la seguridad y comodidad necesarias durante la conducción, estas cualidades son [2]:

- Seguridad: depende de la confiabilidad del mecanismo, la calidad de los materiales utilizados y el mantenimiento adecuado.
- Suavidad: se logra mediante un montaje preciso, una desmultiplicación adecuada (si corresponde) y un adecuado sistema de engrase.
- Precisión: La falta de precisión puede ser causada por diversos factores, como el excesivo juego en los mecanismos de dirección, el desgaste desigual de los neumáticos o el desequilibrio de las ruedas.
- Irreversibilidad: el volante debe controlar el giro de las ruedas y las oscilaciones causadas por las irregularidades del terreno no deben transmitirse al volante.
- Convergencia y Divergencia: Distancia existente entre el ancho de vía de la parte frontal y posterior de los neumáticos del eje delantero de un Go-Kart. Si la distancia frontal de los neumáticos es mayor se llama divergencia, si la distancia posterior es mayor se habla de convergencia. Comprende valores entre 1 y 2 mm. Este parámetro influye directamente en el desgaste de las ruedas, lo ideal es que las mismas se encuentren paralelas puesto que así se conseguirá una marcha suave en un Go-Kart. La presencia de inclinaciones significa un desgaste en el neumático debido a que genera un valor de resistencia al avance [6].

Cuando las ruedas están perfectamente paralelas, no hay convergencia ni divergencia, lo cual representa una configuración adecuada para una conducción más suave, con la mínima pérdida de potencia y el menor desgaste de las gomas. Cualquier ángulo introduce una resistencia al avance y provoca un mayor desgaste debido a que los neumáticos ruedan "arrastrándose" con un ángulo respecto a la dirección de avance.

Una excesiva convergencia provoca un desgaste acelerado en los bordes externos de los neumáticos, mientras que una excesiva divergencia provoca lo

mismo en los bordes internos. La convergencia o divergencia adecuada depende de dos aspectos importantes en la conducción: la estabilidad direccional y la respuesta al cambio de dirección [2].

**Cadena De Transmisión.** - La transmisión, también conocida como cadena de transmisión o línea motriz, es crucial para la transferencia de potencia desde el motor hasta las ruedas del vehículo. En un kart la transmisión es más simple respecto de los automóviles y se compone únicamente del cigüeñal, embrague, conjunto piñón-corona y eje trasero.

A diferencia de los automóviles, los karts no suelen estar equipados con diferencial. Por lo tanto, durante las curvas, una de las ruedas traseras debe deslizarse ligeramente para permitir un giro suave. La potencia se transmite desde el motor hasta el eje trasero mediante una cadena. En los karts más modernos, se suele incorporar un embrague, el cual se ha vuelto obligatorio en muchas competiciones establecidas desde el año 2007.

Por otro lado, la elección adecuada de la relación de transmisión entre la entrada y salida de movimiento es crucial para lograr un mayor rendimiento en competición.

**Sistema De Frenado.** – está diseñado para reducir o detener la velocidad del auto cuando está en marcha. El proceso de frenado se logra mediante la aplicación de fuerza sobre las ruedas del vehículo, lo que genera resistencia y eventualmente detiene el movimiento [7]. Durante el proceso de frenado, un cuerpo, como las pastillas de freno, se pone en contacto con otro, como el disco de freno, en direcciones opuestas. Esta interacción genera una fuerza de fricción que se opone al movimiento del cuerpo en movimiento, ayudando así a detenerlo.

### 1.7. Normativa

La normativa de la Federación Internacional de Automovilismo – FIA, en el contexto del automovilismo abarca varios aspectos fundamentales que influyen tanto en la seguridad como en la idoneidad de las competiciones. Estas normativas son utilizadas para mantener la equidad entre los competidores y garantizar altos estándares de seguridad para los pilotos y espectadores. Aquí continuación, algunos puntos clave:

- Seguridad: La normativa de la FIA establece estándares estrictos en cuanto a la seguridad de los vehículos de competición, así como de los circuitos y los equipos involucrados. Esto incluye especificaciones detalladas sobre la construcción de los chasis, la resistencia de los materiales utilizados, la instalación de sistemas de seguridad como la barra

antivuelco, los arneses de seguridad, los extintores de incendios, entre otros.

