



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Automotriz

**Diseño y manufactura de un vehículo eléctrico para la competición
Shell Eco-marathon 2026**

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado académico de
Ingeniero Automotriz

Bryam Ricardo Guerrero Dumas

Director: Ing. Robert Rockwood Iglesias, M.Sc.

Cuenca-Ecuador

2026

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres, por su constante apoyo, sacrificio y ejemplo de perseverancia, valores que han sido fundamentales en mi formación personal y académica.

A mis hermanos, por su respaldo incondicional y por brindarme la motivación necesaria para culminar esta etapa de mi vida.

Asimismo, agradezco a todas aquellas personas que han contribuido a que este logro sea posible.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis padres Edgar Guerrero y Soledad Dumas, también a mis hermanos Christian Guerrero y Lisseth Guerrero, por su apoyo permanente, comprensión y confianza a lo largo de mi formación académica.

De igual manera, manifiesto mi gratitud a los docentes que formaron parte de mi proceso educativo, por su valiosa enseñanza y orientación profesional.

A mi tutor de tesis Robert Rockwood, por su guía, disposición y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo, los cuales fueron determinantes para su culminación.

Finalmente, agradezco a todas las personas e instituciones que, aportaron al desarrollo y finalización del presente proyecto.

Contenido

Resumen	1
I. INTRODUCCIÓN	1
Alcance	1
Estado del Arte	2
II. OBJETIVO GENERAL	2
III. MATERIALES Y MÉTODOS	2
1) Materiales	2
2) Equipos y herramientas	3
3) Recursos técnicos y normativos	3
IV. METODOLOGÍA	4
1) Análisis normativo y definición de requerimientos	4
2) Diseño conceptual y modelado CAD	4
3) Fabricación del molde	4
4) Verificación preliminar	7
V. RESULTADOS	7
1) Análisis normativo y definición de requerimientos	7
2) Diseño conceptual y modelado del bastidor	7
3) Fabricación del molde	7
4) Verificación y ensamblaje preliminar	7
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	8
VII. REFERENCIAS	8

Índice de figuras

<i>Fig. 1 Diseño del Prototipo</i>	4
<i>Fig. 2 Prototipo seccionado</i>	4
<i>Fig. 3 Planos de corte</i>	5
<i>Fig. 4 Proceso de corte en enrutador CNC</i>	5
<i>Fig. 5 Ensamble de Piezas</i>	5
<i>Fig. 6 Relleno de Espuma Expandible</i>	6
<i>Fig. 7 Modelado del prototipo</i>	6
<i>Fig. 8 Masillado del prototipo</i>	6
<i>Fig. 9 Lijado del molde</i>	6
<i>Fig. 10 Aplicación de fondo</i>	7
<i>Fig. 11 Ensamble de prueba</i>	9
<i>Fig. 12 Ensamble de piezas</i>	10
<i>Fig. 13 Colocación de Espuma</i>	10
<i>Fig. 14 Geometría en Espuma expandible</i>	11
<i>Fig. 15 Detallado de molde</i>	11
<i>Fig. 16 Masillado del molde</i>	12
<i>Fig. 17 Lijado del molde</i>	12
<i>Fig. 18 Prototipo Final</i>	13

Diseño y manufactura de un vehículo eléctrico para la competición Shell Eco-marathon 2026

Bryam Ricardo Guerrero Dumas
bryam.guerrero@es.uazuay.edu.ec

Ing. Robert Rockwood Iglesias
rockwood@uazuay.edu.ec

Ing. Hernán Viteri Cerda
hviteri@uazuay.edu.ec

RESUMEN

El diseño de prototipos orientados a la eficiencia energética exige disminuir el peso total del vehículo sin comprometer su resistencia, ni la protección del conductor. Bajo este enfoque, el presente estudio se centra en el diseño y la manufactura del bastidor autoportante para un prototipo eléctrico destinado a la competencia Shell Eco-marathon 2026. El propósito principal fue desarrollar el molde base del bastidor considerando los requisitos técnicos y de seguridad establecidos por el reglamento de la competición.

La metodología aplicada contempló el modelado tridimensional mediante software CAD y la fabricación del molde utilizando procesos de mecanizado CNC. Para la construcción se emplearon planchas de plywood, espuma de poliuretano expandible y masilla poliéster, materiales que permitieron definir la geometría del monocasco.

Como resultado, se obtuvo un molde con precisión dimensional y una geometría uniforme, adecuado para posteriores procesos de laminado y ensamblaje. Los resultados obtenidos demostraron la factibilidad técnica del procedimiento de diseño y fabricación implementado para el desarrollo del prototipo eléctrico.

Palabras Clave: bastidor autoportante, monocasco, manufactura CNC, diseño prototipo, materiales compuestos.

