



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño de chasis para un
vehículo eléctrico**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Ernesto Jesús Ibáñez Rosas

DIRECTOR DE TESIS

M. en I. Antonio Zepeda Sánchez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2026



PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL

(Titulación con trabajo escrito)



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado DISEÑO DE CHASIS PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO que presenté para obtener el título de INGENIERO MECÁNICO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

ERNESTO JESUS IBAÑEZ ROSAS

Número de cuenta: 307056193

Agradecimientos

A mi familia

Gracias por su ayuda incondicional

A los profesores

Antonio Zepeda Sánchez

Mariano García del Gállego

Edgar Isaac Ramírez Díaz

Gracias por su confianza

A la Facultad de Ingeniería

A la UNAM

Gracias

Introducción y objetivo

En la Ciudad de México hay más de 6 millones de vehículos de motor circulando por las calles [El Economista, 2024]¹, saturando la infraestructura de la ciudad en horas determinadas y complicando la movilidad, incluso de personas que no se transportan en automóvil.

La saturación de las vialidades agrava la emisión de gases de efecto invernadero, aumentando la emisión de calor generado por los motores de combustión interna, además del exceso de ruido.

Por lo anterior resulta importante desarrollar vehículos específicamente pensados para entornos urbanos, agilizando los traslados por su tamaño reducido y que disminuyan las emisiones producto de la combustión.

El presente trabajo aborda el problema anterior, diseñando en paquetería CAD un chasis para un vehículo eléctrico, se analizan las regulaciones mexicanas, así como diversas fuentes de información, de este modo se consigue un punto de referencia en el diseño.

El objetivo es diseñar un alma para un chasis automotriz, capaz de alcanzar un factor de seguridad de 8 como mínimo en las pruebas estáticas de resistencia a la flexión y a la torsión, también debe cumplir la normativa NOM y NMX aplicable.

En el capítulo 1 se presenta información que le permite al lector comprender los aspectos más básicos que se deben considerar en el diseño de un chasis.

El capítulo 2 consiste en mostrar información relevante relacionada con el diseño de un chasis automotriz, generar un modelo conceptual y con paquetería de elemento finito realizar pruebas de torsión y flexión.

En el capítulo 3 se presenta el diseño de configuración del chasis, dividido en dos partes, en la primera parte se diseña el chasis de patineta con un perfil construido con tres láminas dobladas y soldadas. En la segunda parte se agrega una jaula antivuelco al chasis de patineta y con paquetería de elemento finito se analiza la resistencia a la torsión y a la flexión de los Modelos de configuración 1 y 2.

Contenido

Capítulo 1 Marco Teórico	4
1.1 El chasis automotriz	4
1.2 Propiedades del chasis automotriz.....	8
Capítulo 2 Diseño conceptual	12
2.1 Búsqueda de información	13
2.2 Modelo CAD diseño conceptual	18
Capítulo 3 Diseño de configuración.....	26
3.1 Primer paso del diseño de configuración.....	26
3.2 Segundo paso del diseño de configuración.....	31
3.3 Análisis de resultados	32
Bibliografía.....	38
Anexos.....	43

Capítulo 1 Marco Teórico

1.1 El chasis automotriz

Es una estructura metálica donde se conectan los demás sistemas y elementos que componen al automóvil, sus características determinan el comportamiento del vehículo. A través de los años el chasis automotriz ha evolucionado, adaptándose a los requerimientos de seguridad y desempeño, así como a los nuevos materiales.

En la Figura 1.1 se muestra el Citroën® Traction Avant, este automóvil se presentó en 1934 y estableció una evolución en el mundo automotriz con una carrocería completamente fabricada con chapas de acero estampadas.



Figura 1.1 Carrocería del Citroën® Traction Avant. [Crolla, 2009]²

Tipos de chasis automotrices

Chasis de escalera

Es el más antiguo, aún se puede encontrar en Pick-up, camiones y autobuses. Conformado por dos largueros y varios travesaños como se muestra en la Figura 1.2.



Figura 1.2 Chasis automotriz tipo escalera [motor.es, 2020]³

Chasis de plataforma

Es un chasis formado por chapas metálicas, como se muestra en la imagen superior de la Figura 1.3, tiene un diseño más elaborado comparado con el chasis de escalera.

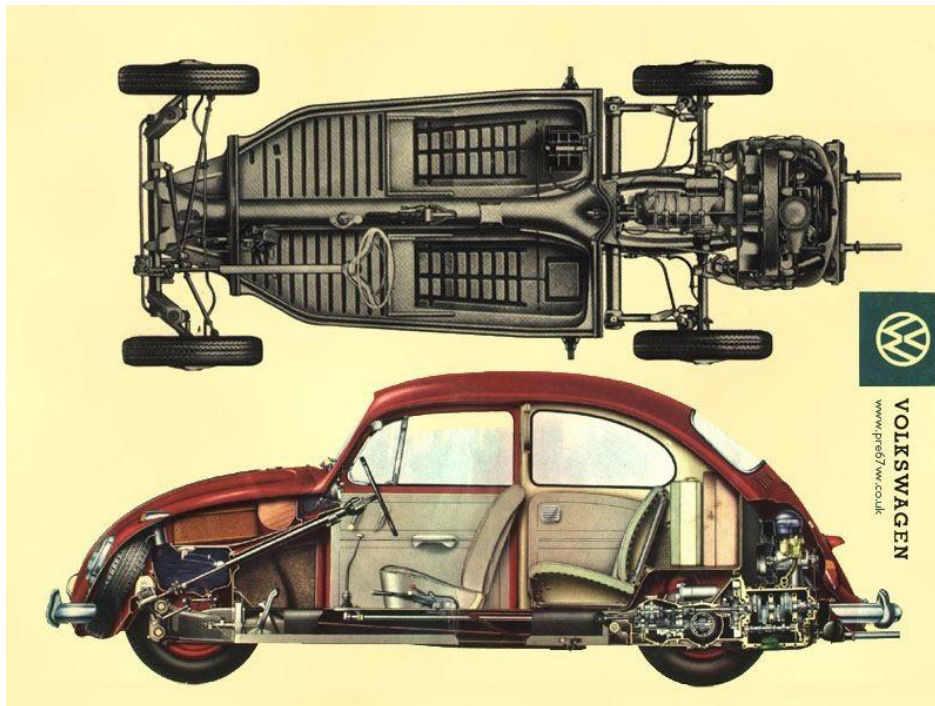


Figura 1.3 Chasis de plataforma [https://i.pinimg.com, 2026]⁴

Chasis monocasco

Actualmente es el más utilizado, integra al chasis y los paneles internos de la carrocería en una estructura, tiene buen balance entre peso, rigidez, estabilidad y seguridad. Esta construido con chapas metálicas como se puede observar en la Figura 1.4.



Figura 1.4 Chasis monocasco [<https://static.retail.autofact.cl>, 2020]⁵

Chasis tubular

Construido con tubos redondos, unidos mediante soldadura, tiene alta rigidez.

Utilizado en vehículos de tareas utilitarias UTV, tal como se muestra en la Figura 1.5.



Figura 1.5 Chasis tubular del Ariel® Nomad [Ariel, 2020]⁶

Chasis de patineta

Un modelo muy popular en los vehículos eléctricos actuales, en su interior se resguardan la batería y los motores. Como se observa en la Figura 1.6 el chasis se acopla a la carrocería.



Figura 1.6 Chasis de patineta de GM® [Motortrend, 2000]⁷

Chasis de batería estructural

El paquete de baterías está acoplado al chasis y aumenta la rigidez del vehículo, su carcasa estructural está diseñada para aumentar la rigidez del conjunto batería-chasis, como se muestra en la Figura 1.7.

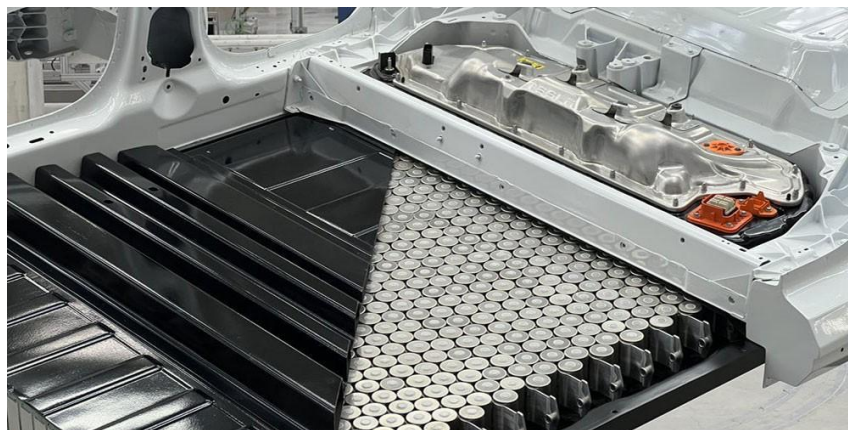


Figura 1.7 Chasis de batería estructural [Tesla®, 2020]⁸

1.2 Propiedades del chasis automotriz

Rigidez del chasis automotriz

El módulo de elasticidad E es una medida de la rigidez de un material, determinado por la pendiente de la parte lineal de la curva esfuerzo-deformación. Es la relación del cambio entre el esfuerzo y la deformación.

Matemáticamente definido como:

$$E = \frac{\text{esfuerzo}}{\text{deformación}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \text{ [GPa]}$$

Un material que tiene una pendiente más pronunciada en su curva esfuerzo-deformación será más rígido y se deformará menos bajo la misma carga que uno de pendiente menos pronunciada, en la Figura 1.8 se muestran curvas esfuerzo-deformación para distintos metales.

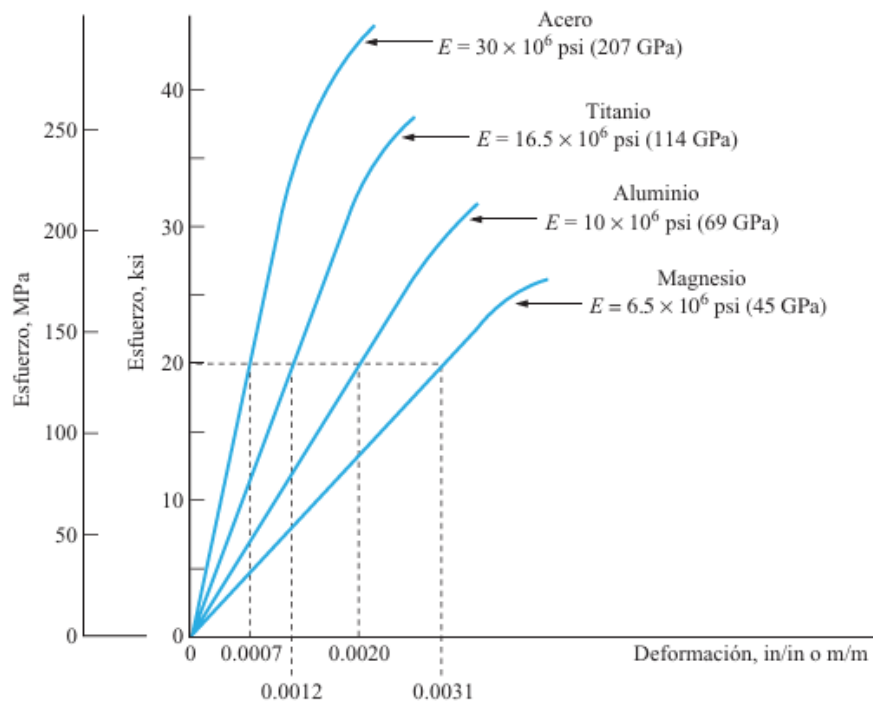


Figura 1.8 Curvas esfuerzo-deformación para distintos metales. [Mott, 2008]⁹

El chasis de un automóvil debe ser una estructura rígida, muy resistente a la torsión y a la flexión, que soporte el peso de todos los sistemas y elementos que conforman al automóvil, de sus ocupantes y del equipaje. Se encuentra sometido a cargas aplicadas por los elementos de la suspensión debido a la interacción de los neumáticos con el suelo, además de cargas dinámicas durante el manejo. El chasis se encuentra sometido a vibraciones inducidas por el motor y también por las condiciones del camino. Todos los elementos y sistemas que conforman el vehículo deben permanecer en su posición en todo momento para garantizar un correcto funcionamiento.

Los requerimientos básicos de cualquier estructura vehicular de acuerdo con el autor [Barton, 2018]¹⁰ son las siguientes:

- Debe ser lo suficientemente rígida para resistir las cargas estáticas y cargas dinámicas sin sufrir deformaciones.
- Debe ser resistente para soportar muchos ciclos de carga sin presentar fatiga en los elementos que la conforman.
- Debe deformarse de tal manera que bajo condiciones de impacto minimice el riesgo de lesiones para los ocupantes y otros usuarios de la vía.

El trabajo inicial para el diseñador de estructuras vehiculares es asegurarse que el primer requerimiento se cumpla, lo anterior depende de la configuración estructural y determina cómo se comporta el automóvil durante la conducción.

Es necesaria una rigidez elevada en el chasis automotriz para garantizar que la deformación sea mínima y así disminuir la posibilidad de fallas que comprometan la integridad del automóvil y de sus ocupantes.

Rigidez a la flexión del chasis

La rigidez a la flexión K_f se define como la relación entre una carga aplicada en el centro de la distancia entre ejes y la deformación en ese mismo punto de acuerdo con el autor [Genta, 2009]¹¹. Alcanzar valores aceptables no es difícil si se cuida el diseño de la estructura, en vehículos muy largos es más complicado.

