



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA – INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO DE BASTIDOR PARA VEHÍCULO RECREATIVO
TODOTERRENO**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

ALDO YABÍN GÓMEZ MEJÍA

TUTOR

DR. MARCELO LÓPEZ PARRA
UNIDAD DE ALTA TECNOLOGÍA
FACULTAD DE INGENIERIA

JURIQUILLA, QUERÉTARO. QRO.
MAYO DE 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

Presidente: Dr. Alejandro C. Ramírez Reivich
Secretario: Dr. Jesús Manuel Dorador González
1^{er} Vocal: Dr. Marcelo López Parra
2^{do} Vocal: M. en I. Antonio Zepeda Sánchez
3^{er} Vocal: M. en I. Osiris Ricardo Torres

LUGAR DONDE SE REALIZÓ LA TESIS:

Unidad de Alta Tecnología – Universidad Nacional Autónoma de México. Campus Juriquilla. Fray Antonio de Monroy e Híjar 260, Villas del Mesón, Juriquilla, Querétaro, C.P. 76230, México.

TUTOR DE TESIS
Dr. Marcelo López Parra

x 

FIRMA

CONTENIDO

Índice de figuras.....	VI
Índice de tablas	VIII
Lista de símbolos y abreviaturas.....	IX
Resumen.....	XI
Abstract.....	XI
1 Introducción	1
2 Antecedentes y contribución	2
2.1 Vehículos recreativos todoterreno	2
2.2 Tendencia de "lightweighting" en la industria automotriz	3
2.3 Propuesta y alcance de proyecto	6
2.3.1 Objetivos del proyecto	7
2.3.2 Plan de actividades	7
3 Investigación del estado del arte	8
3.1 Mercado de Utility Terrain Vehicles	8
3.1.1 UTVs eléctricos	9
3.2 Configuraciones de bastidor utilizadas en UTVs.....	10
3.3 Innovación en el diseño de UTVs	11
3.4 Conclusiones de la investigación del estado del arte	11
4 Marco teórico.....	13
4.1 Especificaciones Técnicas Para Vehículos Recreativos Todoterreno	13
4.1.1 ANSI/ROHVA 1	13
4.2 Diseño y análisis de bastidores.....	14
4.2.1 Diseño y análisis estructural de bastidores	14
4.2.2 Diseño y análisis dinámico de bastidores.....	15
4.2.3 Rigidez.....	16
4.3 Métodos iniciales de análisis estructural	16
4.3.1 Método de superficies estructurales	17
4.3.2 Método de vigas.....	19
4.4 Diseño y análisis de estructuras de protección ante volcadura (ROPS)	20
4.4.1 Método de análisis.....	21
4.4.2 Diseño para absorción de energía	22

4.4.3	Consideraciones de diseño.....	22
4.5	Uso de materiales compuestos en bastidores automotrices	23
5	Metodología de diseño	25
5.1	Definición de las especificaciones técnicas producto	25
5.2	Diseño conceptual.....	26
5.3	Diseño de detalle	27
6	Especificaciones del vehículo	28
6.1	Requerimientos del estándar ANSI/ROHVA-1	28
6.1.1	Equipamiento y configuración	28
6.1.2	Capacidad de velocidad máxima.....	29
6.1.3	Desempeño de los frenos de servicio	30
6.1.4	Desempeño del freno/mecanismo de estacionamiento.	31
6.1.5	Estabilidad lateral.....	31
6.1.6	Estabilidad de cabeceo.....	35
6.1.7	Estructura de protección contra volcaduras (ROPS).....	36
6.1.8	Sistema de retención de ocupantes (ORS)	40
6.2	Benchmarking	45
6.3	Aplicación de encuesta.....	48
6.3.1	Selección de preguntas	49
6.3.2	Cálculo de la muestra	49
6.4	Definición de especificaciones objetivo.....	51
7	Diseño conceptual.....	53
7.1	Selección del número de plazas en el vehículo	53
7.2	Diseño conceptual del bastidor del vehículo	55
7.2.1	Concepto estético preliminar del vehículo	55
7.2.2	Diseño inicial del bastidor mediante el método de superficies estructurales.....	56
8	Análisis del bastidor mediante FEM	65
8.1	Consideraciones generales.....	65
8.1.1	Material y dimensiones de los elementos estructurales.....	65
8.1.2	Casos de carga a evaluar mediante CAE	66
8.2	Análisis de la ROPS	67
8.2.1	Aproximación de energía lateral	68

8.2.2	Evaluación completa de la ROPS	72
8.3	Análisis de cargas estáticas	79
9	Conclusión de los resultados	81
Anexo A	.....	IX
Anexo B	.....	IX
Anexo C	.....	IX
Anexo D	.....	IX
Anexo E	.....	IX
Referencias	.....	IX

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 2-1- CAN-AM Maverick Trail 2021. UTV de la marca BRP [4]	2
Ilustración 2-2- CAN-AM Outlander 2021. ATV de la marca BRP [5]	2
Ilustración 2-3- Materiales más comúnmente utilizados en la actualidad para los componentes de la estructura principal de un vehículo [11].....	4
Ilustración 2-4- Estructura de compuesto polimérico en la celda de pasajeros de un Porsche Carrera GT [15]	5
Ilustración 2-5- Distribución de material en las carrocerías de 2010 a 2040 [12]	6
Ilustración 3-1- Participación de ingresos (%) por país en el mercado de ATV y UTV en Norte América, 2019 [8].....	8
Ilustración 4-1- Representación de la superficie estructural más simple, un panel rectangular. [20].....	17
Ilustración 4-2- Ejemplos de paneles para un modelo de superficies estructurales. [21]	18
Ilustración 4-3- Modelo de superficies estructurales de un vehículo hatchback de cuatro puertas. [22].....	18
Ilustración 4-4- Esquema final de un modelo de vigas. [23]	20
Ilustración 4-5- Grafica Fuerza-Deflexión para un marco rígido contra un marco flexible. [25]	22
Ilustración 4-6- Bastidor de CFRP y aluminio del Lexus LFA. [27]	24
Ilustración 5-1- Actividades base para la definición de especificaciones del vehículo recreativo.	26
Ilustración 6-1-Método para calcular la energía aplicada en la prueba de carga longitudinal de la ROPS [1]	38
Ilustración 6-2-Zona ORS 1 – Pierna/Pie (No se muestra a escala) [1]	41
Ilustración 6-3- Zona ORS 2 – Hombro/Cadera (No se muestra a escala) [1]	42
Ilustración 6-4- Zona ORS 3 – Brazo/Mano (No se muestra a escala) [1]	43
Ilustración 6-5- Zona ORS 4 – Cabeza/Cuello (No se muestra a escala) [1]	43
Ilustración 7-1- Modelo CAD del concepto estético preliminar del vehículo.....	55
Ilustración 7-2- Dimensiones del concepto estético preliminar.....	55
Ilustración 7-3- Modelo simplificado del concepto estético	56
Ilustración 7-4- Condiciones de frontera definidas en el análisis topológico.....	57
Ilustración 7-5- Cargas aplicadas definidas en el análisis topológico.....	59
Ilustración 7-6- Región de diseño (en morado) y región de exclusión (en rojo)	59
Ilustración 7-7- Convergencia de los resultados.....	60
Ilustración 7-8- Propuesta de disposición de elementos estructurales para la zona de la ROPS con base en los resultados del análisis de optimización topológica. ..	62
Ilustración 7-9- Propuesta de disposición de elementos estructurales para la zona frontal del vehículo con base en los resultados del análisis de optimización topológica.	62
Ilustración 7-10- Propuesta de disposición de elementos estructurales para los laterales del vehículo con base en los resultados del análisis de optimización topológica.	63