ABSTRACT

The design of energy-efficient prototypes requires reducing the overall vehicle weight without compromising structural strength or driver safety. Under this approach, the present study focuses on the design and manufacturing of a self-supporting chassis for an electric prototype intended for the Shell Eco-marathon 2026 competition. The main objective was to develop the base mold of the chassis while considering the technical and safety requirements established by the competition regulations.

The methodology included three-dimensional modeling using CAD software and mold fabrication through CNC machining processes. Plywood sheets, expandable polyurethane foam, and polyester putty were used during the manufacturing stage, allowing the monocoque geometry to be shaped.

As a result, a mold with dimensional accuracy and uniform geometry was obtained, suitable for subsequent lamination and assembly processes. The results demonstrated the technical feasibility of the design and manufacturing procedure applied in the development of the electric prototype.

Keywords— self-supporting chassis, monocoque, CNC manufacturing, prototype design, composite materials.

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto de la participación de la Universidad del Azuay en la Shell Eco-marathon 2026, el desarrollo de vehículos de alta eficiencia energética representa una aplicación práctica de la ingeniería automotriz orientada a maximizar la distancia recorrida con el menor consumo de energía. En este escenario, uno de los principales desafíos de diseño consiste en reducir la masa del prototipo sin afectar su integridad, debido a que el bastidor autoportante influye directamente en la rigidez, estabilidad y desempeño energético del vehículo [1]. Diversos estudios en prototipos tipo monocasco han demostrado que la optimización de materiales con alta relación resistencia-peso permiten disminuir la masa total manteniendo condiciones adecuadas de seguridad y funcionamiento [2].

A partir de estos criterios, el presente trabajo se enfoca en el diseño y manufactura del bastidor autoportante para un prototipo eléctrico, utilizando herramientas CAD y procesos de mecanizado CNC para garantizar coherencia entre el modelo digital y la fabricación física del molde. El desarrollo del proyecto comprende el modelado tridimensional, el seccionamiento para manufactura y la construcción del molde mediante plywood, espuma de poliuretano expandible y masilla poliéster, buscando obtener una geometría continua y adecuada para futuras etapas de laminado e integración de materiales compuestos.

ALCANCE

El presente trabajo de investigación forma parte del desarrollo integral del prototipo eléctrico de la Shell Eco-marathon desarrollado por la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad del Azuay. La presente investigación se enfoca específicamente en la fase de diseño y manufactura del molde del bastidor autoportante, comprendiendo el análisis del reglamento técnico, la definición de requerimientos de diseño, el modelado CAD y la fabricación del molde mediante mecanizado CNC.

El alcance de este estudio concluye con la obtención del molde funcional y su verificación dimensional preliminar. Las etapas posteriores, incluyendo laminado en materiales compuestos, quedan planteadas como líneas de continuidad para futuras investigaciones dentro del proyecto institucional.

Estado del Arte

El diseño de vehículos de alta eficiencia energética ha evolucionado significativamente en las últimas décadas debido a la necesidad de reducir masa, optimizar el consumo energético y mejorar el desempeño de los sistemas de movilidad. Dentro de este contexto, los bastidores autoportantes o estructuras tipo monocasco han adquirido gran relevancia en aplicaciones automotrices y de competición, debido a su capacidad para integrar funciones estructurales, geométricas y de seguridad en un solo componente. A diferencia de configuraciones convencionales, los monocascos distribuyen los esfuerzos mecánicos a través de toda su superficie, permitiendo una mejor relación entre rigidez y peso, lo que representa una ventaja significativa en aplicaciones donde la eficiencia energética constituye un parámetro crítico (Autodesk, 2026).

Diversas investigaciones han demostrado que la implementación de materiales compuestos en estructuras monocasco permite incrementar la resistencia específica del sistema y reducir considerablemente la masa total del vehículo. Gibson, 2026. Establece que el uso de materiales compuestos en aplicaciones estructurales ofrece una elevada relación resistencia-peso y un comportamiento favorable ante esfuerzos de flexión, compresión y torsión, convirtiéndolos en una alternativa ampliamente utilizada en la industria automotriz y aeroespacial [3]. De manera complementaria, estudios relacionados con monocascos fabricados en materiales compuestos evidencian mejoras significativas en la rigidez torsional y la integridad estructural en vehículos de alto desempeño [4], [5].

En el ámbito de la Shell Eco-marathon, la reducción de masa constituye uno de los factores más determinantes para maximizar la eficiencia del prototipo. Un estudio desarrollado en la German University of Technology in Oman analizó el rediseño de un chasis compuesto para un prototipo de competencia, integrando herramientas CAD y análisis por elementos finitos para optimizar simultáneamente la rigidez y la reducción de peso. Los resultados mostraron mejoras significativas en el desempeño y una reducción de masa frente a diseños convencionales metálicos [2].