Utilizando la ecuación (1.1) tal como la define el autor [Zhong, 2022]¹², se calcula la rigidez a la flexión.

$$K_f = - \frac{4Fb}{\Delta lb + \Delta rb} \left[\frac{N}{m} \right] \dots (1.1)$$

Donde:

K_f = Rigidez a la flexión.

F_b = Fuerza aplicada.

Δ_{lb} = desplazamiento máximo izquierdo.

Δ_{rb} = desplazamiento máximo derecho.

Rigidez a la torsión del chasis

De acuerdo con el autor [Genta, 2009]¹¹ la rigidez a la torsión K_t se define como la relación entre un par de torsión aplicado al chasis en la zona del eje delantero y la rotación resultante.

Tal como lo define el autor [Wikarta, 2020]¹³, utilizando la ecuación (1.2) se calcula la rigidez a la torsión.

$$K_t = \frac{\text{Par}}{\text{ángulo de giro}} \left[\frac{Nm}{^\circ} \right] = \frac{F * L}{0.5 * (\Phi_d + \Phi_p)} \left[\frac{Nm}{^\circ} \right] \dots (1.2)$$

Donde:

$$\Phi_d = \tan^{-1} \left(\frac{V_d}{L/2} \right)$$

$$\Phi_p = \tan^{-1} \left(\frac{V_p}{L/2} \right)$$

Donde:

F = fuerzas verticales.

L = distancia entre los puntos de aplicación de la fuerza.

Φ_d = ángulo de giro en el chasis del lado de conductor.

Φ_p = ángulo de giro en el chasis del lado del pasajero.

V_d = desplazamiento vertical en la zona izquierda de aplicación del par.

V_p = desplazamiento vertical en la zona derecha de aplicación del par.

Factor de seguridad

Un miembro sometido a carga falla cuando se deforma o se rompe, lo que lo hace inaceptable para el propósito para el cuál fue diseñado. Por ello es esencial que el nivel de esfuerzo aplicado nunca exceda la resistencia a la cedencia del material.

El esfuerzo de diseño es ese nivel de esfuerzo que puede desarrollarse en un material al mismo tiempo que se garantiza que el miembro es seguro.

Para calcular el esfuerzo de diseño, dos factores deben ser especificados: el factor de diseño N y las propiedades del material utilizado en el diseño.

El factor de diseño N es un número entre el cual se divide la resistencia reportada de un material para obtener el esfuerzo de diseño σ_d .

Se utilizan las siguientes ecuaciones para calcular el esfuerzo de diseño para un cierto valor de N:

$$\sigma_d = \frac{s_y}{N} \text{ [MPa]} \quad \text{basado en resistencia a la cedencia.}$$

$$\sigma_d = \frac{s_u}{N} \text{ [MPa]} \quad \text{basado en resistencia máxima.}$$

Donde:

s_y = Resistencia a la cedencia de un material.

s_u = Resistencia máxima a la tensión de un material.

En la Tabla 1 se muestran los valores adecuados para el factor de seguridad según el tipo de carga que se le aplique a un elemento.

Forma de carga	Material dúctil	Material frágil
Estática	$\sigma_d = S_u/2$	$\sigma_d = S_u/6$
Repetida	$\sigma_d = S_u/8$	$\sigma_d = S_u/10$
Impacto o choque	$\sigma_d = S_u/12$	$\sigma_d = S_u/15$

Tabla 1 Factor de seguridad [Mott, 2008]⁹

Todos los conceptos revisados en el capítulo 1 son de utilidad para tener un punto de referencia en el diseño de un chasis automotriz, además ya se ha mencionado que en la CDMX son necesarios autos pequeños que no emitan gases contaminantes. Conjugando todos estos conceptos se propone un chasis para un automóvil eléctrico en el capítulo 2.

Capítulo 2 Diseño conceptual

El proceso de diseño utilizado en el presente trabajo se fundamenta en los autores [Ulrich, 2020]¹⁴ y [Dieter, 2020]¹⁵, dividiéndose en dos etapas para facilitar el diseño de un perfil con el cual se construya el chasis.

La primera etapa está enfocada en el diseño conceptual y comienza con la identificación de la necesidad y búsqueda de información en libros, artículos académicos, patentes y tesis, posteriormente se muestra un modelo conceptual, así como pruebas de torsión y flexión.

En la segunda etapa del proceso de diseño se presenta un Modelo de configuración, esta etapa se muestra en el capítulo 3.

Primera etapa del proceso de diseño

Identificación de la necesidad

La mayor parte de traslados en automóvil se realizan en vehículos de 4 asientos tripulados por 1 o 2 personas. Se requiere un automóvil de dos asientos en el que se puedan realizar traslados cortos.

Requerimientos

El chasis debe cumplir con la normativa vigente para circular en la CDMX.

Fabricación con lámina calibre 18 y métodos convencionales para facilitar la construcción y reducir costos.

2.1 Búsqueda de información

Productos existentes.

Existen una gran cantidad de automóviles biplaza que representan una solución potencial al problema que se busca resolver en el presente trabajo. A continuación, se muestra dos modelos relevantes.

Microlino®

Es un vehículo biplaza eléctrico, mostrado en la Figura 2.1, con autonomía de 228 [km] enfocado en la movilidad urbana, con un peso de 496 [kg].



Figura 2.1 Microlino® [Microlino, 2025]¹⁶

XEV® YOYO

Es un vehículo eléctrico para dos pasajeros, mostrado en la Figura 2.2, con autonomía de 150 [km] y tiene un peso de 520 [kg].



Figura 2.2 YOYO [XEV®, 2025]¹⁷

Los modelos mencionados en la Figura 2.1 y en la Figura 2.2 tienen características similares, velocidad máxima por debajo de los 100 [km/h], autonomía mayor a 150 [km], son para dos personas y tienen un peso cercano a los 500 [kg].

Información de reglamentos de asociaciones

Al analizar los reglamentos de diseño de las asociaciones [Baja 1000®, 2025]¹⁸ y [Dakar Classic®, 2025]¹⁹, se observa que existen similitudes, el tubo requerido para vehículos con un peso superior a los 2000 [kg] es de 50.8 [mm] de diámetro con un espesor de pared de 1.651 [mm], fabricado con acero 4130. Además de ciertas reglas geométricas y dimensionales que deben cumplirse para poder competir en la categoría seleccionada.

Debido a que el acero 4130 es un requerimiento en la construcción de vehículos para las competencias [Baja 1000®, 2025]¹⁸ así como [Dakar Classic®, 2025]¹⁹ y que en el software se cuenta con el material, en el presente trabajo se decide utilizar dicho material en el modelo CAD, de este modo poder simular condiciones de flexión y torsión.

Las propiedades en el software del acero 4130 se muestran en la Figura 2.3.

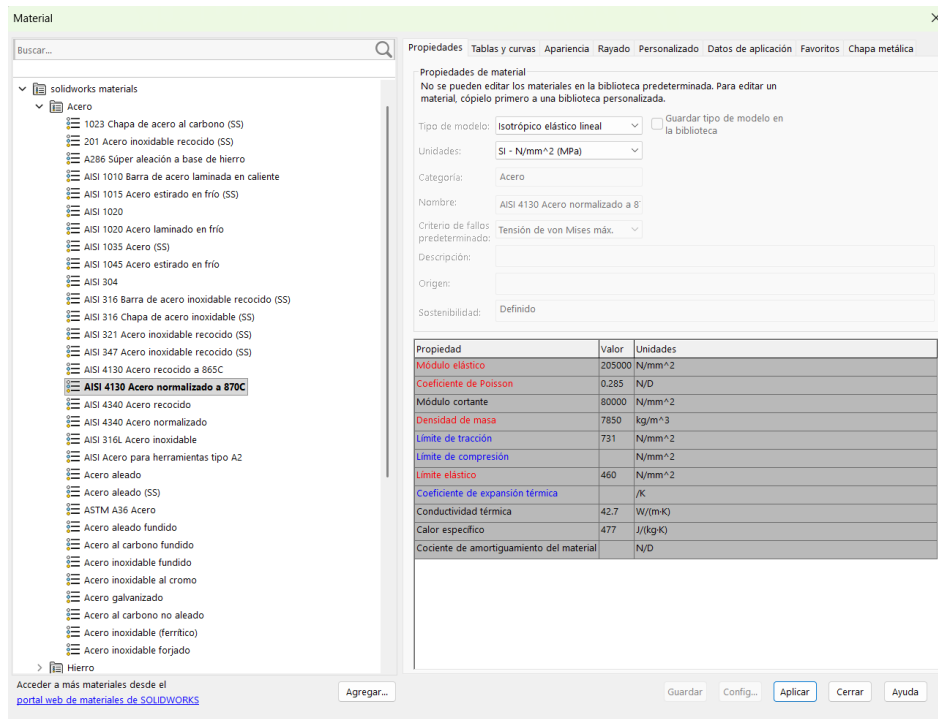


Figura 2.3 Propiedades del acero 4130

Normativa mexicana vigente

En México las principales normas que contienen información sobre la construcción de un chasis vehicular son [NOM-068 SCT-2-2014, 2014]²⁰ y [NMX-D 228-SCFI 2015, 2015]²¹. Estas normas se limitan a establecer que un chasis automotriz debe ser construido con dos largueros.

La normativa mexicana vigente no da paso a la homologación de vehículos con chasis fabricado con tubos ya que como se mencionó anteriormente el único requerimiento para construir un chasis es que este conformado por dos largueros. La norma tiene nula información sobre requerimientos geométricos y/o dimensionales de los elementos que conforman el chasis, dejando el trabajo al diseñador.

Información obtenida de empresas

La última tendencia en diseño automotriz proviene de China, la empresa fabricante de baterías CATL®, desarrolló un chasis de patineta, mostrado en la Figura 2.4, muy resistente y capaz de adaptarse a distintas carrocerías.

Este tipo de chasis resulta particularmente interesante debido a que dentro de una sola estructura están alojados distintos componentes como la batería y el motor, permitiendo adaptar carrocerías distintas al chasis.

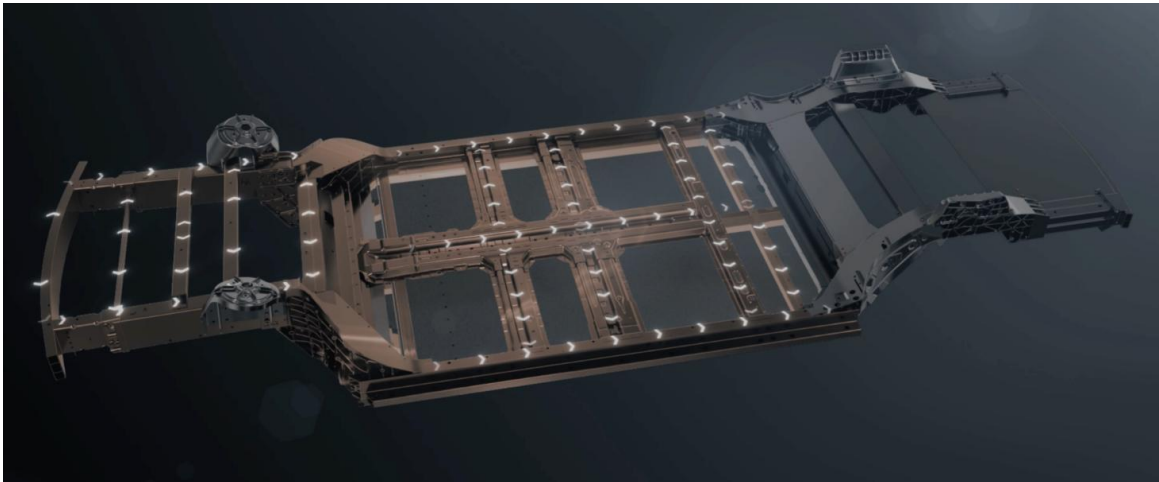


Figura 2.4 CATL® Bedrock [Inside China auto, 2024]²²

Patentes y artículos

Al revisar patentes de distintos países es posible encontrar una especialmente interesante. El autor [Belingardi, 2023]²³ muestra la sección transversal de algunos de los perfiles utilizados en el monocasco del Tesla® Model Y, representados en la Figura 2.5. Se aprecia una construcción de chasis combinando perfiles extruidos con perfiles estampados. Esta y otras patentes de la marca han sido liberadas al público.