Ilustración 7-11- Propuesta de disposición de elementos estructurales para la zona trasera del vehículo con base en los resultados del análisis de optimización topológica.	63
Ilustración 7-12- Propuesta de disposición de elementos estructurales para el piso del vehículo y los soportes de asientos con base en los resultados del análisis de optimización topológica.	63
Ilustración 7-13- Propuesta de disposición de elementos estructurales para el soporte del compartimento de carga y dispositivo de remolque con base en los resultados del análisis de optimización topológica.	64
Ilustración 7-14- Vista isométrica y vista lateral de la propuesta de bastido	64
Ilustración 8-1- Propuesta inicial de dimensiones de tubos para el análisis CAE del bastidor	66
Ilustración 8-2- Niveles de energía y deformación alcanzados en la propuesta de bastidor V01, aplicando una carga lateral de 4,200 N	68
Ilustración 8-3- Niveles de energía y deformación alcanzados en la segunda iteración de la propuesta de bastidor V01	69
Ilustración 8-4- Gráfico de contornos de esfuerzos máximos observados en propuesta de bastidor V01, tras cumplir el requerimiento de energía de 468.08 J .	70
Ilustración 8-5- Gráfico de contornos de esfuerzos mínimos observados en propuesta de bastidor V01, tras cumplir el requerimiento de energía de 468.08 J .	70
Ilustración 8-6- Gráfico de contornos de deformaciones observadas en propuesta de bastidor V01, tras cumplir el requerimiento de energía de 468.08 J	70
Ilustración 8-7- Secuencia de aplicación de cargas para evaluación completa de la ROPS	73
Ilustración 8-8- Punto de aplicación y direcciones de las cargas a)Lateral, b)Vertical y c)Longitudinal	73
Ilustración 8-9- Esfuerzos máximos y mínimos presentes en la estructura durante la simulación de la prueba de ROPS	74
Ilustración 8-10- Curva fuerza-energía obtenida durante la aplicación de carga lateral	75
Ilustración 8-11- Deformación máxima presente en la estructura a lo largo de la prueba.....	76
Ilustración 8-12- ROPS en estado de máxima deformación, en color azul	76
Ilustración 8-13- Comprobación de colisión ROPS-DLV, corte longitudinal	77
Ilustración 8-14- Comprobación de colisión ROPS-DLV, corte transversal	77
Ilustración 8-15- Comprobación del LSGP.....	78
Ilustración 8-16- Cargas aplicadas en el análisis de cargas estáticas	79
Ilustración 8-17- Gráfico de contornos de los esfuerzos mínimos (arriba) y máximos (abajo) resultantes en el bastidor tras la aplicación de cargas estáticas.....	80
Ilustración 9-1- Propuesta de diseño con mejor desempeño estructural.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1- Características que distinguen un ATV y un UTV	3
Tabla 2-2- Plan de actividades del proyecto	7
Tabla 4-1- Requerimientos técnicos establecidos en el estándar ANSI/ROHVA 1. [1]	13
Tabla 6-1- Requerimientos de equipamiento y configuración establecidos en el estándar ANSI/ROHVA 1	29
Tabla 6-2- Angulo del volante contra ángulo medido en las ruedas frontales (los valores de los ángulos medidos solo son ilustrativos)	34
Tabla 6-3- Ecuaciones para fuerzas y energía de carga para la prueba de ROPS	37
Tabla 6-4- Especificaciones más comunes, obtenidas por benchmarking, para vehículos recreativos todoterreno con desplazamiento de motor menor a 180cc.	46
Tabla 6-5- Especificaciones más comunes, obtenidas por benchmarking, para vehículos recreativos todoterreno con desplazamiento de motor entre 180cc y 600cc.....	47
Tabla 6-6- Especificaciones más comunes, obtenidas por benchmarking, para vehículos recreativos todoterreno con desplazamiento de motor entre 600cc y 1000cc.....	48
Tabla 6-7- Finalidad de las preguntas incluidas en la encuesta	49
Tabla 6-8- Valor de $Z\alpha$ en función del nivel de confianza	50
Tabla 6-9- Especificaciones objetivo del vehículo recreativo todoterreno	52
Tabla 7-1- Conceptos considerados para la distribución de plazas y compartimiento de carga.	53
Tabla 7-2 Calificación de conceptos para la selección de distribución de plazas	54
Tabla 7-3- Valores de entrada definidos en el análisis de optimización topológica.	59
Tabla 7-4- Resultados de iteraciones seleccionadas del análisis de optimización topológica.	61
Tabla 8-1- Composición química de los cuatro grados de acero estructural designados por la norma ASTM A500 [34]	65
Tabla 8-2- Requerimientos mecánicos a tensión para tubería estructural circular bajo la norma ASTM A500 [34]	65
Tabla 8-3- Casos de carga evaluados (resumen del Anexo D)	67
Tabla 8-4- Comparativa de los resultados de evaluación para energía lateral de las diferentes propuestas de bastidor	71
Tabla 8-5- Calificación de conceptos para selección de bastidor.....	72
Tabla 9-1- Cumplimiento del bastidor con las especificaciones objetivo	82