De manera similar, investigaciones recientes en prototipos eléctricos desarrollados para Shell Eco-marathon han incorporado procesos de diseño paramétrico y fabricación mediante materiales compuestos reforzados con fibra de carbono, obteniendo estructuras con elevada resistencia mecánica y bajo peso. Tsirogiannis y colaboradores reportaron que la integración de herramientas CAD, análisis por elementos finitos y criterios ergonómicos permite desarrollar bastidores monocasco con mejores prestaciones y menores costos de manufactura (Dol, 2016).

Adicionalmente, la manufactura del molde representa una etapa crítica dentro del desarrollo de estructuras monocasco, ya que de esta depende la precisión geométrica, continuidad superficial y repetibilidad durante las etapas posteriores de laminado. Estudios orientados a prototipos de eficiencia energética han demostrado que el uso de procesos de

mecanizado CNC permite fabricar moldes con alta fidelidad respecto al modelo digital, reduciendo errores dimensionales y optimizando tiempos de producción. Investigaciones aplicadas en prototipos ganadores de Shell Eco-marathon muestran que la calidad del molde influye directamente sobre la integridad y el desempeño final del vehículo (Shell Eco-marathon, 2026).

A pesar de los avances reportados en el diseño y fabricación de estructuras monocasco para vehículos de competición, existe limitada documentación orientada a metodologías de fabricación de moldes, mediante materiales accesibles y procesos CNC en contextos académicos latinoamericanos. En este sentido, la presente investigación busca aportar una metodología técnicamente viable para el diseño y manufactura del bastidor autoportante del prototipo institucional de la Universidad del Azuay, estableciendo una base metodológica que permita la continuidad del desarrollo integral del vehículo en futuras etapas de investigación.

II. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y manufacturar el bastidor autoportante para la competición Shell Eco-marathon 2026.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los lineamientos técnicos y de seguridad establecidos por la Shell Eco-marathon 2026.
- Generar el diseño conceptual y detallado de la carrocería utilizando herramientas CAD.
- Fabricar la carrocería del bastidor autoportante conforme al diseño aprobado.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el diseño y manufactura del bastidor autoportante del prototipo destinado a la competencia Shell Eco-marathon 2026, se emplearon diversos materiales, equipos y recursos técnicos, seleccionados en función de los requerimientos estructurales, geométricos y de manufactura del monocasco.

1) Materiales

Los materiales utilizados se clasificaron de acuerdo con las cuatro fases principales desarrolladas para la elaboración del molde.

En la primera fase se utilizó madera plywood de calidad tipo C, con un espesor de 9 mm y dimensiones de 2440 mm de largo por 1220 mm de ancho. Este material fue seleccionado debido a su adecuada estabilidad dimensional, facilidad de mecanizado y amplia disponibilidad en el mercado, características que lo hicieron apropiado como base estructural y soporte del molde. Para el desarrollo del proyecto se adquirieron diez planchas, destinadas a la fabricación de los diferentes cortes y elementos de soporte requeridos durante el proceso (Chanta Group, n.d.).

En la segunda fase se empleó espuma expandible de poliuretano de alta densidad, seleccionada por sus propiedades de expansión controlada, con densidades comprendidas entre 20 y 30 kg/m³, así como por su rápido tiempo de secado, estimado entre 1 y 2 horas. Este material permitió generar de manera eficiente un volumen base con una expansión aproximada de 2 a 3 veces su volumen inicial. Posteriormente, la espuma fue sometida a procesos de corte y lijado, con el propósito de definir la geometría preliminar del monocasco antes de la etapa de mecanizado del molde.

En la tercera fase se aplicó masilla de modelado y acabado superficial. Para este proceso se utilizó masilla poliéster, debido a su adecuada adherencia sobre la espuma y a su tiempo de curado de aproximadamente 20 a 30 minutos, características que facilitaron la corrección de imperfecciones y el refinamiento de la superficie del modelo. Además, este material presenta facilidad de lijado, permitiendo obtener una geometría más uniforme y continua mediante la eliminación de poros, irregularidades y transiciones bruscas en la superficie (Tokio Design, n.d.).

En la cuarta fase se emplearon lijas de agua de diferentes granulometrías, correspondientes a granos 35, 80 y 200, clasificadas como gruesa, media y fina, respectivamente. Estas fueron utilizadas para el acondicionamiento progresivo de la superficie durante el proceso de fabricación del molde.

El procedimiento de lijado se realizó de manera secuencial, iniciando con lija grano 35 para el desbaste inicial del material, continuando con lija grano 80 para uniformizar la superficie y reducir las marcas generadas en la etapa previa, y finalizando con lija grano 200 para obtener un acabado superficial fino y homogéneo.

La utilización de estas lijas permitió eliminar irregularidades superficiales, nivelar el material y mejorar la calidad del acabado final, garantizando condiciones adecuadas para las etapas posteriores del proceso de manufactura.