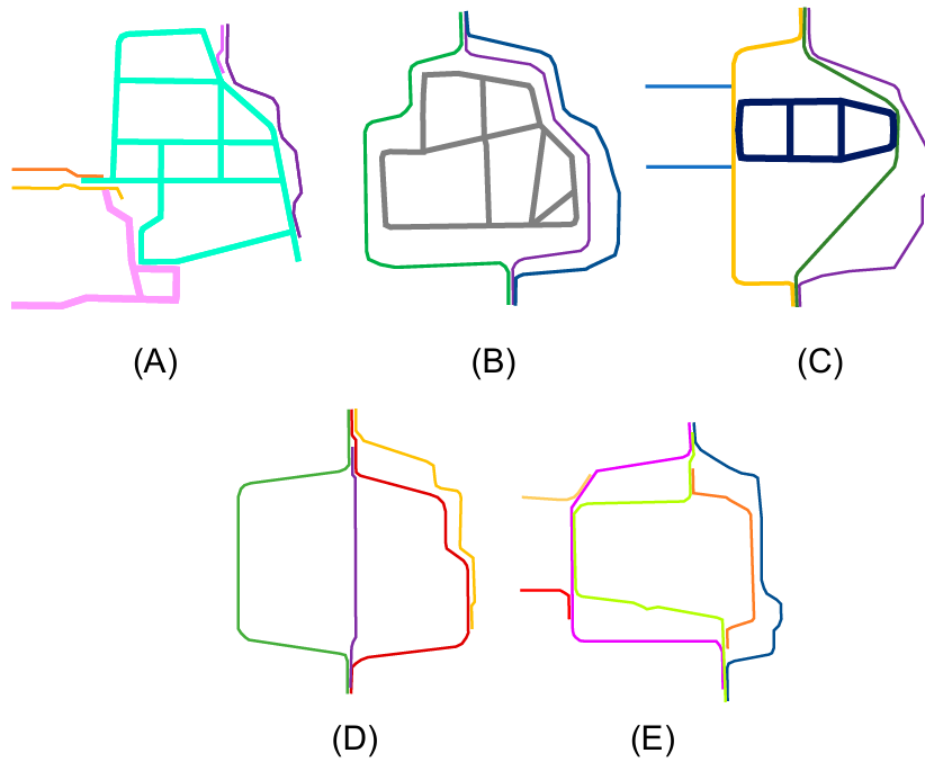


Figura 2.5 Perfiles utilizados en Tesla® Model Y

El autor [Muraoka, 1993]²⁴ muestra la sección transversal de un perfil, representado en la Figura 2.6, utilizado por Honda® para los largueros del chasis de un automóvil deportivo.

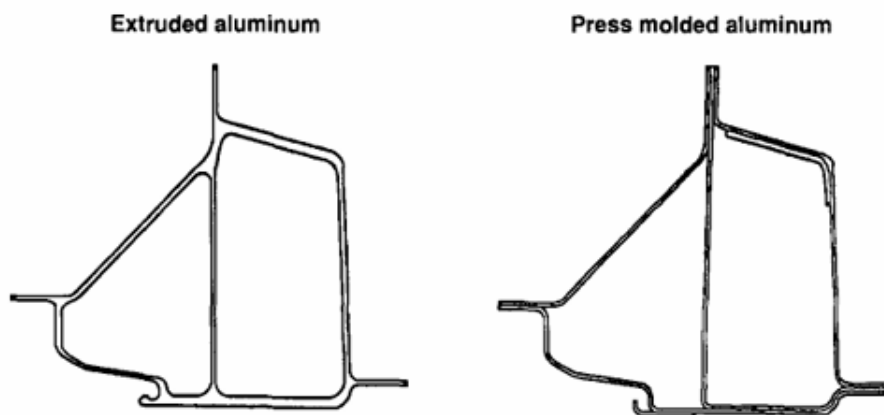


Figura 2.6 Perfil utilizado en Honda® NSX

En la Figura 2.7 se muestra un chasis para el prototipo de un vehículo eléctrico presentado en un congreso de la Sociedad de Ingenieros Automotrices SAE® en Brasil por el autor [Cervieri, 2018]²⁵.

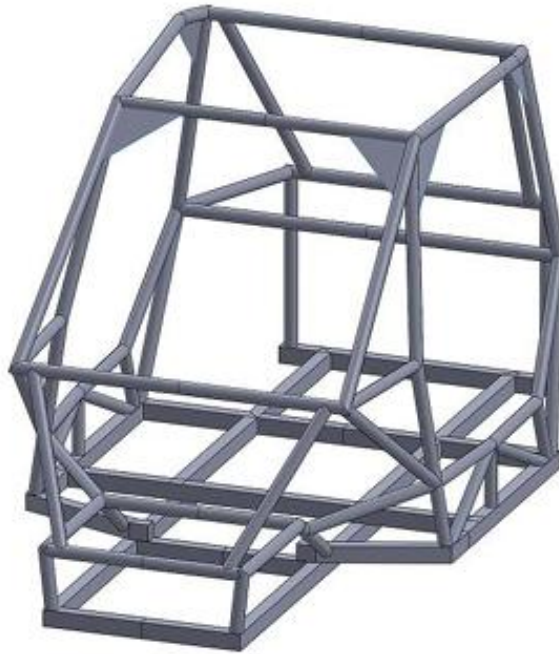


Figura 2.7 Chasis para vehículo eléctrico

2.2 Modelo CAD diseño conceptual

En esta sección se propone un diseño conceptual y se estudia el comportamiento de los elementos que conforman el chasis.

La propuesta consiste en un chasis de patineta plano construido con perfiles C, como se muestra en la Figura 2.8, este tipo de chasis está reforzado por travesaños en la zona de baterías y placas que funcionan como tapas, aportando resistencia a la flexión y a la torsión del conjunto, estos últimos elementos se descartan porque el diseño para este trabajo consiste en un alma del chasis que soporte cargas elevadas.

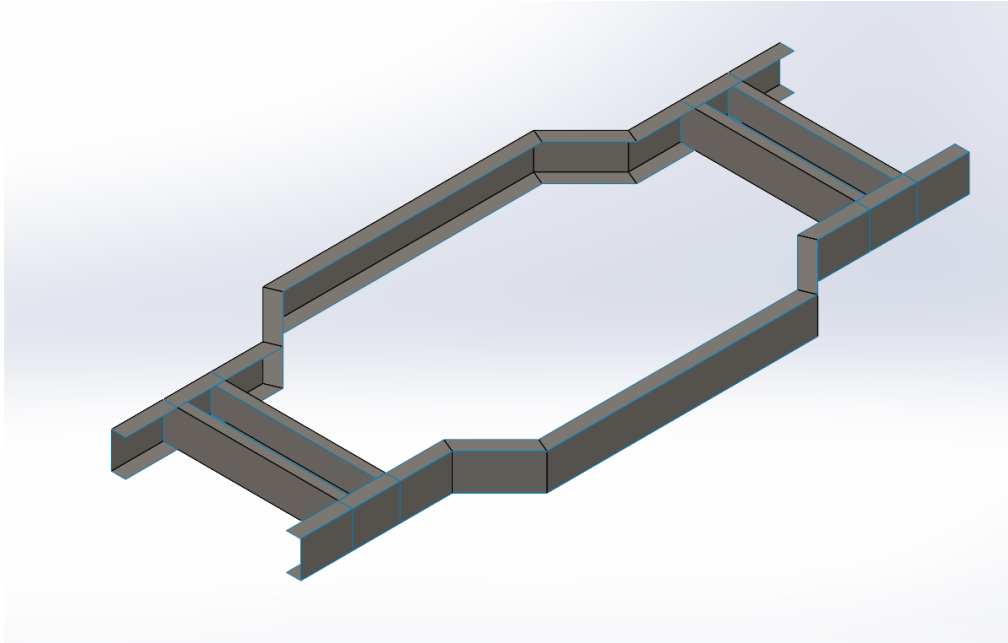


Figura 2.8 Chasis de diseño conceptual

Las dimensiones del chasis de diseño conceptual se muestran en la Figura 2.9, todas las dimensiones son en [mm]. Se utilizó como referencia las dimensiones del chasis que se presenta en la Figura a.5 en la página 47.

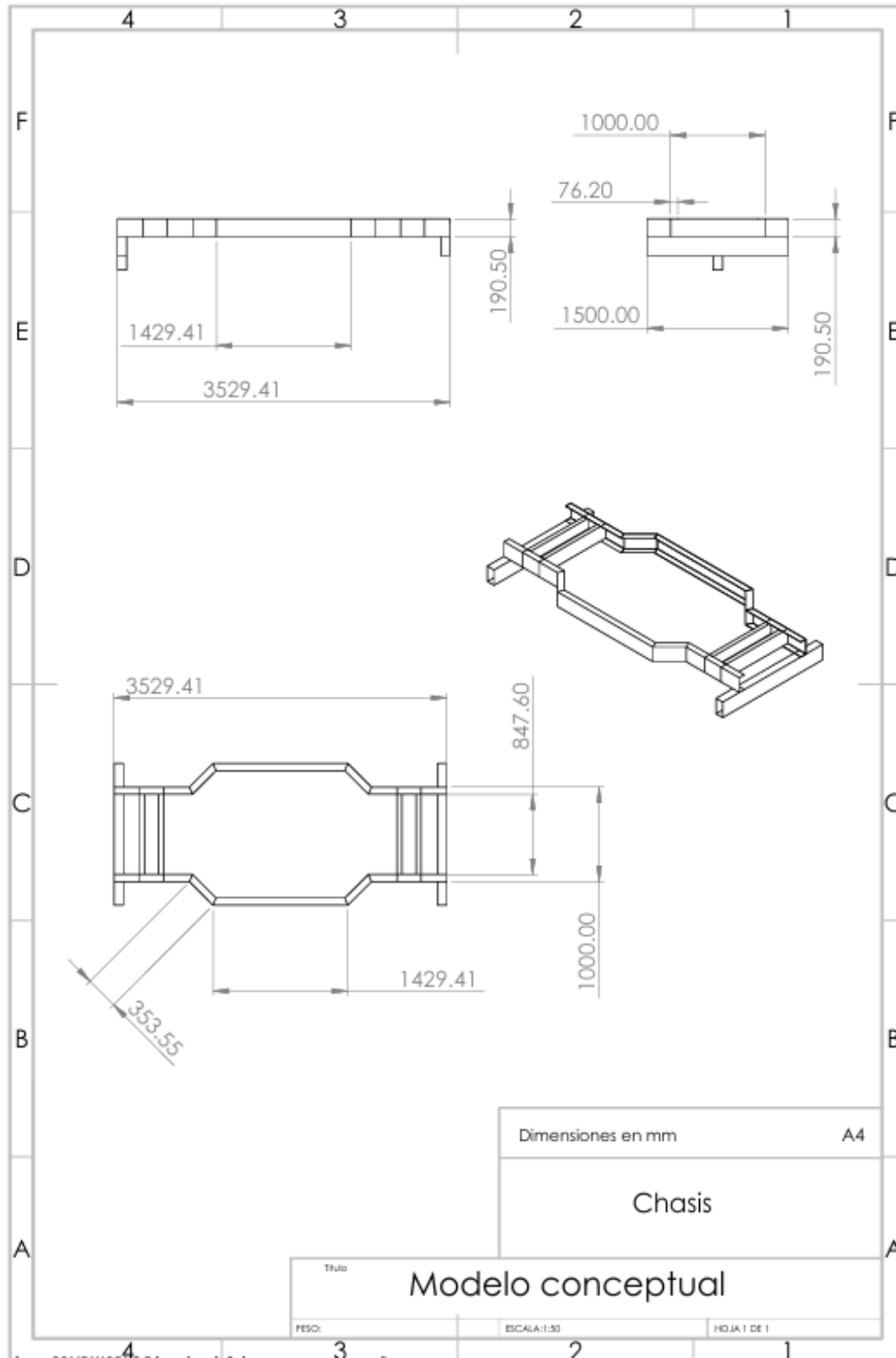


Figura 2.9 Dimensiones chasis diseño conceptual

Para realizar los estudios estáticos de torsión y flexión, el espesor de los elementos que conforman el chasis se modificó con respecto a la Tabla 2, se consideran estos calibres debido a que son fáciles de conseguir en la CDMX.

Calibres lámina	Espesor en [mm]
10	3.42
11	3.04
12	2.66
13	2.28
14	1.90
15	1.71
16	1.52
17	1.37
18	1.21

Tabla 2 Calibres y espesores de láminas [Grupo Collado®, 2026]²⁶

En la Figura 2.10 se muestra la distribución de la carga que soporta el chasis.