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

SÍMBOLOS

J_{xx}	Momento de inercia respecto al eje X
J_{xy}	Momento centrífugo respecto a los ejes X y Y
J_{xz}	Momento centrífugo respecto a los ejes X y Z
J_{yy}	Momento de inercia respecto al eje Y
J_{yz}	Momento centrífugo respecto a los ejes Y y Z
J_{zz}	Momento de inercia respecto al eje Z
K_f	Rigidez a la flexión
K_t	Rigidez torsional
$\mu_{x,p}$	Coeficiente de fricción
$\mu_{y,p}$	Coeficiente de fricción

SIGLAS Y ABREVIATURAS

ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (American National Standards Institute)
ATV	Cuatrimoto (All-Terrain Vehicle)
cc	Centímetros cúbicos
CFRP	Plástico reforzado con fibra de carbono (Carbon Fiber Reinforced Plastic)
ci	Pulgadas cubicas
DLV	Volumen de deflexión limite (Deflection Limiting Volume)
GVWR	Clasificación de peso bruto (Gross Vehicle Weight Rating)
in	Pulgadas
kg	Kilogramos
km/h	Kilómetros por hora
LAP	Punto de aplicación de carga (Load Application Point)
lb	Libras
LDD	Dispositivo de distribución de carga (Load Distribution Device)
LSGP	Plano de tierra lateral simulado (Lateral Simulated Ground Plane)
m	Metros
Mm	Milímetros
MPH	Millas por hora
NVH	Ruido, Vibración y Dureza (Noise Vibration Harshness)
ORS	Sistema de retención de ocupantes (Occupant Retention System)
ROHVA	Asociación de Vehículos Todoterreno (Recreational Off-Highway Vehicle Association)
ROPS	Estructura de protección ante volcadura (Roll Over Protective Structure)
ROV	Vehículo recreativo todoterreno (Recreational Off-Highway Vehicle)
SxS	Side-by-Side
UTV	Vehículo utilitario (Utility Terrain Vehicle)

RESUMEN

Los vehículos recreativos todoterreno han conseguido gran popularidad en los últimos años. La variedad de usos que se da a estos vehículos los vuelve atractivos precisamente, por su versatilidad. Si bien, el uso principal de estos se tiene en actividades relacionadas al ocio, tales como turismo y competiciones deportivas, también hay un gran número de personas que les dan un uso utilitario, convirtiéndolos en una herramienta de ayuda para realizar actividades agrícolas, forestales, de rescate, entre otras.

La primera parte del presente documento es una investigación acerca de algunos temas propios de este tipo de vehículos, que van desde una descripción general y el estado actual del mercado, hasta la normativa que regula su diseño, configuración y desempeño. A partir de dicha investigación, se describe el proceso de diseño de un bastidor o estructura principal para un vehículo de este tipo, el cual contempla las necesidades de usuarios potenciales. De esta propuesta se estudia su desempeño estructural con ayuda de un software de CAE, y se dan recomendaciones para continuar con el diseño de un vehículo que haga uso de este bastidor.

ABSTRACT

In last years, recreational off-highway vehicles have reached a high popularity. The variety of applications that people give to these kinds of vehicles become them attractive, in fact because of their versatility. Although the main usage of these vehicles is about entertainment activities such as tourism and sports, some people use them in utility applications as a very helpful tool to perform farming activities, forestry, rescue, among others.

The first part of this document is an investigation about some topics typical of this category of vehicle, ranging from a general description and the current state of the market to the regulations that standardize their design, configuration and performance. Based on this investigation, the author describes the design process of a frame for a recreational off-highway vehicle, which considers the needs of potential users. Special focus is given to the structural performance, which is studied with the help of CAE software. At the end, some recommendations are given to continue with the design of a vehicle that makes use of this frame.

1 INTRODUCCIÓN

Los vehículos recreativos todoterreno han conseguido gran popularidad en los últimos años. La variedad de usos que se da a estos vehículos los vuelve atractivos precisamente, por su versatilidad. Si bien, el uso principal de estos se tiene en actividades relacionadas al ocio, tales como turismo y competiciones deportivas, también hay un gran número de personas que les dan un uso utilitario, convirtiéndolos en una herramienta de ayuda para realizar actividades agrícolas, forestales, de rescate, entre otras.

En el departamento de ingeniería automotriz de la UAT se están realizando proyectos de diseño, construcción y pruebas de vehículos eléctricos y de gasolina. Las aplicaciones típicas son las competencias internacionales tipo F-SAE, estudio del rendimiento y dinámica de los prototipos de vehículos y aplicaciones específicas orientadas a una necesidad del mercado, como es el caso de este proyecto de tesis.

La investigación de mercado llevada a cabo para este proyecto ha arrojado información útil para definir especificaciones objetivo para trabajar en el diseño de un vehículo recreativo todoterreno, comenzando con el bastidor y la evaluación estructural del mismo.

Se ha trabajado con la normativa aplicable para vehículos recreativos todoterreno, tomando en cuenta los requerimientos establecidos en ella para lograr un diseño dentro de los estándares de la industria.

Con estos datos y otros obtenidos en la literatura se generaron y evaluaron diferentes conceptos de bastidor, teniendo como resultado el diseño de una estructura robusta, apta para ser utilizada en el diseño de un vehículo recreativo completo; no obstante, cabe decir, no se considera un "diseño congelado" a saber que la integración de los sistemas restantes del vehículo demandará ciertas modificaciones en ella.

Si bien, este documento se centra en el diseño de la estructura principal, la investigación realizada y parte de los resultados obtenidos sientan las bases para continuar con el diseño del vehículo. El diseño del bastidor y del vehículo en general, constituirá uno de los primeros prototipos diseñados y fabricados en el Departamento de Ingeniería Automotriz de la Unidad de Alta Tecnología. Una de las finalidades principales es que el proyecto resulte en una buena plataforma de aprendizaje para futuras generaciones de la maestría en Ingeniería Mecánica. En este sentido, se dispone de la infraestructura material y humana de la UAT y el Laboratorio Nacional de Ingeniería Automotriz y Aeroespacial, para llevar a cabo dicho proyecto.