- Equidad deportiva: Las normativas de la FIA también se centran en mantener la equidad entre los competidores, esto puede incluir regulaciones sobre el rendimiento de los motores, la aerodinámica de los vehículos y el uso de tecnología.

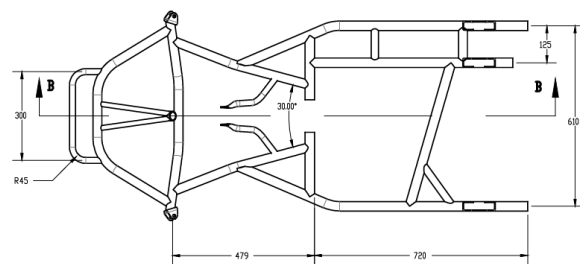
- Innovación controlada: A pesar de las restricciones impuestas, la normativa de la FIA fomenta la innovación en el diseño y la tecnología de los vehículos de competición.

- Cumplimiento y control: Las normativas de la FIA son aplicadas rigurosamente a través de procesos de inspección técnica y medidas de control durante las competiciones.

- Desarrollo sostenible: la normativa de la FIA también aborda situaciones relacionadas con la sostenibilidad en el automovilismo, promoviendo tecnologías más limpias y prácticas de gestión ambiental en las competiciones [8].

### 1.8. Chasis de un Go-Kart

El chasis de Tony Kart (ver figura 3) es el más utilizado en competencias de karting debido a su avanzada tecnología y rendimiento superior. Estos chasis ofrecen un excelente equilibrio y maniobrabilidad, adaptándose a diversas condiciones de pista y tipos de neumáticos, lo que permite a los pilotos mantener un rendimiento óptimo en diferentes situaciones de carrera. Además, Tony Kart tiene un historial de éxito en campeonatos mundiales y nacionales, lo que demuestra su eficacia en condiciones de competencia reales.



**Figura 3.** Chasis TONY – KART. Fuente: [1].

Para el diseño y construcción del chasis se debe cumplir con lo que se establece en la norma de homologación CIK/FIA vigente para el año 2024, la que presenta algunas particularidades que a continuación se describen [9]:

**Notación de kart.** Es un vehículo terrestre con o sin carrocería, con cuatro ruedas no alineadas que están constantemente en contacto con el suelo, de las cuales dos aseguran la dirección y las otras dos la propulsión. Las partes principales son el chasis, el motor y el piloto.

**Seguridad:** los karts sólo están autorizados a correr si se encuentran en un estado que se encuentran en conformidad con la reglamentación de la CIK/FIA.

**Chasis:** Todas las piezas principales del chasis deben estar fijadas de forma uniforme contra las otras. Sólo se admiten secciones articuladas por el soporte de la punta del eje del sistema de dirección. Cualquier otra pieza con función articulada queda prohibida.

Fabricación tubular en acero de construcción y su flexibilidad corresponde a los límites de elasticidad de la construcción. La utilización de titanio está prohibida. Dispositivos amortiguadores. Hidráulicos, neumáticos o mecánicos están prohibidos en la totalidad del vehículo.

Especificación técnica de neumáticos con o sin cámara de aire. Distancia entre ejes: Mínima 101 cm., Máxima 107 cm.

Longitud total: máxima 182 cm: Fórmula-E, máxima 210 cm.

**Paragolpes.** Una protección delantera, trasera y lateral. Paragolpes delantero. Altura máxima respecto del suelo 20 cm, contruados de acero magnético. Paragolpes trasero. Altura máxima respecto del suelo 20 cm, contruados de acero magnético.

**Bandeja.** Debe haber una bandeja del piso hecha de material rígido que sólo estire del tirante central del marco del chasis al frente del marco del chasis. Esta deber estar afilada lateralmente por un tubo o un margen que impide a los pies del piloto resbalar fuera de la plataforma. • Si se perfora, agujeros no deben tener un diámetro de más de 10 mm y ellos deben estar separados por cuatro veces su diámetro como mínimo. Además, un agujero con un diámetro máximo de 35mm se permite para el solo propósito del acceso de la columna de dirección.