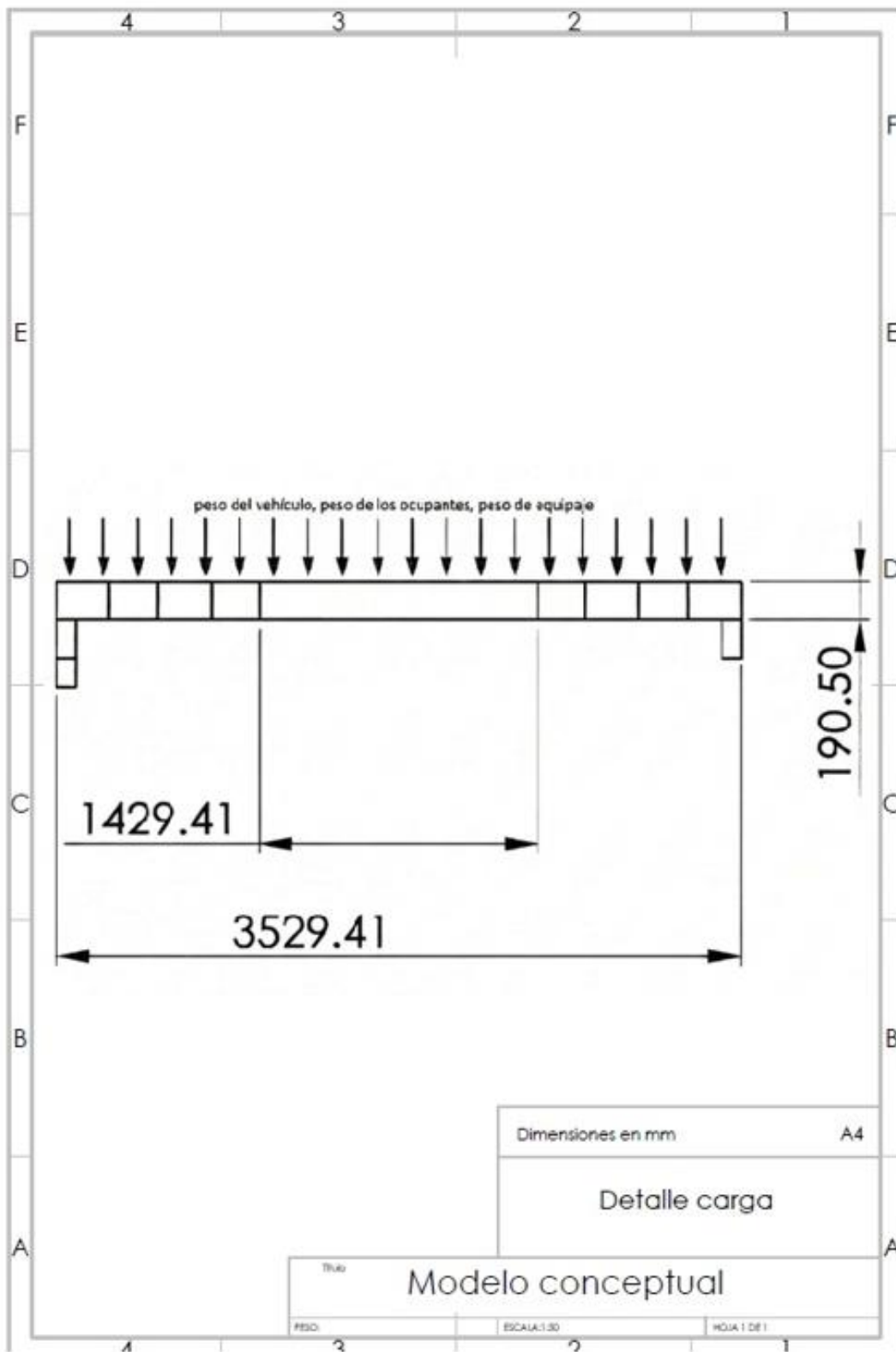


Figura 2.10 Distribución de carga en el chasis

Al revisar distintos artículos académicos el rango de fuerza aplicada a un chasis para un vehículo eléctrico de 2 pasajeros, durante las pruebas de resistencia, se encuentra entre 1668 [N] [Zhong, 2022]¹² y 15288 [N] [Wikarta, 2021]¹³.

Considerando que el peso de un(a) mexicano(a) promedio es de 68 [kg] a 74 [kg], de acuerdo con [IMCO, 2016]²⁷, además el peso de los vehículos eléctricos ciudadanos para 2 personas está entre 496 [kg] [Microlinio®, 2025]¹⁶ y 520 [kg] [XEV®, 2025]¹⁷, el peso del equipaje de 2 personas es de 100 [kg] aproximadamente. Entonces se puede considerar que un chasis de este tipo soporta aproximadamente 750 [kg] en condiciones estáticas normales.

Para este trabajo se requiere llevar el chasis a una condición crítica, así que considerando los valores recabados de los artículos académicos mencionados en el párrafo anterior se aplica en los extremos de los largueros fuerzas de 15 000 [N] para el estudio de torsión, para el estudio de flexión se aplica una carga de 15 000 [N] distribuida en la zona de la batería del chasis, lo que equivale al doble del peso soportado en condiciones normales y para el estudio de factor de seguridad la carga es de 15 000 [N] y está distribuida en la superficie superior de los perfiles que conforman el chasis.

Resultados modelo conceptual

Resultados prueba de torsión

Se realizaron distintas pruebas en el programa CAD con los calibres más comunes de lámina mencionados en la Tabla 2, el resultado con calibre 10 fue el mejor debido a su espesor y a su baja deformación en los patines del perfil C, por lo tanto, los estudios de simulación que se presentan a continuación se realizaron con lámina calibre 10.

En la Figura 2.11 se muestra los resultados del estudio de torsión, los desplazamientos en los extremos del chasis son de 12.3 [mm] aplicando una fuerza de 15 000 [N], representada por las flechas moradas, en los extremos del tubo de soporte. Los puntos de fijación se representan con los conjuntos de flechas verdes.

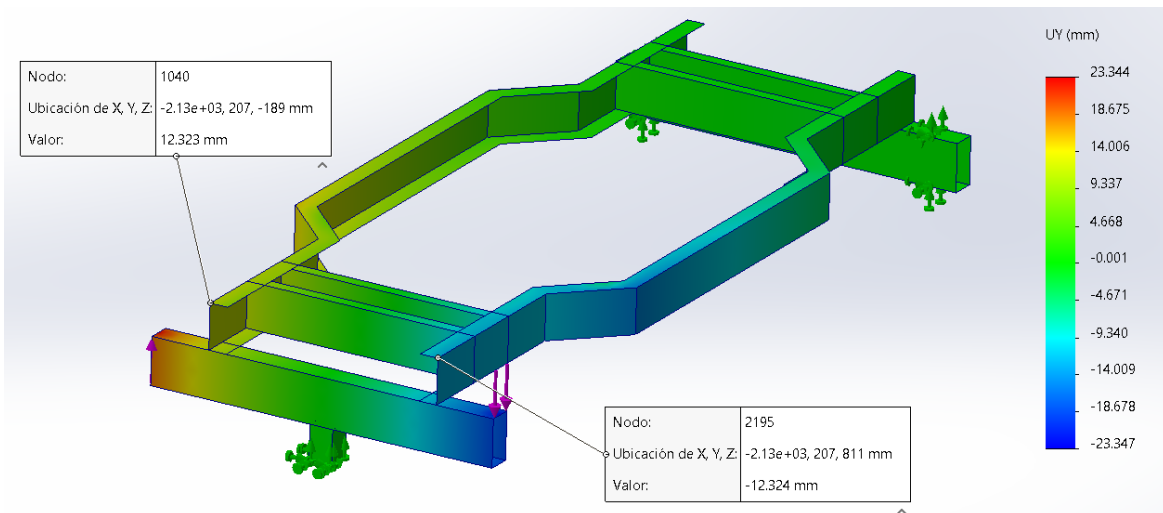


Figura 2.11 Resultados prueba de torsión

Resultados prueba de flexión

En la Figura 2.12 se muestran los resultados de la prueba de flexión, con una carga de 15 000 [N] distribuida en la parte central de los largueros, representada con flechas moradas en la zona de la batería. Los puntos de fijación se representan con los conjuntos de flechas verdes.

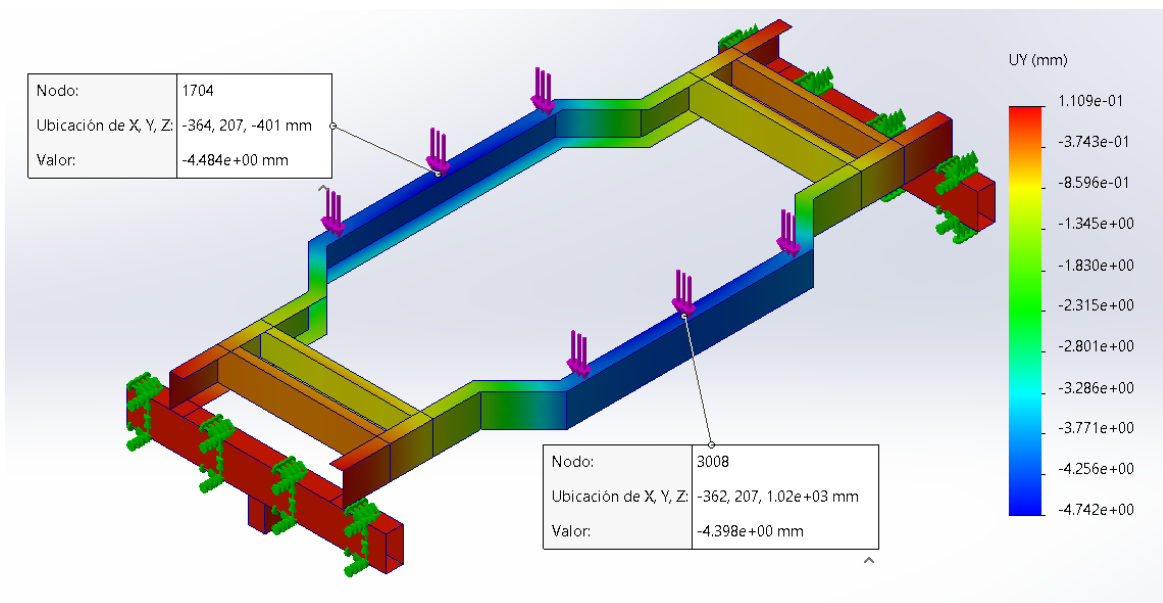


Figura 2.12 Resultados prueba de flexión

Resultados factor de seguridad

Para el estudio de simulación de factor de seguridad se aplica una carga al chasis de modo que represente el peso total del vehículo y de los pasajeros con equipaje como se muestra en la Figura 2.10. Los puntos de fijación se representan con los conjuntos de flechas verdes, simulando los puntos de unión con los brazos de la suspensión.

En la Figura 2.13 se muestran los resultados del estudio para obtener el factor de seguridad. Se observa un valor mínimo de 9.85.

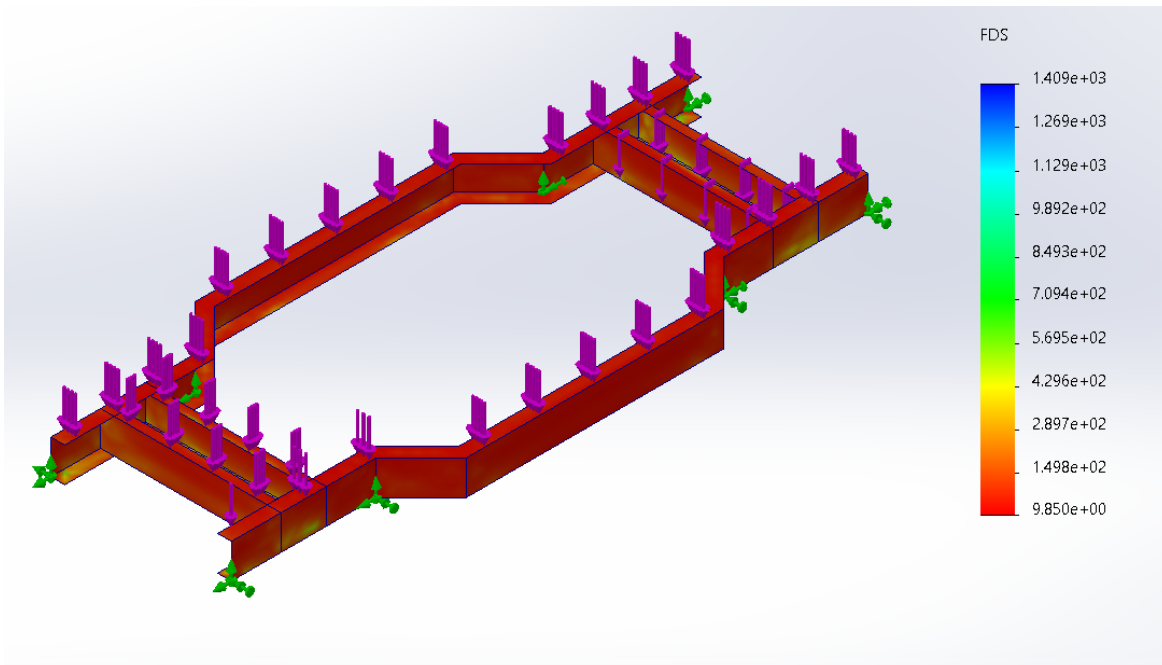


Figura 2.13 Factor de seguridad

Un requerimiento de diseño para este trabajo es que el perfil tiene que estar construido con láminas calibre 18 para disminuir el peso del chasis y hacer que la construcción resulte económica, se tiene que diseñar un perfil con el que se puedan conseguir valores similares en los desplazamientos de cada prueba y mantener los valores por debajo de 10 [mm].

Capítulo 3 Diseño de configuración.

La segunda etapa del proceso de diseño se desarrolla en el presente capítulo.

El diseño de configuración consta de dos pasos, el primer paso es el diseño del chasis de patineta con un perfil fabricado con 3 láminas soldadas y en el segundo paso se agrega una jaula antivuelco en la parte superior del chasis de patineta. El propósito es observar cambios en las pruebas de torsión y flexión.

3.1 Primer paso del diseño de configuración

Los perfiles utilizados para los largueros del chasis están diseñados para construirse con tres láminas calibre 18 dobladas y unidas mediante soldadura. En el modelo CAD se representa el perfil de los largueros mediante 3 superficies unidas con conectores de soldadura de arista y con interacciones de unión rígida. En la Figura 3.1 se muestran las dimensiones de la sección transversal.

En la Figura 3.2 se muestra a detalle las dimensiones del chasis de patineta del Modelo de configuración 1.