2 ANTECEDENTES Y CONTRIBUCIÓN

2.1 VEHÍCULOS RECREATIVOS TODOTERRENO

Un vehículo recreativo todoterreno (ROV) (Recreational Off-Highway Vehicle), mejor conocido como Side-by-Side (SxS) o Utility Terrain Vehicle (UTV), es un vehículo motorizado, diseñado para circular en cuatro o más neumáticos. Estos vehículos están destinados por los fabricantes para uso recreativo, principalmente, y podrían tener un segundo uso en aplicaciones utilitarias, en general. [1]

De acuerdo con el estándar ANSI/ROHVA 1, cuentan con las siguientes características: [1]

- Volante para el control de dirección.
- El asiento no debe ser del tipo straddle.
- Velocidad máxima superior a 30 MPH (48 km/h).
- Clasificación de peso bruto (GVWR) no mayor a 1700 kg (3750 lb)
- Anchura menor a 2030 mm (80 in), excluyendo accesorios.
- Desplazamiento de motor igual o menor a 1000 cc (61 ci).



Ilustración 2-1- CAN-AM Maverick Trail 2021. UTV de la marca BRP [4]



Ilustración 2-2- CAN-AM Outlander 2021. ATV de la marca BRP [5]

A nivel de términos y debido a la similitud en su uso, es común confundir los UTV con los All-Terrain Vehicles (ATV), vehículos todoterreno de cuatro ruedas con asientos

de estilo motocicleta y dirección de manubrio [3]; para los cuales es más común el nombre cuatrimoto o quad, en español [2]. Sin embargo, las diferencias entre ellos son notables como se puede ver en la Tabla 2-1.

Anteriormente, ATVs y UTVs estaban mayormente asociados con deportes y actividades recreativas. Sin embargo, a través del tiempo, la aplicación de estos vehículos se ha diversificado, y actualmente están siendo utilizados en el sector de la agricultura, así como patrullaje, cacería, jardinería y otras actividades

Tabla 2-1- Características que distinguen un ATV y un UTV

UTV Utility Terrain Vehicle (Ilustración 2-1)	ATV All-Terrain Vehicle (Ilustración 2-2)
<ul style="list-style-type: none"> • Existen modelos de hasta 6 plazas [2] • Asientos tipo butaca o banco [3] • Suelen incorporar un maletero [2] • Conducción mediante volante y pedales [2] • Circula en cuatro o más neumáticos [1] • La cabina está protegida con una barra estabilizadora o jaula [3] • Cuenta con cinturones de seguridad [3] 	<ul style="list-style-type: none"> • Máximo de 2 plazas [2] • Asientos tipo straddle/motocicleta [3] • Conducción mediante manillar [2] • Circula en cuatro neumáticos [3] • Generalmente más pequeño que un UTV [3]

2.2 TENDENCIA DE “LIGHTWEIGHTING” EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Desde el surgimiento del automóvil hasta la fecha, su construcción se ha sustentado, en líneas generales, en el empleo de materiales metálicos y sus aleaciones, siendo entre ellos el acero, la aleación más utilizada. Dicha preferencia se debe a las excelentes cualidades de esta aleación, comenzando con su alta resistencia mecánica, dureza y conformabilidad, unido a la abundancia de hierro en la naturaleza y su producción económica. Sin embargo, una de las desventajas del acero, resulta ser su alta densidad, lo que hace que esto influya notablemente en el aumento del peso del vehículo y de la misma forma en el incremento de su consumo de combustible. Por otro lado, durante muchos años se vio en parte comprometida la seguridad de los conductores debido a la rigidez de los parachoques contruidos de acero [9] lo cual, en caso de un choque, provocaba que la mayor parte del impacto fuera recibida por el “eslabón más débil” del automóvil: los ocupantes.

El comportamiento en la fabricación de automóviles descrito anteriormente se manifestó por un tiempo prolongado, hasta que, en los años 70, al producirse una de las mayores crisis energéticas en el planeta, las tendencias en la industria automotriz se modificaron. Todo esto llevó a la búsqueda y creación de nuevos materiales y técnicas o procesos de fabricación en correspondencia con los criterios actuales de evolución basados en la reducción del peso, el aumento de la resistencia y la seguridad, sin dejar de mencionar los costos de producción [9]. Esta es una práctica que se mantiene hasta nuestros días y ha venido evolucionando a lo largo de los años, ahora impulsada principalmente por las legislaciones que regulan las emisiones contaminantes de los vehículos.

En la actualidad, fibras, plásticos, nuevos tipos de acero y aluminio son los materiales, que encabezan la lista de componentes de las armadoras para la producción de automóviles como parte de las tendencias de innovación de la industria automotriz para hacer a los autos más ligeros, resistentes, con menor consumo de combustible y con componentes con mayor calidad [10]. La Ilustración 2-3 muestra los materiales más utilizados actualmente en la construcción de la estructura principal de un vehículo.

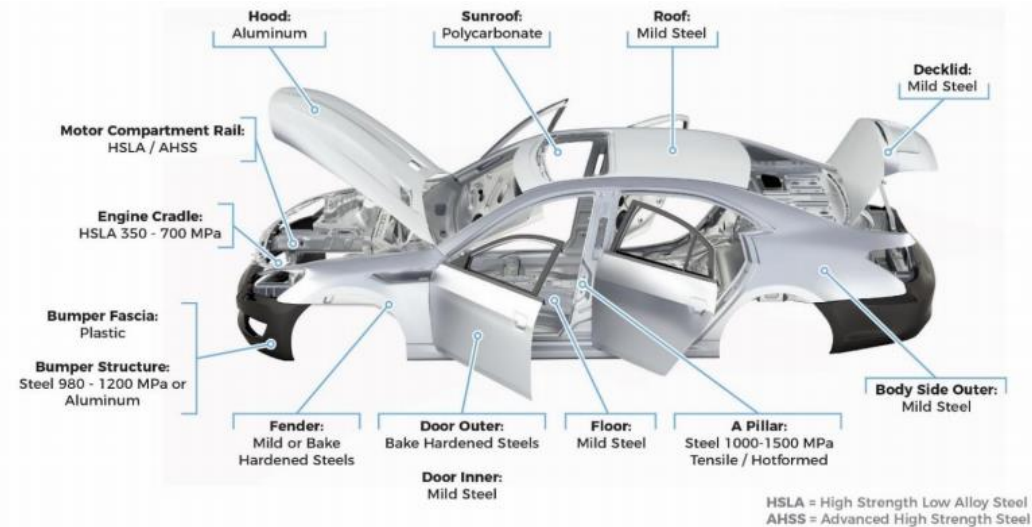


Ilustración 2-3- Materiales más comúnmente utilizados en la actualidad para los componentes de la estructura principal de un vehículo [11]