**Frenos.** Sistemas de operación independientes anterior y posterior que en el caso de que uno no funcione el otro garantice el funcionamiento. Los frenos obligatoriamente han de ser hidráulicos.

**Dirección.** Accionada por un volante totalmente circular.

**Transmisión.** Se ha de efectuar siempre sobre las ruedas traseras, el método es libre, pero todo tipo de diferencial está prohibido.

## 2. Diseño del Chasis

### 2.1. Consideraciones generales

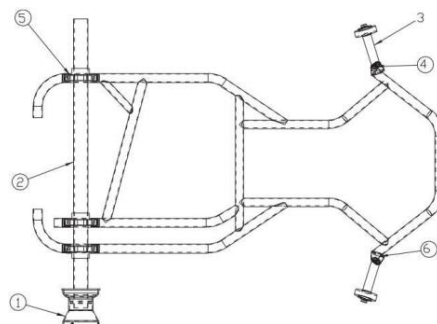
Un chasis bien diseñado debe tener una combinación adecuada de flexibilidad y rigidez, la primera permite que el chasis se adapte a las irregularidades del

terreno además de prestar adherencia de las ruedas al suelo, mientras que la segunda ayuda a mantener la estabilidad y el control durante la conducción [10].

El chasis representa la estructura del Go-Kart, por lo que debe brindar soporte a los demás sistemas del vehículo, como el tren de potencia, el sistema de dirección, sistema de frenos y accesorios que están directamente anclados al chasis, por esta razón, se requiere que la construcción sea lo suficientemente fuerte y rígida para soportar las cargas que estas generan.

Según norma para el diseño y construcción del chasis se utilizará tuberías de sección circular con diámetros entre los 30 y 32 mm, ya que debe contar con la rigidez suficiente para transmitir la potencia del motor hacia las ruedas durante la aceleración; además, al ser un mini vehículo que no cuenta con suspensión debe tener cierto porcentaje de flexibilidad y torsión, para aportar adherencia y estabilidad en curvas [1].

Cada componente del chasis debe ser acoplado mediante procesos de soldadura, de acuerdo con la norma, ninguno debe ser desmontable, las conexiones articuladas solo están autorizadas para los soportes de la dirección. En la figura 4 se muestra las partes principales del chasis: (1) Aros. (2) Eje de transmisión. (3) Manguetas. (4) Perno angular. (5) Soportes para el eje de transmisión. (6) Soportes para las manguetas.



**Figura 4.** Partes principales del chasis. Fuente: Autores.

Además de los componentes mencionados, el chasis cuenta con otras partes auxiliares como el soporte para la mordaza de freno, unidad de potencia, dirección, asiento, pedales, parachoques, lastres, dispositivos y conexiones.

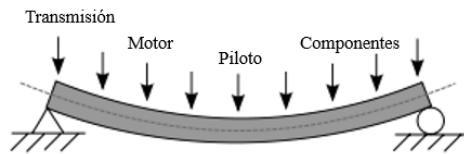
Todas estas partes deben estar fijadas sin articulaciones móviles, cumpliendo con el reglamento, de tal manera que no se desprendan cuando el Go-kart esté en funcionamiento.

Debido a que un kart carece de suspensión, la rigidez del chasis representa un factor importante en su estabilidad y conducción. Cuando el chasis tiene poca rigidez, tiene mayor capacidad para flexionar, lo que



se traduce en una mayor adherencia en curvas con menor posibilidad de deslizamiento, por el contrario, el bastidor tiene un índice de rigidez alto, el chasis tiene una mayor resistencia a la flexión, lo que produce una menor adherencia en curvas con un alto grado de deslizamiento [1].

Producto de la gravedad, las masas que soporta el chasis, dan lugar a cargas en un plano perpendicular al plano de la estructura, por lo que en los tubos se genera un momento flector, que puede dar lugar a una flecha de flexión vertical en determinados puntos (ver figura 5).



**Figura 5.** Representación de la flecha de flexión. Fuente: Autores.

## 2.2. Diseño Preliminar

Este proyecto se centra en el diseño y análisis de un chasis para un kart de la categoría KF4 según la normativa de reglamentación impuesta por la comisión internacional de karting CIK/FIA.