2) *Equipos y herramientas*

Se emplearon herramientas de diseño asistido por computadora (CAD), específicamente Autodesk Inventor Professional 2023, Autodesk Fusion 360 (versión 2.0.2024) y AutoCAD 2023, para el desarrollo conceptual y detallado del prototipo [1]. Inventor se utilizó para el modelado tridimensional y ensamblajes, Fusion 360 para validaciones y ajustes de diseño, y AutoCAD para la elaboración de planos técnicos, estas herramientas requieren como mínimo un equipo con 8 GB de memoria RAM, procesador multinúcleo y tarjeta gráfica compatible con DirectX 11 o superior, lo que permite su ejecución en proyectos de complejos.

Se utilizó el software Slicer for Fusion 360 (versión 1.0.2023) para la generación de cortes y seccionamiento del modelo, necesarios en la fabricación en madera del prototipo. Esta herramienta permite descomponer el modelo tridimensional en secciones fabricables, ajustándose a las dimensiones del material disponible y generando automáticamente planos de corte simplificados para producción. El software presenta bajos requerimientos computacionales, pudiendo ejecutarse

en equipos con especificaciones similares a las descritas anteriormente.

Se utilizó una máquina CNC para el mecanizado de las piezas que conforman el molde del monocasco. Gracias a su alta precisión y repetibilidad, fue posible obtener superficies y dimensiones acordes al diseño digital, reduciendo errores durante el proceso de manufactura y asegurando un mejor ajuste entre los componentes. Este proceso tuvo una duración aproximada de dos semanas debido a la cantidad de piezas y al tiempo requerido por cada operación de corte, por ende, se lo realizó en el laboratorio de Dislab.

Se utilizó una fresa tipo “Endmill” recta de 2 filos, fabricada en carburo de tungsteno, con un diámetro de 4 mm y una profundidad de corte de hasta 9 mm, adecuada para el mecanizado de madera como el plywood. Este tipo de fresa es ampliamente empleada en procesos CNC debido a su alta dureza, resistencia al desgaste y capacidad de mantener el filo por más tiempo en comparación con herramientas de acero rápido. Además, su diámetro reducido facilitó la generación de detalles finos en los moldes, asegurando un encaje exacto entre pieza y pieza.

Estas herramientas se emplearon durante el proceso de fabricación del material compuesto, destacando principalmente el uso de la espátula flexible de conformado. La espátula permitió distribuir de manera uniforme la masilla sobre la superficie, controlando el espesor y evitando acumulaciones de material, lo cual fue clave para dar forma al molde, ya que se adapta a superficies curvas y facilita el alisado progresivo, logrando una geometría más precisa.

Los elementos de protección personal utilizados durante el proceso de fabricación incluyeron guantes de nitrilo, mascarillas tipo respirador con filtro para partículas y vapores, gafas de seguridad y mandil de trabajo.

El uso de estos equipos de protección personal fue indispensable durante todas las etapas de manufactura, especialmente en el manejo de masillas y en las operaciones de lijado. Los guantes de nitrilo evitaron el contacto directo con sustancias químicas, mientras que las mascarillas protegieron las vías respiratorias frente a la exposición de polvo y compuestos volátiles generados durante el proceso. Por su parte, las gafas de seguridad previnieron el ingreso de partículas a los ojos, y el mandil de trabajo proporcionó protección adicional a la ropa y al cuerpo del operador frente a residuos y materiales utilizados durante la fabricación.

3) *Recursos técnicos y normativos*

- Reglamento oficial de la Shell Eco-marathon 2026, utilizado como base para definir restricciones de diseño y requisitos dimensionales del prototipo.
- Bibliografía científica especializada en materiales compuestos y diseño estructural, empleada para la selección de materiales.
- Infraestructura del laboratorio de manufactura y taller automotriz de la Universidad del Azuay, que permitió la ejecución de procesos como mecanizado CNC.

IV. METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque aplicado, con un diseño de carácter experimental orientado a la materialización del molde. El proceso metodológico se dividió en tres fases principales, abarcando desde el análisis normativo del reglamento de la Shell Eco-marathon 2026, el diseño conceptual y detallado, hasta la fabricación del molde mediante mecanizado CNC.

1) *Análisis normativo y definición de requerimientos*

Se realizó una revisión detallada del reglamento técnico de la competencia Shell Eco-marathon 2026 con el objetivo de identificar restricciones dimensionales, criterios de seguridad y requerimientos aplicables al diseño del prototipo. Cabe señalar que los aspectos normativos derivados de este análisis se presentan de manera detallada en el apartado de resultados. A partir de este análisis, los lineamientos establecidos fueron interpretados y transformados en especificaciones técnicas de diseño, las cuales sirvieron como base para el desarrollo conceptual y posterior modelado del monocasco.