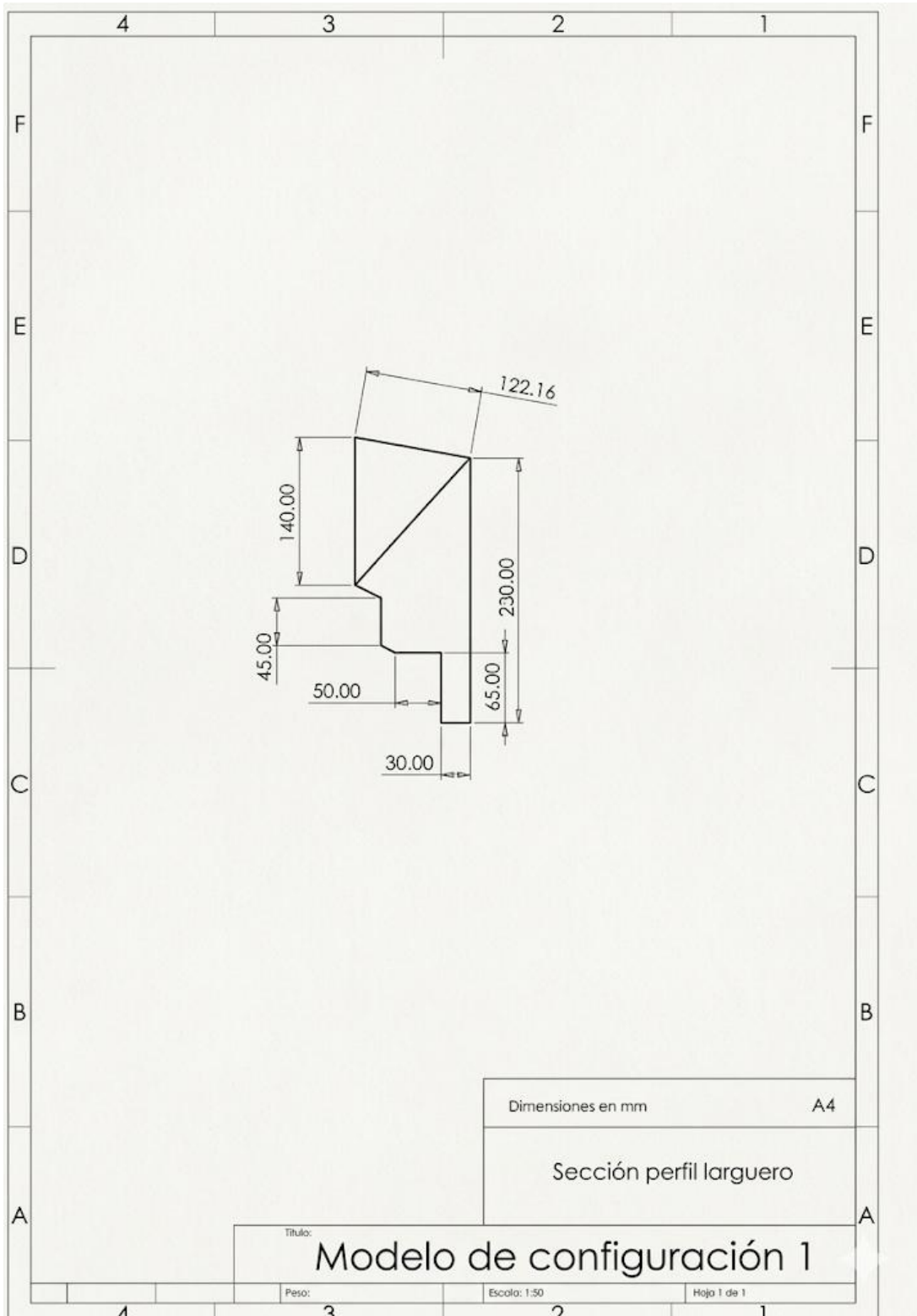


Figura 3.1 Dimensiones del larguero

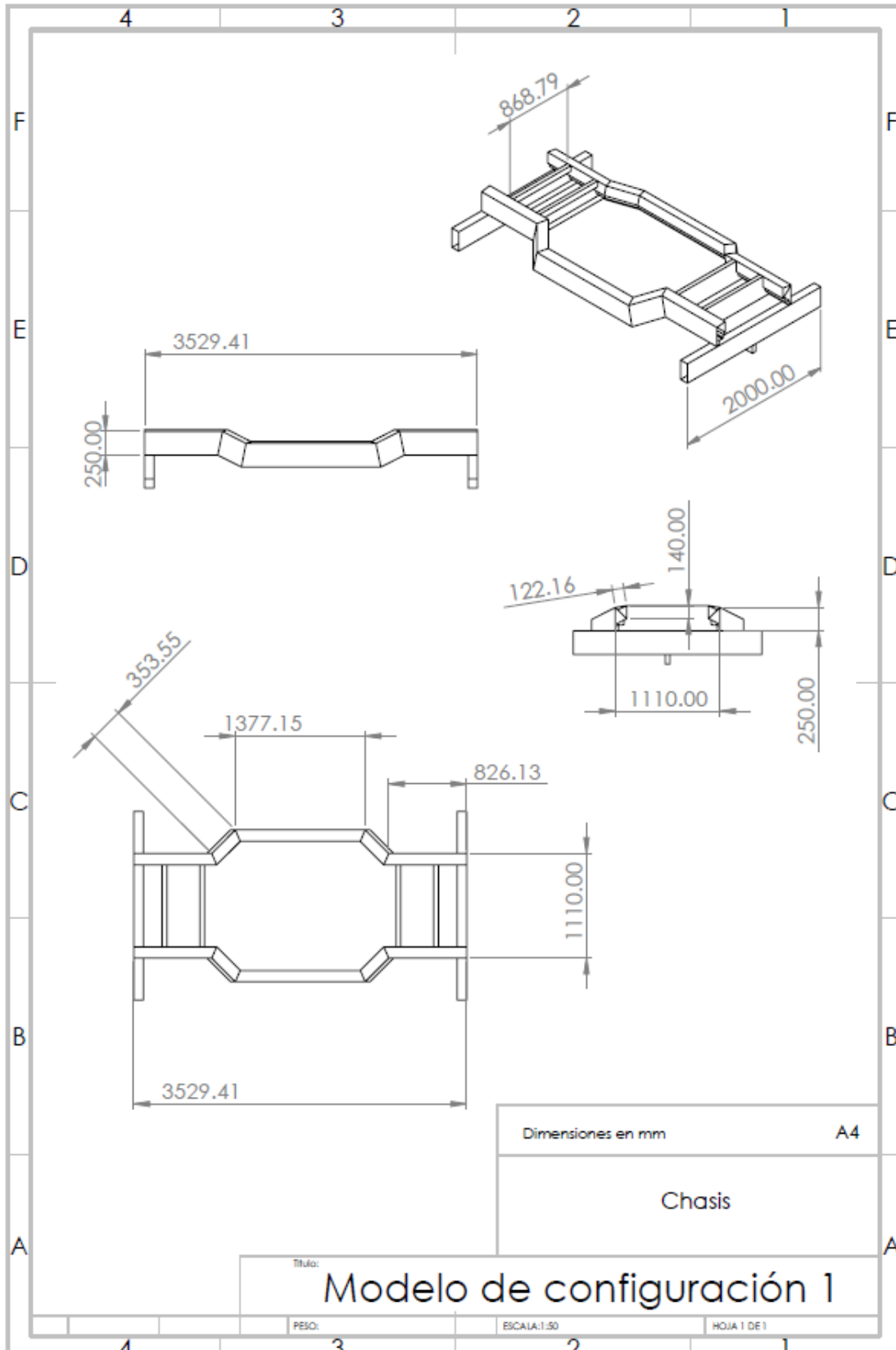


Figura 3.2 Plano Modelo de configuración 1

Resultados prueba de torsión

En la Figura 3.2 se presentan los resultados de la prueba de flexión, se observa que los valores de los desplazamientos son muy cercanos a los 9.15 [mm]. Los puntos de fijación se representan con los conjuntos de flechas verdes y el conjunto de fuerzas aplicada en los extremos del tubo de soporte es de 15 000 [N] cada una y se encuentran representadas con flechas moradas.

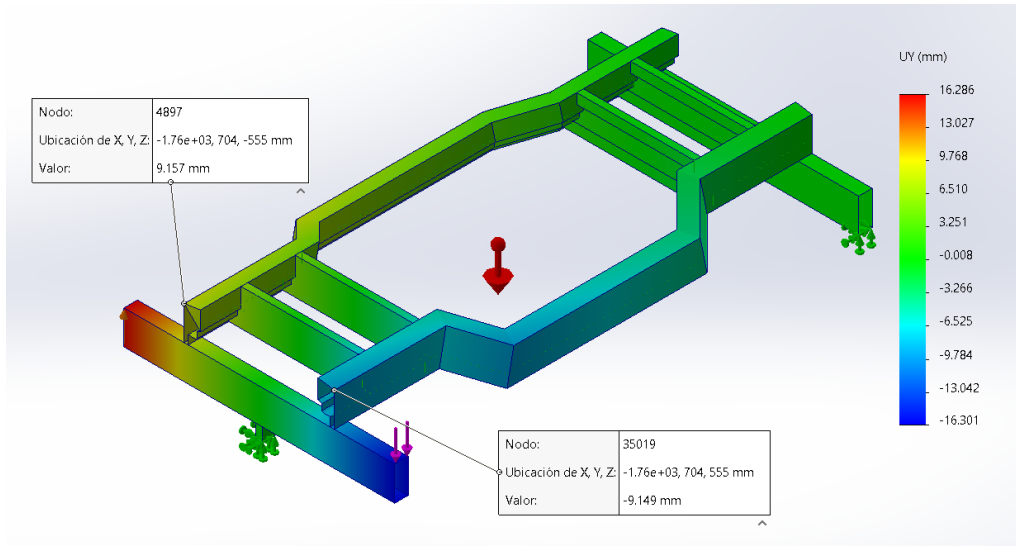


Figura 3.2 Resultados prueba de torsión

Resultados prueba de flexión

En la Figura 3.3 se muestra los resultados de la prueba de flexión, se puede observar que los desplazamientos se encuentran cerca de los 5.5 [mm]. La carga aplicada fue de 15 000 [N] en la parte superior del perfil, en la zona de la batería, se encuentra representada con flechas moradas. Los puntos de fijación se representan con los conjuntos de flechas color verde.

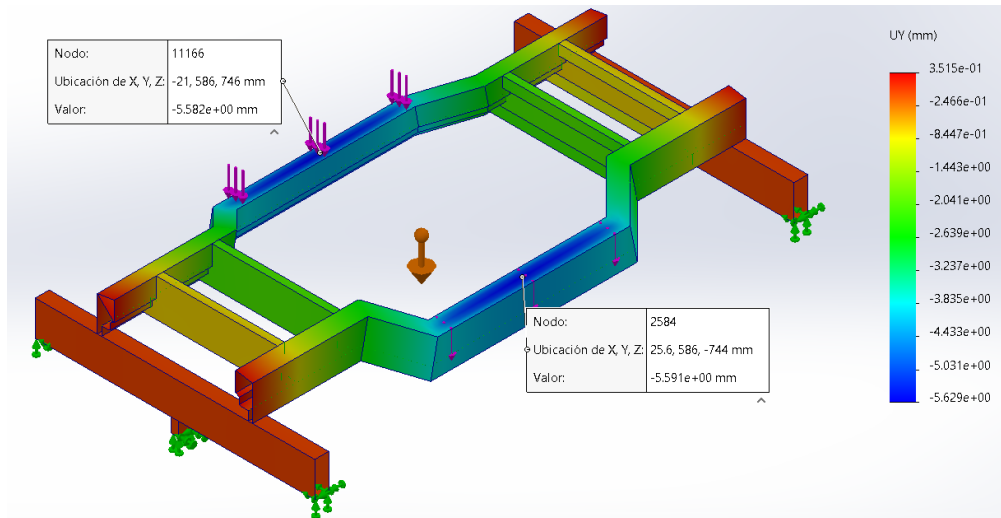


Figura 3.3 Resultados prueba de flexión

Factor de seguridad

En la Figura 3.4 se muestra los resultados de factor de seguridad, cuyo valor mínimo es de 9.178. Se le aplicó al chasis una carga total de 15 000 [N] en la parte superior de los perfiles y está representada con flechas moradas. Los puntos de fijación se representan con los conjuntos de flechas verdes, se colocan de modo que representan los puntos de unión con los brazos de la suspensión.

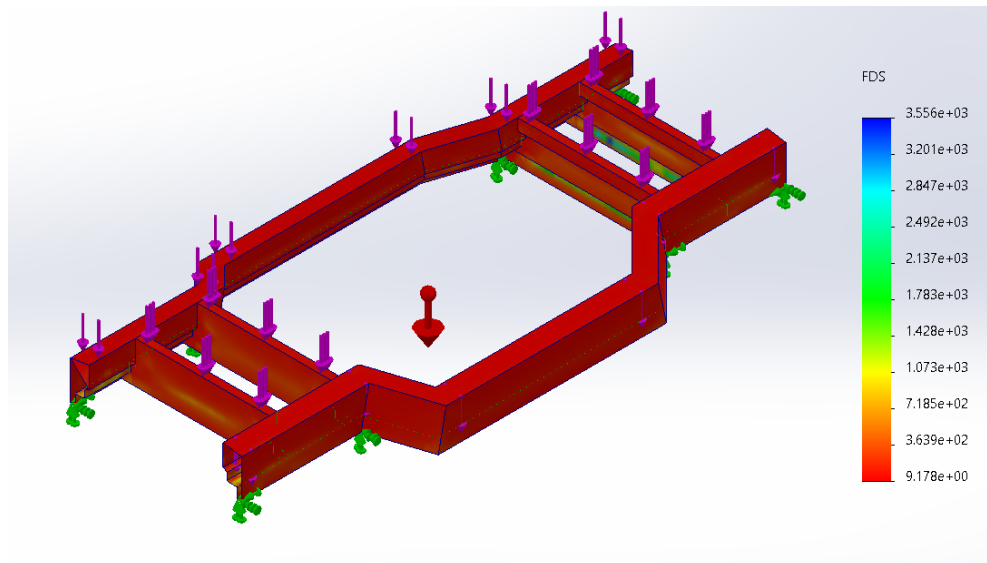


Figura 3.4 Resultados de factor de seguridad

3.2 Segundo paso del diseño de configuración

Se requiere encontrar cambios en el comportamiento del chasis en las pruebas de resistencia a la flexión y torsión por lo que se decide agregar elementos. La propuesta consiste en adaptar al chasis de patineta una jaula antivuelco construida con tubos de 5.08 [mm] de diámetro y con un espesor de 1.651 [mm], siguiendo las especificaciones en los reglamentos de [Baja 1000[®], 2025]¹⁸ y [Dakar Classic[®], 2025]¹⁹.