Para alcanzar el objetivo, es importante que el diseño del chasis cumpla con parámetros específicos referentes a una reconceptualización del modelo. En este sentido en la tabla 1 se presenta información de la ficha de homologación CIK/FIA considerada para el dimensionamiento.

**Tabla 1.** Ficha de homologación CIK/FIA.

B	COTAS	B	DIMENSIONES
1. Cuadro		1. Marco	Datos Tolerancias
A=Correcciones de medidas de emp		A=Medidas fijas de distancia entre	1050 $\pm 10$ mm
B= Tubos principales de la estructura, diámetro mínimo 21 mm, una longitud superior de 150 mm, con excepción de los tubos de un diámetro inferior a 21 mm y todos los soportes para accesorios.		B= Tubos principales de la estructura, diámetro mínimo 21 mm, longitud superior a 150 mm, excepto de los tubos de diámetro inferior a 21 mm y todos los soportes para accesorios.	1) 30 $\pm 0,5$ mm 2) 30 $\pm 0,5$ mm 3) 30 $\pm 0,5$ mm 4) 30 $\pm 0,5$ mm 6) 30 $\pm 0,5$ mm 7) $\pm 0,5$ mm 8) $\pm 0,5$ mm 9) $\pm 0,5$ mm 10)
C= Número de curvaturas de los tubos con diámetro superior a 21 mm.		C= Número de curvaturas de los tubos con diámetro superior a 21 mm.	9 -
D= Número de tubos con un diámetro superior a 21 mm		D= Número de tubos con un diámetro superior a 21 mm	6 -
E= Más grande hacia el exterior		E= Ancho forntal exterior	725 $\pm 10$ mm
F= Fondo exterior más grande		F= Ancho trasero exterior	638 $\pm 10$ mm
G1= Saliente trasero de los tubos principales (obligatorio)		G1= Saliente trasero de los tubos principales (obligatorio)	210 $\pm 15$ mm
G2= Puerta falsa delante del tubo principal		G2= Saliente frontal del tubo principal	265 $\pm 10$ mm
Observación: En los puntos B, C y D solo los tubos principales de una longitud superior a 150 mm se sujetan teniendo en cuenta la exclusión de todos los soportes para accesorios.			

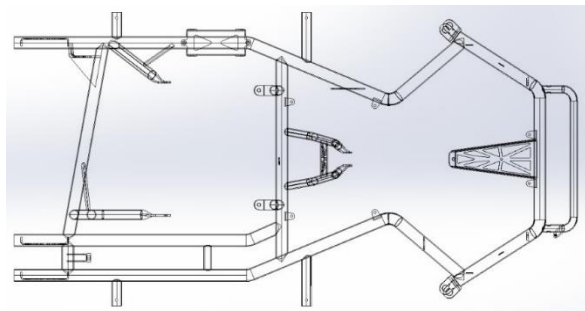
**Fuente:** Adaptado de [8].

El chasis al ser el componente más importante del vehículo debe tener las características necesarias

(peso, rigidez, dimensiones, etc.) para permitir el óptimo desempeño del kart durante su funcionamiento. Para alcanzar tal objetivo, es importante que el prototipo cumpla con ciertos parámetros referentes a una pre conceptualización del modelo, los cuales se detallan a continuación:

- Batalla: 1072 mm
- Ancho de vía del eje delantero: 948 mm
- Ancho de vía del eje posterior: 1078 mm
- Ángulo de avance (soportes de las manguetas): 140
- Ángulo de salida (soportes de las manguetas): 120
- Peso máximo del chasis: 14 kg
- Peso máximo del vehículo sin piloto: 70 kg
- Rigidez torsional: 150 a 200 N\*m/°
- Integración con componentes: El chasis debe tener soportes de sujeción para el motor, manguetas, bandeja de protección, eje de transmisión, frenos, columna de la dirección, asiento y parachoques.
- Distribución de pesos: 60/40 (longitudinales) & 50/50 (transversales).