2) *Diseño conceptual y modelado CAD*

Se desarrolló el modelo tridimensional del bastidor autoportante mediante herramientas CAD, específicamente Autodesk Inventor Professional 2023 y AutoCAD 2023, partiendo de un modelo base previamente elaborado por los miembros del equipo. En esta etapa se definieron la geometría general del monocasco, los puntos de anclaje para la suspensión y sistemas mecánicos y el espacio ergonómico destinado al piloto, considerando criterios de funcionalidad y seguridad.

Posteriormente, a partir del modelo digital, se generaron planos técnicos y archivos en formatos compatibles (stl, dwg, dxf) con procesos de manufactura asistida por computadora (CNC), facilitando la transición del diseño a la etapa de fabricación del molde.

3) *Fabricación del molde*

Fase 1: Diseño preliminar del prototipo

En esta fase se desarrolló el diseño preliminar del prototipo utilizando el Software CAD Autodesk Fusion 360, con el objetivo de establecer una primera aproximación de la geometría del monocasco, (Fig. 1). Esta etapa permitió visualizar de manera general la forma, dimensiones y distribución de los componentes, sirviendo como base para el posterior desarrollo del diseño detallado

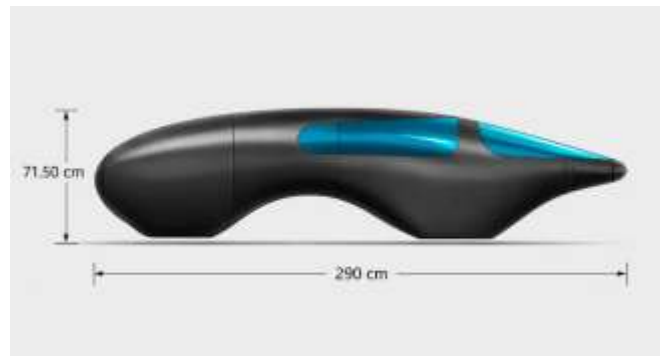


Fig. 1 Diseño del Prototipo

Fase 2: Generación de planos y seccionamiento del modelo

Una vez finalizada la etapa de diseño, se procedió a la generación de planos para manufactura mediante el uso del complemento Slicer for Fusion 360. Esta herramienta permitió transformar el modelo tridimensional en un conjunto de secciones fabricables, optimizadas para su corte CNC en material tipo "plywood".

Como parte de la configuración del proceso, se definió una estrategia de seccionamiento en dos direcciones ortogonales, (Fig. 2). En primer lugar, se establecieron cortes en el plano X-Z, generados de forma horizontal desde la base del prototipo hacia la parte superior, con un espaciamiento uniforme de 100 mm entre cada sección. Posteriormente, se configuraron cortes en el plano X-Y, en sentido vertical, manteniendo igualmente una separación de 100 mm entre cortes.

Estas configuraciones permitieron obtener una retícula estructurada de piezas que se ensamblan, facilitando tanto la fabricación mediante corte CNC como el posterior armado del molde, asegurando coherencia geométrica y precisión dimensional respecto al modelo digital original (Majofesa, n.d.).

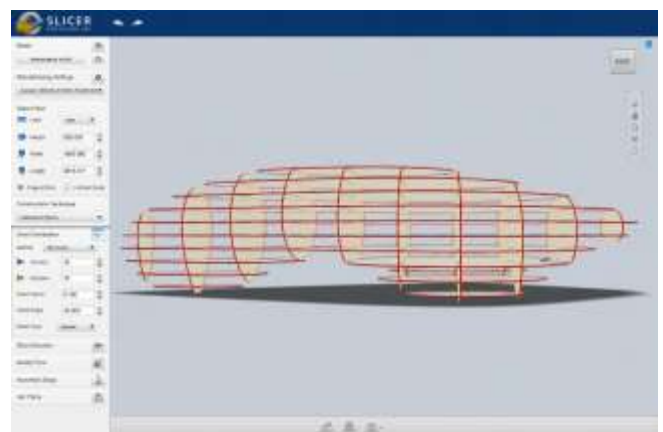


Fig. 2 Prototipo seccionado

Fase 3: Exportación y adecuación de planos para manufactura.

Una vez finalizado el proceso de seccionamiento, se procedió a la extracción y adecuación de los planos de corte, con el fin de ajustarlos a la escala real del prototipo y a las dimensiones comerciales del material (planchas de plywood). Para ello, los archivos generados en Slicer for Fusion 360 fueron exportados en formato DXF, (Fig. 3) que permitiendo su posterior edición en AutoCAD 2023.

En esta etapa se realizaron ajustes geométricos y de disposición, tales como la organización de piezas dentro del área útil de la lámina de madera, verificación de escala y optimización del aprovechamiento del material. Este proceso garantizó que los planos finales fueran compatibles con el mecanizado CNC y fieles a las dimensiones del modelo digital original.