Resultados prueba de torsión

En la Figura 3.5 se muestran los resultados de la prueba de torsión, los desplazamientos disminuyen hasta 5.4 [mm]. Al colocar las tuberías de la jaula antivuelco en la parte delantera de los largueros del chasis mejora el comportamiento y los desplazamientos disminuyen. Las cargas aplicadas fueron de 15 000 [N] en los extremos del tubo de soporte, representadas con flechas moradas. Los puntos de fijación se representan con los conjuntos de flechas verdes.

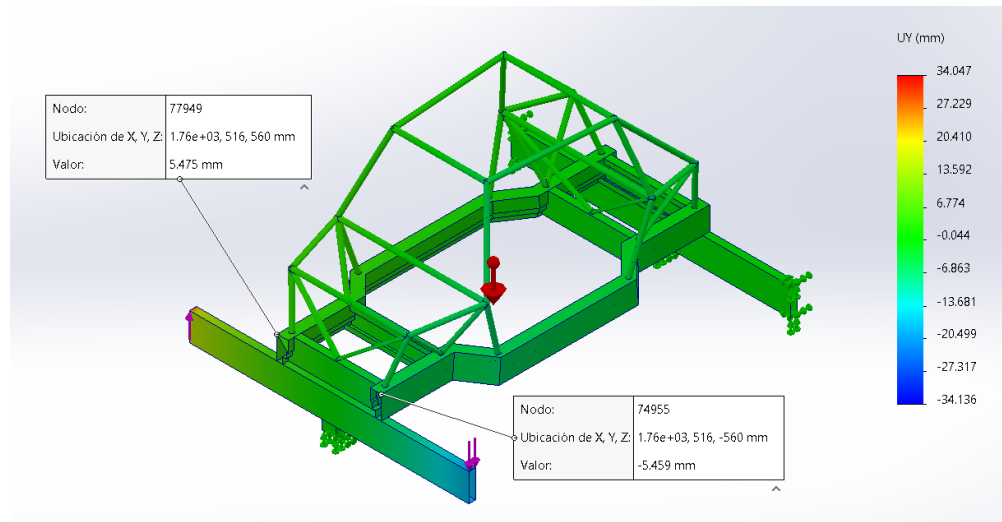


Figura 3.5 Resultados de la prueba de torsión

Resultados prueba de flexión

En la Figura 3.6 se muestra los resultados de la prueba de flexión, los desplazamientos aumentaron a 7.2 [mm] y 8.1 [mm]. Se aplicó una carga de 15 000 [N] en la parte superior de los largueros, en la zona de la batería, es representada por flechas moradas. Los puntos de fijación se representan por los conjuntos de flechas verdes.

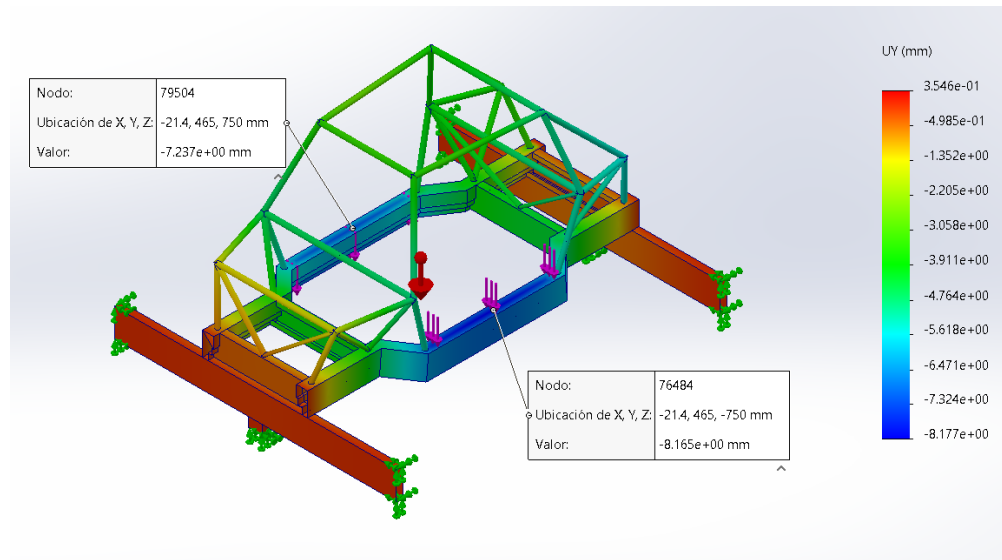


Figura 3.6 Resultados prueba de flexión

3.3 Análisis de resultados

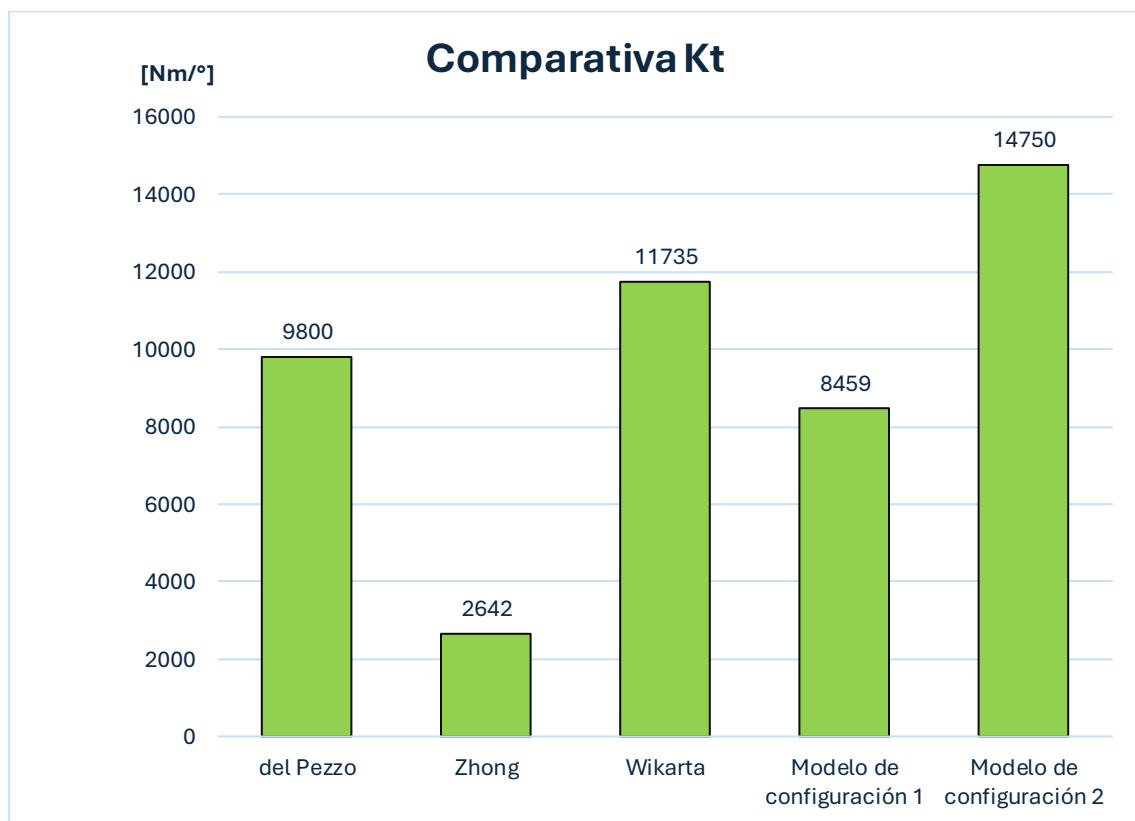
Con cada modelo CAD se pudo mejorar el comportamiento a la flexión y/o a la torsión. Con el modelo conceptual se hicieron pruebas cambiando el espesor de los elementos del chasis, pero los resultados en las pruebas de torsión y flexión resultaron desfavorables hasta probar con lámina calibre 10, es claro que entre más espesor tengan los perfiles la resistencia del chasis aumenta, pero incrementa el peso y el costo.

Con el Modelo de configuración 1 se obtuvieron resultados adecuados para el objetivo de este trabajo después de más de 20 modelos CAD, en cada modelo se cambió la geometría de la sección transversal del perfil, hasta obtener uno con el cual se consiguió un factor de seguridad mayor a 8 en la prueba correspondiente.

Los desplazamientos, en el Modelo de configuración 2, en la prueba de torsión disminuyeron 6.8 [mm] con respecto a los resultados obtenidos del modelo

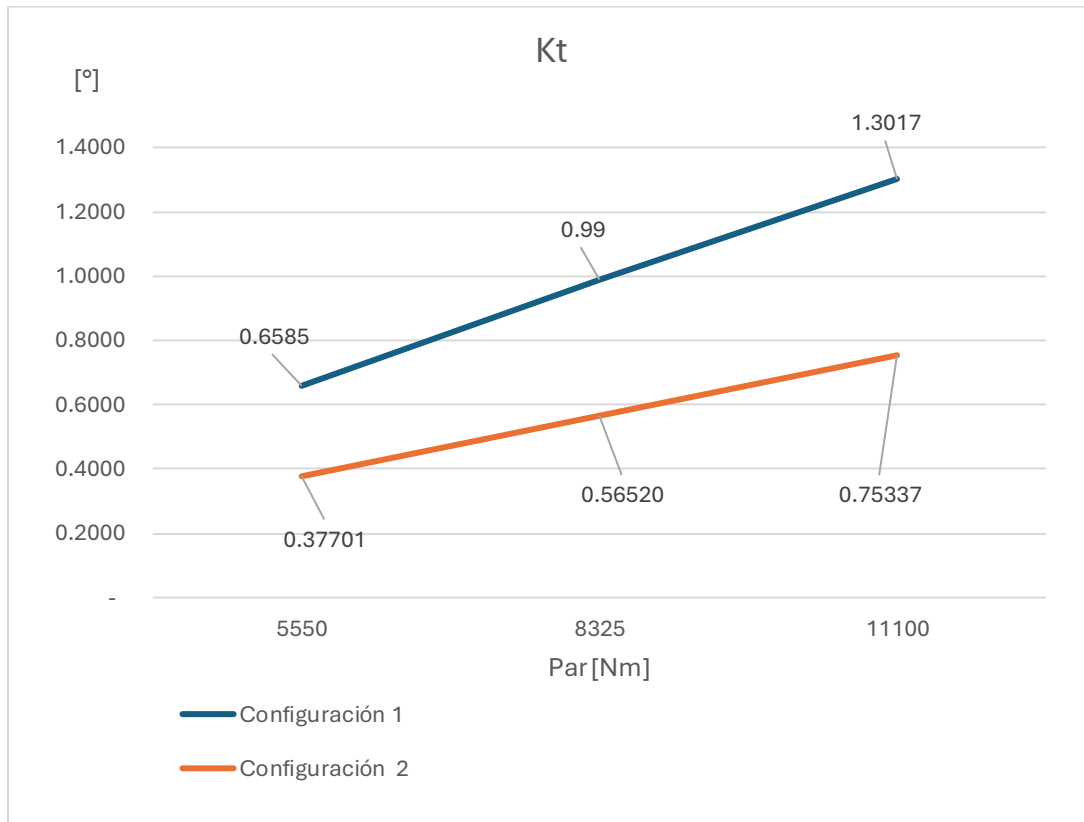
conceptual, lo cual representa una disminución aproximada del 56%. En la prueba de flexión los desplazamientos aumentaron 3.5 [mm] con respecto al modelo conceptual, por lo tanto, se tiene un aumento aproximado del 90%, el comportamiento mejoró a torsión y empeoró a flexión, sin embargo, se tienen valores por debajo de 10 [mm] y se logró el objetivo de obtener un factor de seguridad de 8 utilizando un perfil construido con láminas calibre 18.

En la Gráfica 3.1 se presenta una comparativa de los coeficientes de torsión obtenidos de distintos artículos académicos [Zhong, 2022]¹², [Wikarta, 2021]¹³ y [del Pezzo, 2022]²⁸, contra el valor calculado con las ecuaciones (1.1) y (1.2) en el Modelo de configuración 1 y 2, con los datos de desplazamiento obtenidos a través de las simulaciones en el software y las ecuaciones (1.1) y (1.2). Los resultados de la Gráfica 3.1 muestran un aumento en la resistencia a la torsión, posicionando al Modelo de configuración 2 por encima de los artículos citados en este párrafo.