Como es de esperar la selección del material dependerá de la función del componente que forme parte del auto, de modo que por un lado habrá componentes que soportarán grandes cargas y otros que cumplirán funciones relativas a la apariencia, garantizar seguridad, cubiertas, colocación de instrumentación, organización y confort interior del vehículo, entre otros, de modo que habrá una gama amplia de materiales por elegir [9].

Durante las últimas décadas, el aluminio se ha colocado como uno de los materiales claves para los automóviles en la producción de paneles de estructura por ser más ligeros que el acero, así como bloques y bielas de los motores [10].

Otro componente clave son los plásticos, que se incluyen en 50% de los componentes del automóvil, desde las salpicaderas, botones, rejillas del aire acondicionado, manivelas, cinturones de seguridad y bolsas de aire, entre otros componentes. [10]

También se ha incrementado el uso de materiales sintéticos, como las micas, generadas por diferentes silicatos como aluminio o magnesio con potasio y sodio, por ser resistentes a altas temperaturas, que se utilizan como aislantes de calor y electricidad, focos y resistencias, entre otros. [10]

El cuarzo para la producción de vidrios y porcelana para fabricar aisladores, goma laca para conductores eléctricos; durocoton para engranajes, bujes y piezas eléctricas y celisol para placas de desgaste, revestimiento de alto impacto y abrasión, entre otros. [10]

Se estima que 75% del consumo de combustible está directamente relacionado con el peso del vehículo [14]. La demanda de autos más ligeros, seguros y eficientes asegura y promueve el rol de los plásticos en la industria en el futuro mientras sigan ofreciendo una excelente relación peso-desempeño [16].

Las aplicaciones más comunes de materiales compuestos en vehículos van desde paneles interiores y compartimentos hasta cajas y sistemas de almacenamiento en pickups, grandes paneles en autobuses y camiones, así como componentes de colisión. Otras aplicaciones pueden verse en super autos de alto perfil y deportivos para mejorar su desempeño mientras cumplen con las normativas de emisiones contaminantes. Los startups también utilizan cantidades significativas de materiales compuestos para vehículos híbridos y eléctricos con la finalidad de reducir masa y extender la autonomía. [14]

Las ventajas generales de materiales compuestos comparados con aceros para automóviles y transportación son [14]:

- 1) Reducción de peso de 20%-40%.
- 2) Flexibilidad de diseño.
- 3) Reducción de 40% -60% en el costo de herramientas.
- 4) Costo de ensamble y tiempo de operaciones reducidos.
- 5) Resistencia a la corrosión.
- 6) Reducción de NVH (noise vibration harshness).
- 7) Innovaciones en materiales y procesos, capaces de dar valor agregado mientras se reducen los costos.
- 8) Estructuras más seguras debido a que los materiales compuestos presentan mayor capacidad de absorción de energía.

La última propiedad listada vuelve a los materiales compuestos atractivos para aplicaciones de resistencia a impactos. Este comportamiento, es de hecho aprovechado desde hace tiempo en los vehículos de fórmula 1 y autos deportivos de lujo como Porsche y Mercedes Benz utilizan construcciones de materiales compuestos para sus celdas de pasajeros (Ilustración 2-4) [14].



Ilustración 2-4- Estructura de compuesto polimérico en la celda de pasajeros de un Porsche Carrera GT [15]

Los plásticos y materiales compuestos poliméricos modernos ayudan a mejorar la seguridad de los pasajeros y los diseñadores automotrices confían en su versatilidad y las posibilidades estéticas. Además, muchas resinas plásticas son reciclables. [13]

En el futuro se espera que los vehículos estén contruidos por una distribución relativa más homogénea de materiales, dando lugar a un peso total optimizado y un mejor desempeño. La Ilustración 2-5 muestra a través de una gráfica las expectativas en la composición de las carrocerías de los próximos 20 años.

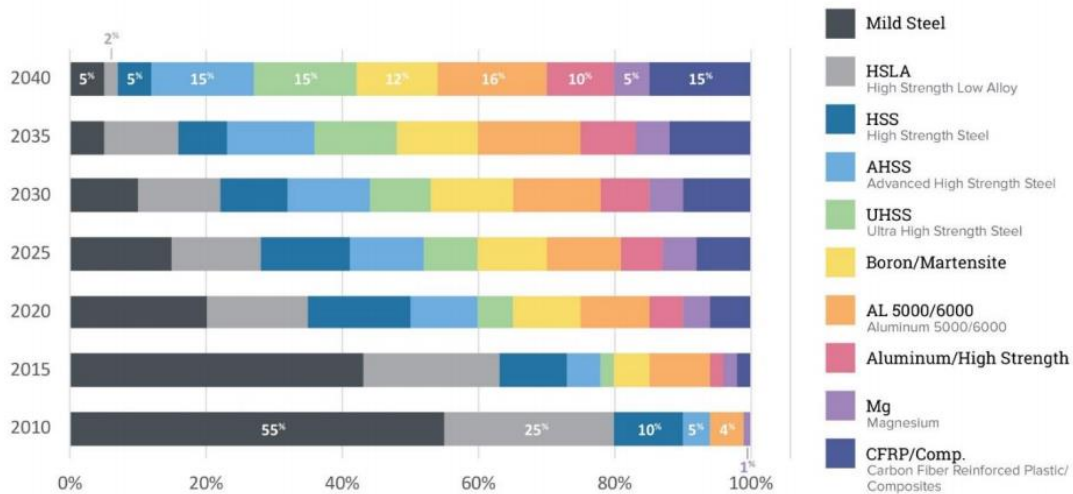


Ilustración 2-5- Distribución de material en las carrocerías de 2010 a 2040 [12]

2.3 PROPUESTA Y ALCANCE DE PROYECTO

La tendencia de optimización de peso descrita en el título 2.2 ha sido ampliamente explorada en la industria automotriz, tanto en vehículos de alto desempeño como en vehículos de competencia, pero también en vehículos mas convencionales, los cuales representan el grueso de la industria y que, con la reducción de peso, se tiene también un ahorro significativo en costos de producción.