Para realizar el diseño preliminar del chasis en función de los parámetros establecidos en la caracterización, se desarrolla un modelo básico mediante el software Solid Work, del que inicialmente sus cotas, diámetros y espesores de los tubos son los comúnmente utilizados por diversos fabricantes (ver figura 6). Posteriormente la estructura es analizada y optimizada mediante el software ANSYS hasta conseguir el modelo final.



**Figura 6.** Diseño preliminar del chasis. Fuente: Autores.

Mediante el software CAD se obtuvo un ensamblaje completo del chasis (se evidencia la estructura tubular) con una masa calculada de 12,4 kg, valor que está dentro de los permitidos según la norma, que es 14 kg como valor máximo. En la figura 7 se puede observar el valor de la masa calculado.



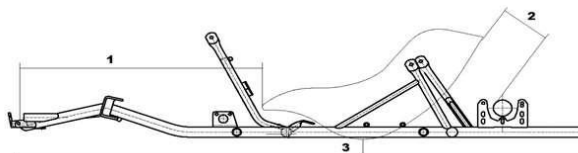
**Figura 7.** Información del cálculo de la masa total del chasis. Fuente: Autores.

### 2.3. Ergonomía del piloto

La posición de conducción que se adopte en un kart influye directamente en el comportamiento del vehículo. El peso del piloto representa el 55 % del peso total del vehículo, por lo que el posicionamiento de su centro de gravedad incide directamente sobre su reglaje.

Un vehículo de karting al carecer de suspensión transmite todas las vibraciones producidas por las irregularidades del terreno directamente hacia el piloto, por lo que dotarlo de una correcta posición de conducción no solo contribuye a aspectos del reglaje, sino también favorece a su resistencia física ante las exigencias requeridas durante una competencia.

La posición de conducción debe ir asociada directamente con parámetros del reglaje del vehículo, de nada sirve tener un posicionamiento ergonómico excelente, si la misma no contribuye a un óptimo comportamiento del kart. Lograr una posición de conducción ergonómica sin que afecte el reglaje, es una cuestión que está definida por la configuración de diversos parámetros relacionados con la distancia entre el asiento y el piso, la distancia entre la parte superior del asiento con el eje, la distancia entre el asiento y el miembro estructural delantero del chasis y la altura del asiento respecto al suelo. En la figura 8 se puede ver algunas distancias de posicionamiento del asiento.



**Figura 8.** Distancias de posicionamiento para el asiento de un kart. Fuente: Autores.

Las manos deben sujetar el volante en la mitad superior del mismo, pero nunca deben sobrepasar la altura de los hombros. Reclinar demasiado el asiento ocasiona que las manos sobrepasen la altura de los hombros, por el contrario, una inclinación del asiento muy vertical produce cambios en la distribución de

pesos del vehículo, por lo que la inclinación del asiento debe estar de 30 a 45 grados (ver figura 9).



**Figura 9.** Posición y altura de las manos en el volante de un kart – inclinación de asiento – Posición de conducción. Fuente: Autores.

### 2.4. Diseño a detalle

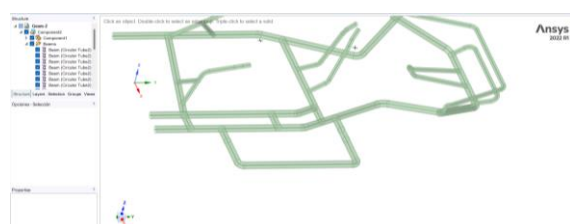
La resistencia estructural se la analiza mediante el software ANSYS, con el que se valida el diseño realizado, sometiéndolo a simulaciones de carga y esfuerzos, con el fin de evidenciar su comportamiento y asumirlo a la realidad en la que se evidencie condiciones propias de la pista de carreras, posibles impactos, posibilidad de soportar cargas muertas como baterías y motor y cargas vivas (piloto).

Se realizan simulaciones de esfuerzos enfocado en las áreas donde las cargas van focalizadas, asiento del piloto, zona frontal, posterior y laterales (ver figura 10).