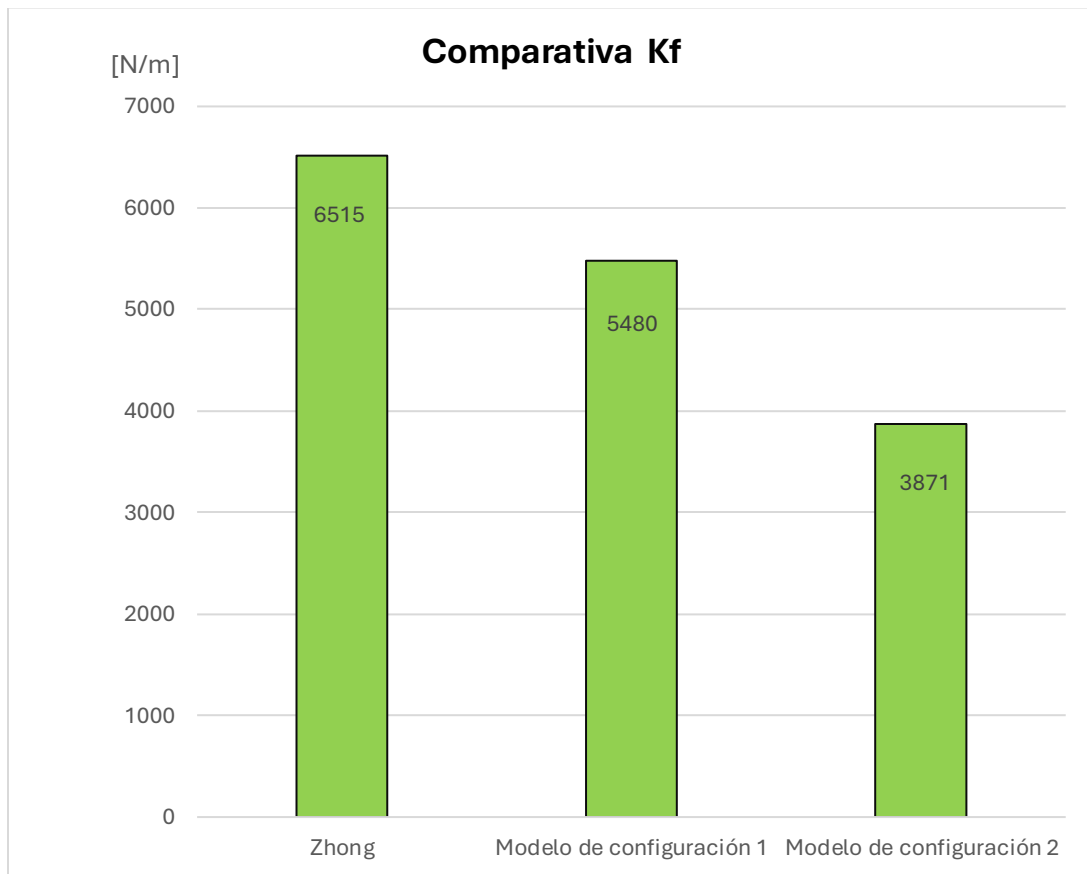
Gráfica 3.1 Comparativa Kt

En la Gráfica 3.2 se muestra una comparativa entre los resultados obtenidos para la prueba de torsión del Modelo de configuración 1 y el Modelo de configuración 2. Si se observa la curva naranja, la cual representa el comportamiento del Modelo de configuración 2, esta se encuentra por debajo de la recta que representa el comportamiento del Modelo de configuración 1, lo que significa un incremento en la resistencia a la torsión y por ende un menor ángulo de giro en el ensamble.



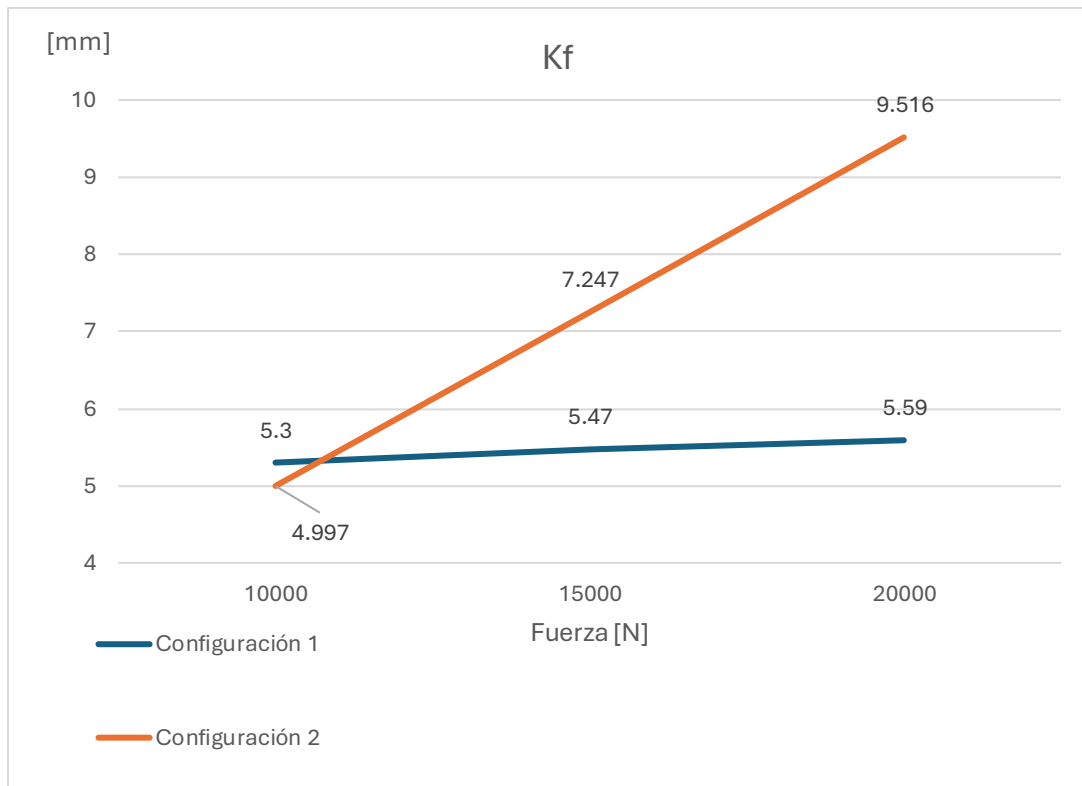
Gráfica 3.2 Comparativa K_t configuración 1 y 2

En la Gráfica 3.3 se presenta una comparativa del valor de rigidez a la flexión K_f obtenido de la publicación del autor [Zhong, 2022]¹², contra el valor de K_f obtenido en los Modelos de configuración 1 y 2 a través de los desplazamientos obtenidos en la simulación y utilizando las ecuaciones (1.1) y (1.2). En la Gráfica 3.3 se muestra una disminución en el valor de rigidez a la flexión en el Modelo de configuración 2. Es necesario un rediseño del chasis en la zona de la batería, agregando refuerzos tal y como se observa en la Figura 2.4 CATL® Bedrock [Inside China Auto, 2024]²² o cambiar la geometría del perfil en esta zona para aumentar la resistencia.



Gráfica 3.3 Comparativa Kf

En la Gráfica 3.4 se muestra una comparativa entre los resultados obtenidos para la prueba de flexión del Modelo de configuración 1 y el Modelo de configuración 2 en sus gráficas fuerza vs distancia. Si se observa detenidamente la curva naranja que representa el comportamiento del Modelo de configuración 2, se encuentra por arriba de la curva azul que representa el comportamiento del Modelo de configuración 1, lo que se traduce en un decremento en la resistencia a la flexión y por ende un desplazamiento mayor.



Gráfica 3.4 comparativa Kf configuración 1 y 2

Conclusiones

Al disminuir el espesor de las láminas de calibre 10 a 18, se observa que es posible construir un perfil para el alma de un chasis de un vehículo eléctrico con láminas delgadas, sin embargo, es necesario tener en cuenta otros factores importantes como métodos de soldadura, disponibilidad y costo del material.

Todas las pruebas son estáticas y se cumple con el propósito de ejecutar pruebas de torsión y flexión como un primer paso en el diseño de un chasis, de acuerdo con el autor [Barton, 2018]¹⁰, consiguiendo resultados favorables particularmente en la prueba de torsión.

Se debe tener presente que todos los modelos CAD de este trabajo son una simplificación, las simulaciones en computadora arrojan datos sobre el comportamiento de los elementos de la estructura ante ciertas solicitaciones, es probable que el comportamiento del modelo CAD difiera con el comportamiento real.

Observando las Gráficas 3.1 y 3.3, un aspecto a resaltar es que para los modelos de configuración 1 y 2 mientras el Kt aumenta de un modelo a otro, el valor de Kf

disminuye. Es necesario rediseñar la jaula de modo que se consiga reforzar los largueros en la zona de la batería, por ejemplo, cambiar la disposición de los tubos de la jaula antivuelco.

En la figura 3.6 se muestra una propuesta de configuración de algunos de los elementos que integran al vehículo eléctrico.

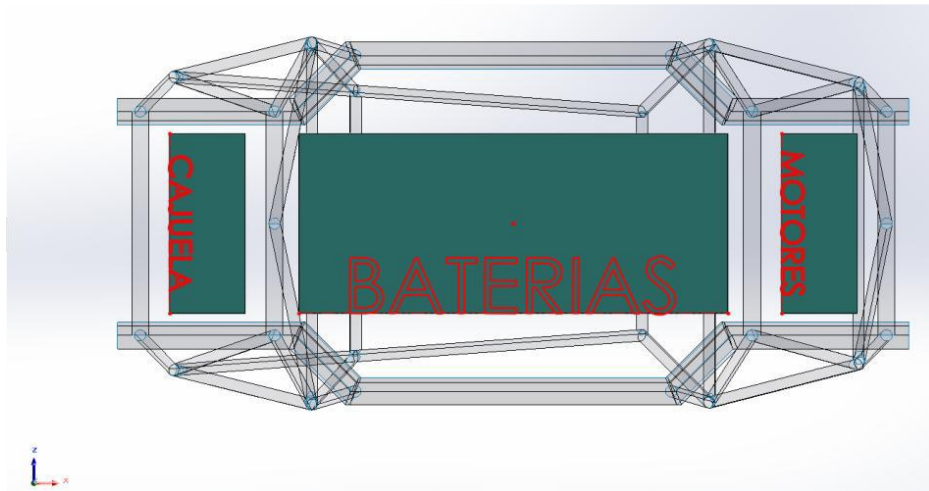


Figura 3.6 Disposición de elementos del vehículo en el chasis

Consideraciones futuras

Es necesario optimizar la geometría de los perfiles del chasis de patineta para conseguir mejores resultados en las pruebas de resistencia. También es necesario volver a diseñar la jaula antivuelco para que las tuberías sirvan de refuerzo en la zona de la batería.

Analizar variaciones en los resultados de las pruebas de resistencia debido a cambios en la geometría de los perfiles para los travesaños.

Cambiar el perfil de modo que simule una extrusión y estudiar los resultados.

Estudiar los métodos de soldadura, así como la resistencia de los cordones.

Realizar análisis de fatiga y simulaciones de impacto.

Es necesario investigar si existe una relación entre K_t y K_f , después rediseñar el chasis manteniendo un balance entre el comportamiento de K_t y el K_f .

Bibliografía

1 información obtenida del sitio web el día 22 febrero 2026

<https://www.eleconomista.com.mx/politica/Cada-vez-hay-mas-autos-circulando-en-la-CDMX-un-vehiculo-de-motor-por-cada-1.4-capitalinos-20240216-0037.html#:~:text=CDMX%20y%20EdoMex%20concentran%20casi,del%2025%25%20al%20PIB%20total.>

2 información obtenida del libro

Crolla, D. A. (Ed.). (2009). Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle Body.

<https://dev.anvthub.io/wp-content/uploads/2024/11/Automotive-Engineering-Powertrain-Chassis-System-and-Vehicle-Body-1.pdf>

3 información obtenida del sitio web el día 22 de febrero 2026

<https://www.motor.es/que-es/chasis-bastidor>

4 información obtenida del sitio web el día 22 de febrero 2026

<https://i.pinimg.com/originals/b6/df/56/b6df560096f21a616ab898e4181d7d4a.jpg>

5 información obtenida del sitio web el día 22 de febrero 2026

https://static.retail.autofact.cl/blog/c_url_original.29odku8leejy7ix.jpg

6 información obtenida del sitio web el día 23 de febrero 2026

https://www.arielmotor.co.uk/wp-content/uploads/2021/10/Ariel-Nomad_007.4.transp.webdev-2048x1232.png

7 información obtenida del sitio web el día 23 de febrero 2026

<https://www.motortrend.com/uploads/sites/5/2020/04/2002-3-GM-AUTOnomy-Hy-Wire-concepts-GM.jpg>

8 información obtenida del sitio web el día 23 de febrero 2026

https://www.laserax.com/sites/default/files/styles/desktop_default_2x/public/2025-01/tesla-structural-pack_0.webp?itok=9qw_X7ME

9 información obtenida del libro

Mott, R. L. Resistencia de materiales 5ª ed. Pearson Educación (2008).

<https://es.scribd.com/document/382358201/Resistencia-de-Materiales-5ta-Edicion-Robert-L-Mott>

10 información obtenida del libro

Automotive Chassis Engineering, Barton, D. C., & Fieldhouse, J. D., Springer International Publishing (2018).

https://www.academia.edu/42742249/David_C_Barton_John_D_Fieldhouse_Automotive_Chassis_Engineer

11 información obtenida del libro

Automotive chassis: Powertrain, chassis system and vehicle body, Genta, G, Springer International Publishing (2009).