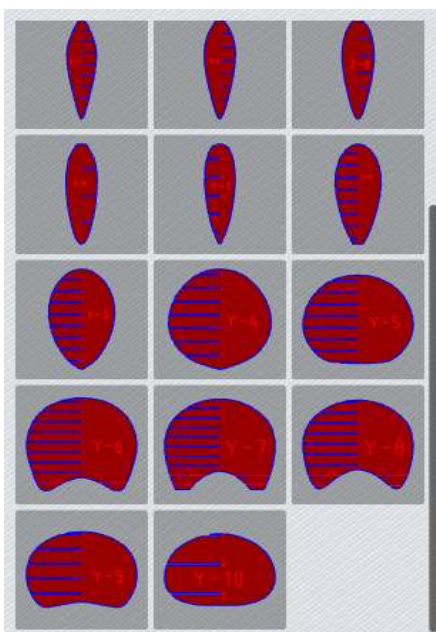


Fig. 3 Planos de corte

Fase 4: Configuración de mecanizado y corte CNC.

Una vez definidos los planos de corte, se procedió a la configuración de los parámetros de mecanizado, considerando las características de la herramienta y de la máquina CNC. En esta etapa se seleccionó una fresa tipo “end mil” de 4 mm de diámetro y se establecieron las dimensiones de la cama de trabajo, ajustando la disposición de las piezas al área útil de corte, (Fig. 4). Asimismo, se definieron parámetros básicos como trayectorias, profundidad de corte y secuencia de mecanizado, con el fin de garantizar precisión y eficiencia en el proceso (Cutr, 2024).

Posteriormente, se realizó el posicionamiento del material (planchas de plywood) en la máquina CNC y se ejecutaron las operaciones de corte correspondientes. Este proceso tuvo una duración aproximada de dos semanas, debido a la cantidad de piezas, el tiempo requerido por cada operación y la disponibilidad de la máquina, asegurando en todo

momento la calidad y fidelidad de las piezas respecto al diseño digital.



Fig. 4 Proceso de corte en enrutador CNC

Fase 5: Ensamblaje del molde seccionado

Concluido el proceso de corte, se procedió al ensamblaje del molde a partir de las piezas obtenidas. Inicialmente, se realizó la identificación y numeración de cada elemento, siguiendo la lógica de seccionamiento generada en Slicer for Fusion 360, con el fin de asegurar la correcta correspondencia entre piezas durante el armado.

El proceso de ensamblaje inició con la colocación de las secciones horizontales de mayor dimensión, las cuales sirvieron como base del conjunto. Posteriormente, se incorporaron las piezas verticales en las zonas frontal y posterior, permitiendo estabilizar la geometría del molde y facilitar la integración progresiva del resto de elementos, (Fig. 5). Las uniones se realizaron mediante ajuste a presión, garantizando la fijación temporal de las piezas y evitando desplazamientos durante la manipulación.

Este procedimiento permitió obtener un modelo físico con la geometría del diseño digital, asegurando alineación, estabilidad y continuidad superficial del prototipo previo a etapas posteriores.



Fig. 5 Ensamble de Piezas

Fase 6: Relleno y conformación del volumen del molde

Una vez consolidada la estructura de madera y verificada su correcta alineación, se procedió al relleno de los espacios internos mediante el uso de espuma de poliuretano expandible de alta densidad. Este material fue aplicado con el objetivo de ocupar los espacios generados entre las secciones, permitiendo conformar un volumen continuo y facilitar el posterior trabajo de modelado superficial.

La aplicación de la espuma se realizó de manera controlada y uniforme, asegurando la completa ocupación de cavidades y evitando la formación de vacíos internos, (Fig. 6). Este aspecto es crítico, ya que la presencia de huecos puede generar discontinuidades durante las etapas de corte, lijado y conformado, afectando la calidad del acabado superficial y la precisión geométrica del molde.

Una vez expandido y curado el material, se obtuvo una base sólida y homogénea, adecuada para las operaciones posteriores de desbaste y definición de la forma final del monocasco.



Fig. 6 Relleno de Espuma Expandible

Fase 7: Desbaste y conformado superficial del molde

Para garantizar un relleno completo, se recomienda aplicar una cantidad suficiente de espuma expandible, incluso permitiendo que sobresalga del volumen del molde. Una vez finalizado el proceso de expansión y curado del material, se procedió al desbaste del excedente mediante el uso de herramientas de corte manual, como cuchillas o cuchillos.