Para el autor resulta interesante poder aplicar estas estrategias de reducción de peso en vehículos recreativos todoterreno. Este peso reducido conllevaría, entre otras ventajas, una mayor autonomía del vehículo, lo cual es crucial considerando que la mayoría de las aplicaciones de estos vehículos son campo adentro, donde difícilmente se puede encontrar una estación de recarga, ya sea de combustible fósil o de energía eléctrica.

Con base en lo planteado hasta ahora, se propone el diseño y construcción de un vehículo recreativo todoterreno (UTV) con un peso reducido y que apto para ser utilizado en aplicaciones usuales de este tipo de vehículos. Dicho vehículo será diseñado en su totalidad por el Departamento de Ingeniería Automotriz de la Unidad de Alta Tecnología, el cuál será de utilidad para el aprendizaje y trabajos de investigación de generaciones futuras de esta unidad.

El alcance planteado para el presente trabajo es el diseño del bastidor vehículo. Este trabajo de diseño requerirá de actividades de investigación previas que sirvan de base para obtener las especificaciones del vehículo, a partir de ellas se obtendrá una idea general del diseño del vehículo y de este modo se podrá trabajar en la fase conceptual y de detalle del bastidor.

La evaluación estructural del bastidor se limitará a cargas de tipo estático ya que al no tener datos completos de los demás sistemas del vehículo resultará difícil trabajar con cargas dinámicas.

2.3.1 Objetivos del proyecto

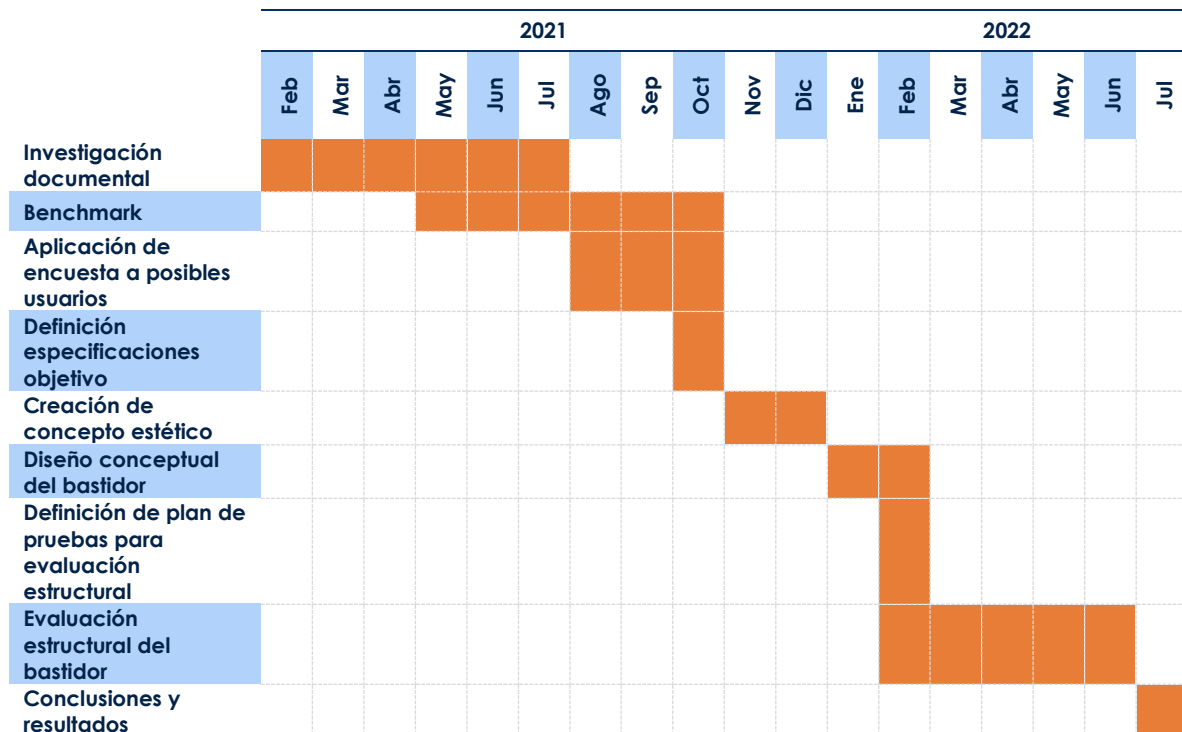
Se plantean los siguientes objetivos:

- **Objetivo general:** Diseño conceptual y de detalle del bastidor de un vehículo recreativo todoterreno.
- **Objetivos específicos:**
 1. Definición de las especificaciones del vehículo.
 2. Generación de un concepto estético preliminar del vehículo.
 3. Diseño conceptual del bastidor.
 4. Evaluación estructural del bastidor.

2.3.2 Plan de actividades

La Tabla 2-2 muestra el plan de actividades propuesto para este proyecto.

Tabla 2-2- Plan de actividades del proyecto



3 INVESTIGACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

3.1 MERCADO DE UTILITY TERRAIN VEHICLES

El rango de fabricantes de UTVs que compiten en esta industria abarca desde grandes corporaciones multinacionales hasta pequeñas compañías. Sin embargo, la participación de los cinco principales productores representa la mayor parte del mercado. [6]

Las cifras de venta de UTVs a nivel mundial por regiones para 2016 posicionaron a Norte América (Canadá, EUA y México) en primer lugar con 72.29%, seguido por Europa y Asia del Pacífico con 15.34% y 5.46% respectivamente. [6]

Para 2019, el mercado de ATV y UTV en la región de Norte América fue valuado en 5.89 billones de dólares y se anticipa que registre una tasa de crecimiento anual compuesto de alrededor de 4.81% durante el periodo comprendido entre 2020 y 2025. [7]

El mercado en América del Norte está altamente consolidado y es dominado por unas pocas marcas, incluyendo Polaris Industries Inc., American Honda Motor Co., BRP Inc., Yamaha Motor Co. y Arctic Cat Inc. Estas cinco compañías, en conjunto, representan el 90% de las ventas globales [7] como se comentó en un párrafo anterior.