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-35635-4>

12 información obtenida del journal

Zhong, H., Xu, T., Yang, J., Sun, M., & Gao, F. (2022). Optimization Design of Automotive Body Stiffness Using a Boundary Hybrid Genetic Algorithm. Machines. <https://doi.org/10.3390/machines10121171>

13 información obtenida del journal

Wikarta, A., Ash Shiddieqy, R. H., Khosmin, & Sidharta, I. (2021). Finite element simulation for electric-car chassis development from scratch. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 279–284.

<https://doi.org/10.18280/mmep.080216>

14 información obtenida del libro

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2012). *Diseño y desarrollo de productos* (5ª ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.

https://www.academia.edu/36131624/Diseno_y_Desarrollo_de_Productos_Karl_T_Ulrich_5ta_Edicion

15 información obtenida del libro

Dieter, G. E., & Schmidt, L. C. (2020). *Engineering design* (5th ed.). New York, NY: McGraw-Hill Education.

https://www.academia.edu/127096530/Engineering_design_Dieter_Schmidt_5th_edition

16 información obtenida del sitio web el día 25 de febrero 2026

<https://microlino-car.com/>

17 información obtenida del sitio web el día 25 de febrero 2026

<https://xev.es/>

18 información obtenida del sitio web el 26 de febrero 2026

<https://score-raceinfo.com/rule-book/competition-regulations/>

19 información obtenida del sitio web el 26 de febrero 2026

https://storage-aso.lequipe.fr/ASO/motorSports_ccr/dakar-classic-2026-technical-regulations.pdf

20 información obtenida del sitio web el 26 de febrero 2026

<https://canacar.com.mx/app/uploads/2016/02/NOM-068-SCT-2-2014.pdf>

21 información obtenida del sitio web el 26 de febrero 2026

<https://platiica.economia.gob.mx/normalizacion/nmx-d-228-scfi-2015/>

22 información obtenida del sitio web el 26 de febrero 2026

<https://insidechinaauto.com/wp-content/uploads/2024/12/Screenshot-2024-12-27-at-18.58.29-edited-2048x1152.png>

23 información obtenida del artículo

Belingardi, G.; Scattina, A. Battery Pack and Underbody: Integration in the Structure Design for Battery Electric Vehicles—Challenges and Solutions. *Vehicles* (2023), 498–514.

<https://doi.org/10.3390/vehicles5020028>

24 información obtenida del artículo

Development of an all-aluminum automotive body.

Yasuo Muraoka Honda Research and Development Co. Japan.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013693900425>

25 información obtenida del artículo

Chassis desing for electric car prototype, André Cervieri, Antonio Flavio Aires Rodriguez, Luiz Carlos Gertz, Luiz de Albuquerque, Congreso SAE Brasil (2014).

<https://saemobilus.sae.org/papers/chassis-design-electric-car-prototype-2014-36-0215>

26 información obtenida del sitio web el 02 de marzo 2026

<https://www.collado.com.mx/Views/Productos/Planos/Lamina-Rolada-En-Caliente>

27 información obtenida del sitio web el 05 marzo de 2026

<https://imco.org.mx/como-es-el-mexicano-promedio-via-el-pais/#:~:text=%C2%BFeres%20como%20el%20mexicano%20promedio?%20El%20mexicano, caso%20de%20las%20mujeres%20tiene%202.3%20hijos.>

28 información obtenida del artículo

[Martínez del Pezzo, A., Cavallin, B., & Actis, M. \(2013\). *Simulación y ensayo de rigidez torsional de un chasis de un vehículo todo terreno*. Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.](#)

29 información obtenida del sitio web el 29 de marzo de 2026

<https://www.emobility-engineering.com/wae-evr/>

30 información obtenida del sitio web el 29 de marzo de 2026

<https://www.adrianchernoff.com/project/hy-wire/>

Anexos

Más información destacada se presenta a continuación

El chasis que se muestra en la Figura a.1 es un chasis de patineta de la marca WAE®, está diseñado para fabricantes de equipos originales que construyen autos deportivos eléctricos de edición limitada. Su batería permite una autonomía de más de 450 [km].



Figura a.1 WAE® EVR [e-mobility, 2021]²⁹

En la Figura a.2 se muestra los elementos que forman un paquete de baterías, nótese las múltiples capas y refuerzos.

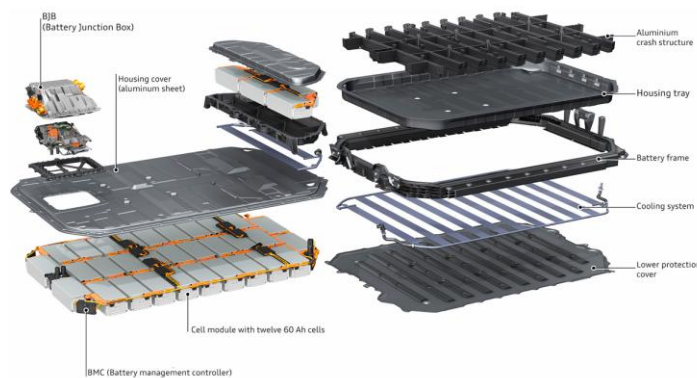


Figura a.2 Elementos del paquete de baterías Audi® e-tron [Belingardi, 2023]²³

En la Figura a.3 se muestra un modelo CAD simplificado de los perfiles utilizados para un chasis de un vehículo eléctrico.

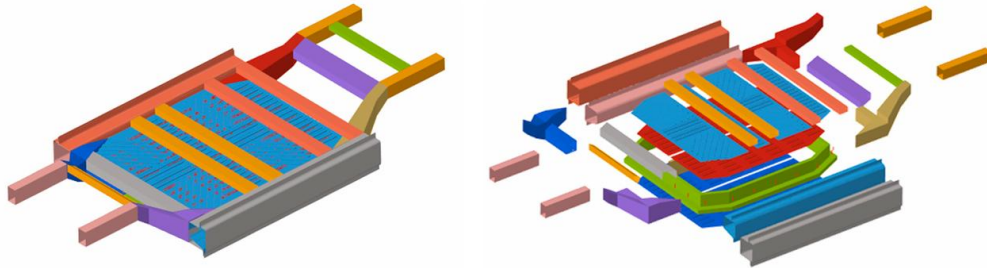


Figura a.3 modelo simplificado de un chasis eléctrico [Belingardi, 2023]²³

En la Figura a.4 se muestra un paquete de baterías del Tesla® model Y, en la figura (a) se muestra un diagrama explosivo de la batería y su carcasa, en la figura (b) se muestra la construcción de la carcasa inferior y en la figura (c) se muestran los puntos de fijación en el paquete de baterías.

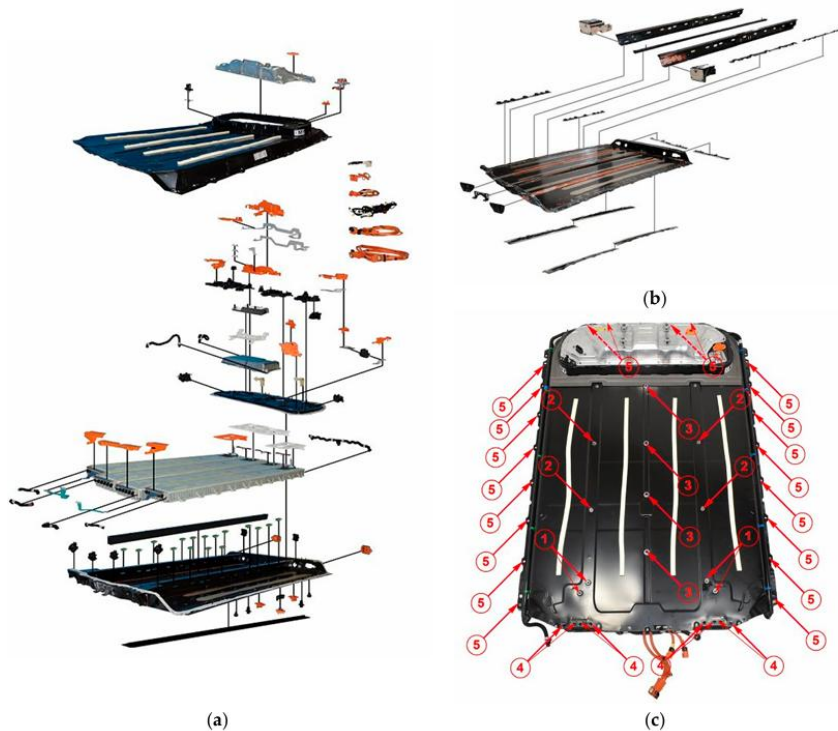


Figura a.4 paquete de baterías del Tesla® model Y [Belingardi, 2023]²³

En la Figura a.5 se muestra el chasis de patineta del concepto de GM® Hy-wire cuyas dimensiones son: largo 4356.1 [mm], ancho 1668.75 [mm], alto 279.4 [mm].



Figura a.5 GM® Hy-wire [Chernoff, 2024]³⁰

En la Figura a.6 se muestra la sección transversal de algunos perfiles utilizados en el chasis de un Honda® Insight.

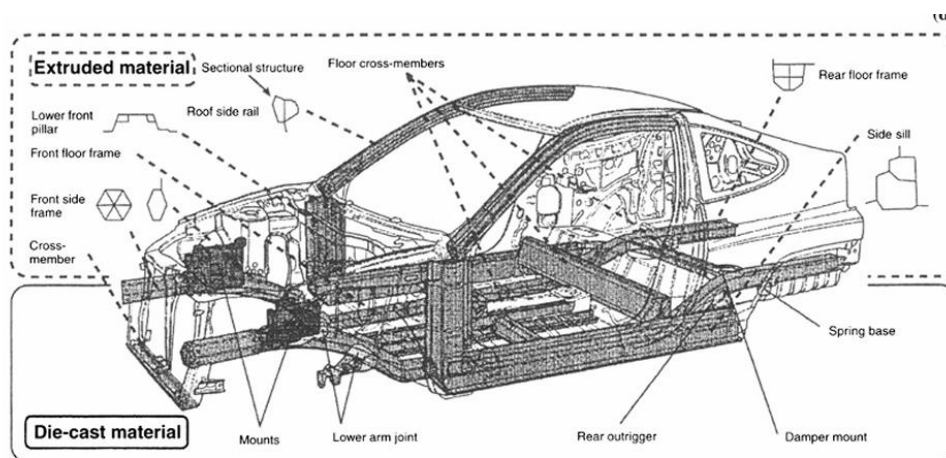


Figura a.6 Perfiles utilizados en un Honda® Insight [Crolla, 2009]²

En la Figura a.7 se muestra la sección transversal de algunos perfiles y paneles que componen el chasis de monocasco.

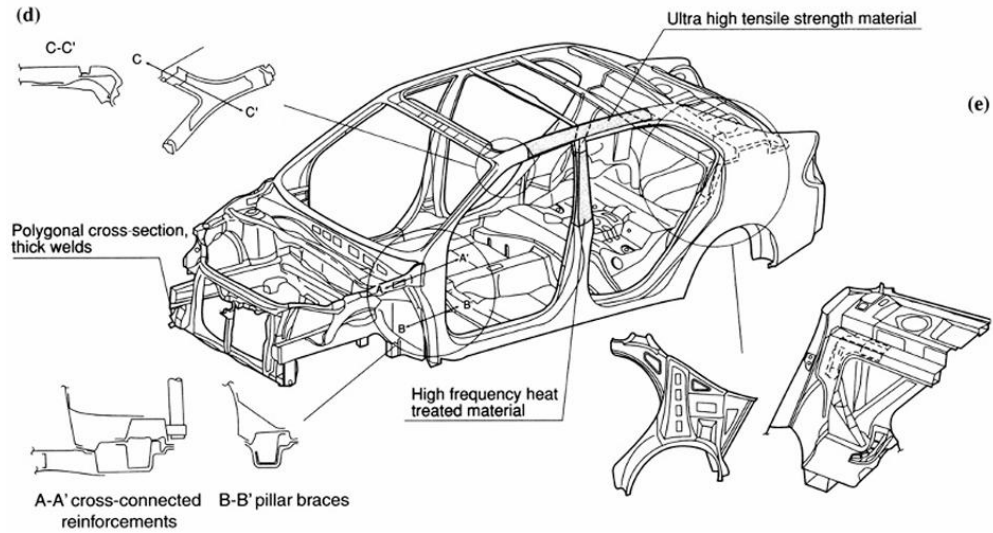


Figura a.7 Detalle del chasis [Crolla, 2009]²

Todas las simulaciones y los modelos CAD se realizaron con SolidWorks® Student Edition 2025, adquirido legalmente en el siguiente vínculo:

<https://www.solidworks.com/es/product/students#student-offers>

Se anexa comprobante.

Muchas gracias por su pedido.

Más abajo encontrará su número de referencia de Cleverbridge. Para garantizar un servicio lo más rápido y eficiente posible, le rogamos que consulte siempre su número de referencia antes de ponerse en contacto con nosotros.

Su número de referencia de Cleverbridge:	51
--	----

Sus productos

Cant.	Nombre del producto	Entrega
1	SOLIDWORKS Student Edition 2025	electrónico

Download this PDF document, as it contains detailed information about the SOLIDWORKS Student Edition, including installation and registration instructions.

[Descargar](#)

Tamaño del fichero: 390 KB.

Su enlace de descarga es válido hasta 17/08/2026.

Nota:

la fecha especificada para este enlace de descarga no afecta a la validez de su licencia.

SOLIDWORKS CAD Serial Number:

66

CSWA Exam Code:

CSWP Exam Code:

Thank you for your order. We value your business, and strive to make our products better every year.