**Figura 10.** Análisis 3D ensamble completo de Go Kart eléctrico. Fuente: Autores.

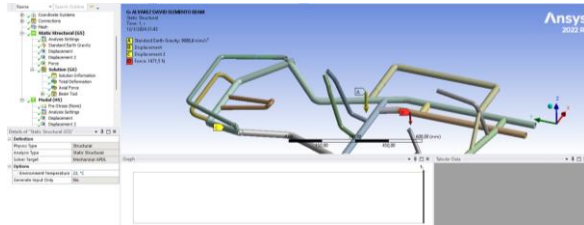
A continuación, se presenta algunos pasos establecidos para el análisis mediante software ANSYS, iniciando con el pre proceso para identificar al chasis como un elemento Beam, con las características requeridas del perfil y la creación de un solo elemento unido para el análisis (ver figura 11).



**Figura 11.** Chasis como elemento beam. Fuente: Autores.



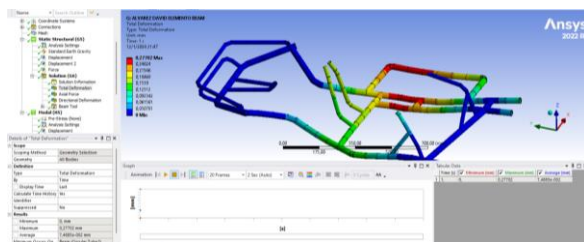
Para luego de otros pasos previos generar la malla y evaluador (valor máximo de 1/1), establecer parámetros en el entorno mecánico y las restricciones para el análisis (ver figura 12).



**Figura 12.** Establecimiento de parámetros en el chasis para el análisis. Fuente: Autores.

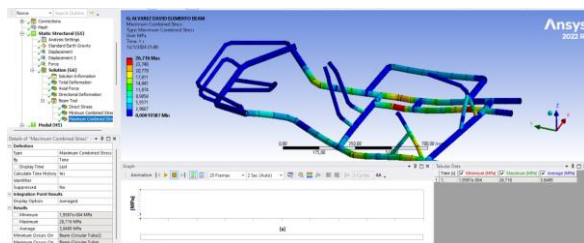
### 3. Análisis de resultados del diseño

Una vez cumplido con el desarrollo del modelo de simulación en ANSYS, se procede a realizar los respectivos análisis, obteniendo resultados de la deformación total, stress máximo combinado para verificar la resistencia y la evaluación modal del chasis en 40 puntos. En la figura 13 se puede observar la deformación total del elemento “chasis” la cual es mínima (0,28 mm máximo), por lo que es segura de acuerdo con la normativa de la FIA.



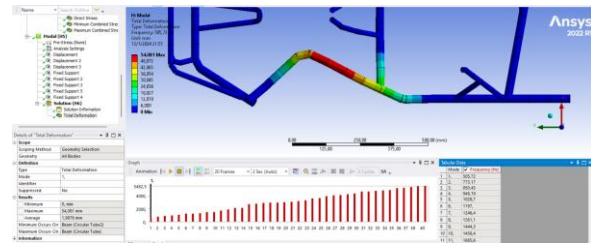
**Figura 13.** Deformación total del chasis. Fuente: Autores.

En la figura 14 se presenta el esfuerzo máximo combinado que resulta en un valor de 26,7 MPa, lo que permite garantizar la resistencia del chasis con un valor de factor de seguridad por arriba de 4.



**Figura 14.** Esfuerzo máximo combinado. Fuente: Autores.

En la figura 15 se presentan los resultados de la evaluación modal del chasis desarrollada en 40 puntos.



**Figura 14.** Análisis modal del chasis. Fuente: Autores.

Una vez verificada la resistencia y validado el diseño final del chasis, se procedió con la construcción del mismo y la selección de los demás componentes del Go-Kart Eléctrico, como: los neumáticos, sistema de dirección, sistema de frenos, motor eléctrico, banco de baterías, sistema de transmisión de movimiento entre otros a fin de proceder a realizar las operaciones mecánicas necesarias para conseguir adaptarlos. De esta manera se obtuvo el Go-Kart Eléctrico como parte del equipo Fenix, con el que se probó en competencia resultando ganador (ver figura 15).



**Figura 15.** Resultado final del Go-Kart desarrollado. Fuente: Autores.

### 4. Conclusiones

Los elementos beam resultaron eficaces para representar las partes rectas y largas del chasis, ofreciendo resultados precisos y eficientes computacionalmente.