En esta etapa se realizó el conformado de la geometría final del prototipo, eliminando el material sobrante y ajustando progresivamente la forma del monocasco, (Fig. 7). Este proceso requiere especial cuidado en la definición de curvas y transiciones, procurando mantener la simetría y continuidad superficial, ya que estas condiciones son fundamentales para las etapas posteriores de acabado, como la aplicación de masilla y el refinamiento de la superficie.



Fig. 7 Modelado del prototipo

Fase 8: Aplicación de masilla y acabado superficial

Una vez definida la geometría del prototipo, se procedió a la aplicación de masilla para superficies exteriores, sobre toda la superficie, con el objetivo de consolidar un solo cuerpo continuo, firme y homogéneo que funcione como molde, (Fig. 8). Este recubrimiento permitió cubrir imperfecciones, sellar porosidades y mejorar la calidad superficial del conjunto.

La masilla fue aplicada de manera uniforme en toda la superficie, procurando mantener un espesor controlado y evitando acumulaciones irregulares.



Fig. 8 Masillado del prototipo

Fase 9: Lijado y refinamiento del acabado superficial.

Para el acondicionamiento final de la superficie, se emplearon máquinas de lijado, mediante un proceso progresivo de abrasión. Este consistió en la realización de múltiples pasadas utilizando lijas de diferente granulometría, iniciando con granos gruesos para el desbaste inicial y disminuyendo gradualmente hacia granos finos para el acabado, (Fig. 9).

Este procedimiento permitió eliminar irregularidades, nivelar la superficie y mejorar la calidad del acabado hasta obtener una textura lisa y uniforme al tacto. Es importante destacar que el proceso de lijado se realizó de forma progresiva, repitiendo las etapas necesarias hasta corregir completamente imperfecciones, logrando así un acabado de alta calidad adecuado para su uso como molde.



Fig. 9 Lijado del molde

Fase 10: Aplicación de fondo y sellado superficial

Culminado el proceso de lijado, se procedió a la aplicación de una capa de pintura de fondo la cual fue rociada utilizando una pistola de pintura alimentada por gravedad. Para ello, se preparó una mezcla adecuada de fondo sellador, la cual fue aplicada de manera uniforme sobre toda la superficie del prototipo, (Fig. 10).

El objetivo de esta etapa fue sellar la superficie, cubrir micro imperfecciones generadas durante el lijado de la masilla y obtener un acabado externo continuo y homogéneo. Esta capa permitió evidenciar posibles defectos residuales y mejorar la calidad superficial del molde, dejándolo en condiciones óptimas desde el punto de vista estético y geométrico.



Fig. 10 Aplicación de fondo

4) Verificación preliminar

El bastidor autoportante fue acoplado al sistema del prototipo. Se verificaron dimensiones y alineación. Se evaluó el cumplimiento de requisitos estructurales mínimos establecidos por la competencia de Shell Eco Marathon 2026.

V. RESULTADOS

Los resultados evidencian que el proceso de manufactura permitió obtener una geometría precisa y coherente con el modelo digital.

Se comprobó que el uso de mecanizado CNC reduce significativamente errores dimensionales respecto a métodos manuales.

Esto demuestra la viabilidad del uso de materiales accesibles en el desarrollo de moldes estructurales.

1) Análisis normativo y definición de requerimientos

A partir de la revisión del reglamento técnico se definieron las principales restricciones de diseño, incluyendo dimensiones máximas del vehículo, condiciones de seguridad del piloto, requisitos de visibilidad y acceso.

Este análisis permitió establecer especificaciones técnicas claras que guiaron el desarrollo geométrico y del prototipo, que se lo puede visualizar en el (Anexo A).

2) Diseño conceptual y modelado del bastidor

Se desarrolló el modelo tridimensional del bastidor autoportante mediante Autodesk Inventor Professional 2023, Autodesk Fusion 360 y AutoCAD 2023.

Como resultado se obtuvo:

- Geometría completa del monocasco.
- Configuración ergonómica del piloto.
- Planos técnicos y archivos compatibles con mecanizado CNC.

El diseño permitió una adecuada distribución estructural, priorizando bajo peso y continuidad geométrica.

3) Fabricación del molde

Se fabricó el molde del monocasco mediante corte CNC en plywood, utilizando archivos generados con Slicer for Fusion 360.

El proceso permitió:

- Materializar la geometría externa del prototipo mediante seccionamiento.
- Generar una estructura ensamblable tipo retícula.
- Conformar el volumen mediante relleno con espuma de poliuretano.
- Obtener una superficie continua mediante masillado, lijado y aplicación de fondo.

El molde final presentó una geometría estable, con continuidad superficial adecuada para procesos posteriores.

4) Verificación y ensamblaje preliminar

Se realizó una verificación preliminar del molde fabricado, comprobando:

- Correspondencia geométrica con el modelo CAD.
- Alineación de las secciones estructurales.
- Continuidad y simetría de la superficie.