Los resultados de las tensiones en los miembros estructurales sugieren áreas críticas que pueden requerir refuerzo adicional para garantizar la integridad estructural bajo carga; sin embargo, por los valores obtenidos no fue necesaria esta práctica.

El resultado de la deformación máxima en el chasis indica la capacidad de absorber cargas sin deformarse excesivamente, proporcionando información vital sobre la rigidez estructural del mismo.

El factor de seguridad global que está por arriba de 4, sugiere que el diseño actual es adecuado para soportar las cargas aplicadas, pero es crucial considerar tolerancias y posibles variaciones en la producción.

El análisis computacional desarrollado revela la interacción efectiva entre la carga aplicada y la respuesta estructural, lo que respalda la idoneidad del diseño para condiciones de carga específicas.

El método de elementos beam permite una evaluación precisa del peso total del chasis, lo que es vital para el rendimiento general del Go.Kart.

La verificación de la resistencia en áreas curvas, los efectos de torsión, la sensibilidad a la geometría (destacando áreas para ajustes del diseño que permitan mejorar la eficiencia), deformación local y total y los análisis de estabilidad estructural, desarrollados mediante software SolidWork y ANSYS permitió identificar posibles modos de fallo que podrían haberse pasado por alto.

## 5. Referencias

- [1] P. A. Quezada Poma, «Diseño y fabricación del chasis para un kart KF4 según la normativa CIK/FIA», B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador, 2018. Accedido: 24 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15766>
- [2] F. Salazar González, «Análisis de un Kart de Competición y de sus Componentes», B.S. thesis, Universidad de Zaragoza, Zaragoza - España, 2011. Accedido: 24 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/5673/files/TAZ-PFC-2011-125.pdf?version=2>
- [3] Ariza Racing Circuit, «La historia del karting: De sus Inicios hasta la Actualidad.», Ariza Racing Circuit. Accedido: 24 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://arizaracing.com/lahistoriadeldkarting/>
- [4] J. Vila Romero, «Proyecto de un kart eléctrico», B.S. thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España, 2016. Accedido: 24 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100784/ANNEX\\_127.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100784/ANNEX_127.pdf)
- [5] M Made-in-China, «El mejor rendimiento 3kw motor dc sin escobillas kit para la go-kart eléctrico», Made-in-China.com. Accedido: 24 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://es.made-in-china.com/co\\_goldenmotorcz/product\\_Best-performance-3kw-brushless-DC-motor-kit-for-electric-go-kart\\_ouriuuuug.html](https://es.made-in-china.com/co_goldenmotorcz/product_Best-performance-3kw-brushless-DC-motor-kit-for-electric-go-kart_ouriuuuug.html)
- [6] K. Morocho, D. Patiño, E. Siguencia, T. Vásquez, y F. Villacís, «Desarrollo de técnicas de investigación para la optimización de un go-kart de competencia», Revista Juventud y Ciencia Solidaria, pp. 26-36, 2019.
- [7] E. E. Bravo Aguilar y J. C. Malqui Trujillo, «Dimensionamiento e implementación del sistema de dirección y sistema de frenos en un prototipo go kart eléctrico para la carrera de Ingeniería Automotriz», B.S. thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador, 2023. Accedido: 25 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/19220>
- [8] Fia, «FIA Karting - Sporting regulations». Accedido: 25 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.fiakarting.com/page/sporting-regulations>
- [9] A. Inga, «Guía de diseño para un chasis KART KF según la normativa CIK/FIA como iniciativa de homologación durante el periodo abril-octubre 2022.», PhD Thesis, Instituto Superior Tecnológico Sudamericano, Loja, Ecuador, 2022. Accedido: 26 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.tecnologicosudamericano.edu.ec/jspui/handle/123456789/637>
- [10] A. A. Lirio Sánchez y M. A. Torres Núñez, «Diseño y construcción de un chasis en fibra de carbono para un karting eléctrico bajo normativa internacional para la carrera de Ingeniería Automotriz», Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador, 2024. Accedido: 26 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/21559>