Los resultados evidencian que el proceso de diseño y manufactura permitió obtener un molde funcional y coherente con los requerimientos establecidos.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se cumplió satisfactoriamente el objetivo principal del proyecto mediante el diseño y manufactura del molde del bastidor autoportante para el prototipo de la competición Shell Eco-marathon 2026.

El análisis del reglamento técnico permitió establecer criterios fundamentales de diseño, garantizando el cumplimiento de los requisitos estructurales, dimensionales y de seguridad exigidos por la competencia.

El uso de herramientas CAD fue clave para la optimización del diseño, permitiendo una adecuada definición geométrica y reducción de errores previos a la fabricación.

El mecanizado CNC demostró ser una alternativa eficiente debido a su precisión y capacidad para materializar el diseño digital. Esto se verificó mediante mediciones realizadas en puntos críticos del molde, evidenciando una adecuada exactitud dimensional respecto al modelo CAD.

El uso de materiales como plywood, espuma de poliuretano y masilla permitió desarrollar un molde funcional de bajo costo, adecuado para aplicaciones académicas.

El proceso de fabricación permitió obtener una superficie continua, uniforme y apta para etapas posteriores de producción.

Mantener una revisión continua de las actualizaciones del reglamento técnico de la competencia para asegurar el cumplimiento de los requisitos establecidos en futuras etapas del proyecto.

Implementar estrategias de mecanizado CNC optimizadas y seleccionar herramientas de corte adecuadas para disminuir tiempos de fabricación y mejorar el acabado superficial.

Aplicar procesos adicionales de acabado superficial y control dimensional que permitan mejorar la calidad estética y funcional del molde final.

VII. REFERENCIAS

- [1] R. F. Gibson, "PRINCIPLES OF COMPOSITE MATERIAL MECHANICS, FOURTH EDITION", *Principles of Composite Material Mechanics, Fourth Edition*, pp. 1–657, ene. 2016, doi: 10.1201/B19626/PRINCIPLES-COMPOSITE-MATERIAL-MECHANICS-RONALD-GIBSON/RIGHTS-AND-PERMISSIONS.
- [2] Shell Eco-marathon, "Global Rules & Regulations". Consultado: el 2 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en:

- [3] Autodesk, "Productos de Autodesk". Consultado: el 2 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.autodesk.com/latam/products?mktvar002=5656975|SEM|23701733658|201709453384|kwd-12548870&utm_source=GGL&utm_medium=SEM&utm_campaign=GGL_DEC_Autodesk_AMER_EC_eComm_SEM_BR_New_EX_0000_5656975_&utm_id=5656975&utm_term=kwd-12548870&gad_source=1&gad_campaignid=23701733658&gbraid=0AAAAADx7pE3ydGGxJ9Cuv6TOvYyKz0eEU&gclid=CjwKCAjw5NvPBhAoEiwA_2egfp15Fbx3YWNCEjDj-6sqhwBNHlb-qFm2HEFf8x9LYMkYcQiQFqAxMBoCSYwQAvD_BwE
- [4] Chanta Group, "Melamine board/plywood". Consultado: el 2 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.chantawood.com/product/melamine-board-plywood/?utm_source=googleads&vt_keyword=&gad_source=1&gad_campaignid=23651780804&gbraid=0AAAAADHc1Uo8jj3Dms9cpK4UGesIIaE-8&gclid=CjwKCAjw5NvPBhAoEiwA_2egfs_rOV2PEeU4X3H3eKXYj2u8n6bncnLBIBQcrZdlCsMkS-X9Bqnu3RoC2I0QAvD_BwE
- [5] Cutr, "The complete guide to CNC wood cutting: What you need to know". Consultado: el 2 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.cutr.com/articles/the-complete-guide-to-cnc-wood-cutting-what-you-need-to-know>
- [6] S. S. Dol, "Design and Development of a Prototype Vehicle for Shell Eco-Marathon", *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, vol. 10, núm. 3, pp. 546–552, feb. 2016, doi: 10.5281/ZENODO.1339177.
- [7] Tokio Design, "Masillas y masillado". Consultado: el 2 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.tokiodesign.com/blog/sobre-masillas-y-masillado>
- [8] Majofesa, "Plywood". Consultado: el 2 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.majofesa.com/tablon-de-madera/plywood/>
- [9] NB Autos, "El Proceso de Masillado en la Reparación de Carrocería". Consultado: el 2 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://nbautos.cl/2025/02/20/el-proceso-de-masillado-en-la-reparacion-de-carroceria/>

1. Anexo A



Fig. 11 Ensamble de prueba



Fig. 12 Ensamble de piezas



Fig. 13 Colocación de Espuma



Fig. 14 Geometría en Espuma expandible



Fig. 15 Detallado de molde



Fig. 16 Masillado del molde



Fig. 17 Lijado del molde



Fig. 18 Prototipo Final