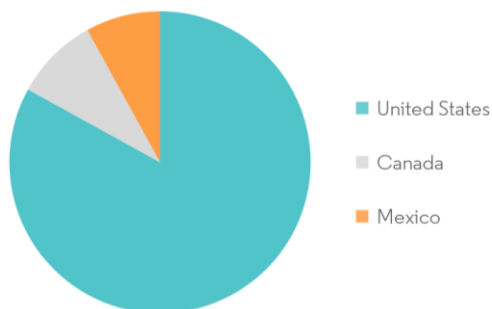


Ilustración 3-1- Participación de ingresos (%) por país en el mercado de ATV y UTV en Norte América, 2019 [8]

La creciente preferencia de personas jóvenes hacia la aventura y eventos off-road, así como la disponibilidad de un amplio número de productos con precios variados son los factores que conducen el crecimiento de la industria. [7]

En 2020, el segmento de vehículos con motores de 400cc a 800cc de desplazamiento capturó alrededor del 35% de la participación de mercado, impulsado por las prestaciones mejoradas y el alto nivel de seguridad ofrecido. La creciente cantidad de campeonatos todoterreno en Estados Unidos ha aumentado la demanda de este segmento de vehículos [28]. Este tipo de competiciones se extienden hacia el territorio mexicano; por ejemplo, el Coahuila

1000 Desert Racing, una ruta de dos etapas que consta de cuatro categorías: autos, motocicletas, ATVs y UTVs.

Este segmento de UTVs están presenciando una gran adopción en aplicaciones demandantes, tales como actividades en granjas y de transportación de bienes, esto debido a la seguridad mejorada y el alto torque y potencia entregados comparados con las variantes por debajo de 400cc. Los vehículos integrados con jaula antivuelco ofrecen a los pasajeros una mayor seguridad mientras reducen el riesgo de lesiones fatales. Las compañías de UTVs en Estados Unidos están comprometidos en la innovación y el desarrollo de vehículos avanzados que, se anticipa, incrementaran la demanda del segmento de 400cc a 800cc. [28]

Las aplicaciones recreativas representaron más del 20% de la participación de mercado de UTVs en Estados Unidos. Estas estadísticas están lideradas por el creciente uso de UTVs para diversas aplicaciones recreativas por turistas. [28]

Es preciso mencionar que los UTVs eléctricos están tomando una importante presencia en el mercado, misma que se proyecta con un rápido crecimiento en los próximos años; sobre esto se hablará en el título 3.1.1.

3.1.1 UTVs eléctricos

El en 2016, los vehículos eléctricos comprendían alrededor del 6% de todos los vehículos SxS vendidos anualmente en Norte América. [29]

El segmento de vehículos eléctricos está listo para crecer con una tasa de crecimiento anual compuesto de más de 15% hasta 2027. Mas de 4000 unidades de UTVs eléctricos fueron vendidos en 2020 en los Estados Unidos, soportado por lanzamientos de nuevos productos por los participantes de la industria. Por ejemplo, en 2018, Greenworks Commercial anunció la disponibilidad de sus nuevos modelos de UTVs eléctricos con una batería de ion-litio de 80V y una capacidad de 13.8kWh. Los ingresos del mercado están siendo dirigidos por los significativos bajos costos de operación de UTVs eléctricos comparados con los de gasolina. [28]

Varios fabricantes de ATVs y UTVs están desarrollando variantes de vehículos eléctricos de sus modelos estándar. Las crecientes áreas de aplicación para ATV y UTV eléctricos son dirigidas también por un incremento en las regulaciones de seguridad, el aumento en la demanda de mejores experiencias de manejo y los bajos costos de mantenimiento. Además, las grandes inversiones en forma de subsidios e infraestructura por parte de los gobiernos para promover el uso de vehículos eléctricos y eliminar las emisiones de dióxido de carbono también están propiciando en gran medida el crecimiento en ventas de ATVs y UTVs eléctricos. [28]

Los principales factores que obstaculizan el crecimiento del mercado de son los altos precios de venta en comparación con los vehículos equipados con motor de combustión interna, el nivel de autonomía y el alto impacto en peso de las baterías en el desempeño del vehículo. [28]

El mercado global de ATV y UTV eléctricos representó 468.9 millones de dólares en 2019 y se espera que alcance 4.3 billones en 2030. Se anticipa que el mercado crezca a una tasa de crecimiento anual compuesto de 23.37% durante el periodo de 2020 a 2030. El crecimiento de mercado se atribuye principalmente a las crecientes políticas gubernamentales para vehículos eléctricos, mejor disponibilidad de infraestructura de carga y la creciente necesidad de minimizar los niveles de emisiones de dióxido de carbono. [28]

3.2 CONFIGURACIONES DE BASTIDOR UTILIZADAS EN UTVs

La mayoría de los vehículos SxS incluyen asientos para dos o tres pasajeros. Los vehículos SxS, en los cuales el conductor y pasajeros se encuentran sentados uno al lado del otro en asientos separados longitudinalmente, se han vuelto populares debido a que permite que los pasajeros compartan la vista y la experiencia de conducción del conductor, en lugar de ser posicionados detrás, como es el caso de los ATVs. Se conocen dos estilos de SxS en el mercado; una primera versión deportiva es conocida donde el asiento del conductor tiene una posición más baja en el vehículo. La segunda versión tiene el asiento del conductor en una posición más alta. [30]

En la referencia [30] se enumeran diferentes configuraciones y/o características para el bastidor de un mismo UTV. A continuación, se describen dichas configuraciones con la intención de mostrar la variedad de arquitecturas que pueden ser logradas para esta aplicación:

1. En una configuración, el vehículo tiene un bastidor formado por tubos extendidos desde el frente hacia atrás. Un marco de asientos está localizado en la mitad del bastidor, en una posición elevada en relación a los tubos del bastidor. La transmisión es posicionada en la parte trasera del bastidor, montada en este. Los asientos son soportados por el marco de asientos y bajo los asientos se ubican una o más unidades de almacenamiento.
2. En una segunda configuración, el bastidor del vehículo cuenta con tubos que se extienden de adelante hacia atrás. El marco de asientos se localiza en la parte media del bastidor, en una posición elevada en relación a los tubos del bastidor. La transmisión se ubica en la parte trasera del bastidor, montada en este. Los asientos se soportan en el marco de asientos. La suspensión trasera comprende de al menos un brazo de alineación trasero acoplado a cada lado de la parte trasera del bastidor, donde los brazos de alineación se acoplan al bastidor de vehículo en puntos de conexión al frente y atrás. La distancia entre los puntos de conexión frontales es mayor que aquella entre los puntos traseros, y al menos una porción de la transmisión se posiciona entre los puntos de conexión frontales de los brazos de alineación.
3. Una tercera configuración, el vehículo tiene un bastidor formado por tubos extendidos desde el frente hacia atrás. Un marco de asientos está localizado en la mitad del bastidor, en una posición elevada en relación a los tubos del

bastidor. La transmisión es posicionada en la parte trasera del bastidor, montada en este. Los asientos son soportados por el marco de asientos y bajo los asientos se ubican una o más unidades de almacenamiento. La suspensión trasera tiene al menos un primer punto de conexión al bastidor, donde al menos una porción de la transmisión se posiciona en la parte trasera del primer punto de conexión.

4. En una cuarta configuración, el vehículo tiene un bastidor formado por tubos extendidos desde el frente hacia atrás. Un marco de asientos está localizado en la mitad del bastidor, en una posición elevada en relación a los tubos del bastidor. La transmisión es posicionada en la parte trasera del bastidor, montada en este. Los asientos son soportados por el marco de asientos. La transmisión se posiciona en la parte trasera del marco de asientos y se soporta en el bastidor. Al menos una unidad de almacenamiento se posiciona debajo de los asientos y el compartimento de almacenaje alberga el ensamblaje electrónico del vehículo.
5. En una última configuración, el vehículo comprende un bastidor, asientos soportados por el marco de asientos. La transmisión se soporta por el bastidor. Un dispositivo de almacenamiento soportado por el bastidor. El dispositivo del área de almacenaje cuenta con aperturas extendidas a través, y miembros atados extendidos a través de las aperturas en el lado superior del dispositivo de almacenamiento, y acoplado al lado opuesto.

3.3 INNOVACIÓN EN EL DISEÑO DE UTVS

Las compañías en el mercado, trabajan en mejorar las capacidades de sus productos. Los líderes enfatizan en reducir el peso global del vehículo para mejorar su relación peso-potencia, incrementando así la eficiencia del consumo de combustible. Al aumentar la disponibilidad y accesibilidad de UTVs se mejorará la perspectiva del mercado. [28]

Los participantes del mercado se enfocan en desarrollar mejores prestaciones de seguridad, tales como jaulas antivuelco, neumáticos "sin aire" y sistemas ABS integrados en los UTVs. [28]

3.4 CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

La variedad de usos que se da a estos vehículos los vuelve atractivos precisamente, por su versatilidad. Además de que para ciertas aplicaciones presenta ventajas significativas, por ejemplo, su tamaño relativamente pequeño, lo vuelve apto para adentrarse entre los bosques espesos en aplicaciones de rescate o cacería; otro ejemplo es el uso que se le da en actividades agrícolas y ganaderas. Por su parte las aplicaciones recreativas son cada vez más populares, desde turismo hasta competición.

El mercado de vehículos recreativos todoterreno se encuentra en auge. Los números pintan un escenario prometedor para la incursión de nuevos

competidores, pues, a pesar de ser dominado por unos pocos fabricantes, el valor del mercado es atractivo para motivar la participación en el sector.

Un factor clave para lograr un distintivo o bien, un valor agregado, es la innovación: Buscar aquellas áreas de oportunidad donde se pueden presentar ideas que representen características atractivas en cuestión de ahorro monetario o mejoras al desempeño del vehículo y que sean atractivas al usuario final. En este sentido, la ya muy conocida práctica de disminuir el peso del vehículo, buscando un ahorro en el consumo de combustible, puede ser lo suficientemente atractiva al innovar en áreas poco exploradas en este sector, como lo es el uso de materiales compuestos en elementos estructurales.

EL uso de energía eléctrica como fuente de potencia para los vehículos es un tema de actualidad y de gran interés en todas las áreas relacionadas a la industria automotriz. Los vehículos recreativos no son la excepción, y los números lo demuestran. Las cifras mostradas en el capítulo 3.1.1 y la situación global actual de migración hacia el uso de energías renovables invitan a utilizar motores eléctricos en el desarrollo de nuevos vehículos, esto acompañado de la implementación de características que beneficien aún más al ambiente, como puede ser el uso de celdas solares o frenos regenerativos.

Ya sea en vehículos impulsados por gasolina o vehículos eléctricos, la optimización de peso representa una ventaja a su autonomía, máxime en aplicaciones donde las estaciones de recarga no se encuentran fácilmente al alcance como pueden ser camping o cacería.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA VEHÍCULOS RECREATIVOS TODOTERRENO

4.1.1 ANSI/ROHVA 1

En 2008, los fabricantes de Vehículos Recreativos Todoterreno formaron la Asociación de Vehículos Todoterreno, ROHVA por sus siglas en inglés, con la intención de promover el uso seguro de ROVs, así como desarrollar estándares de seguridad para la industria de vehículos recreativos. [17]

Es así como nace el estándar ANSI/ROHVA 1, el cual establece los requerimientos mínimos para ROVs. Este estándar aborda aspectos de diseño, configuración y desempeño de ROVs, incluyendo, entre otros, requerimientos para controles de aceleración, embrague y cambios de velocidad, utilidad y desempeño del freno/mecanismo de estacionamiento, estabilidad, estructuras de protección ante volcadura (ROPS) y sistemas de retención de ocupantes (ORS). [1]

Tabla 4-1- Requerimientos técnicos establecidos en el estándar ANSI/ROHVA 1. [1]

Categoría	Requerimiento
Capacidad de velocidad máxima	Mayor a 30 MPH (48 km/h)
Desempeño del sistema de frenado	Promedio de desaceleración de frenado igual o mayor a 4.5 m/s ² (0.46 g)
Desempeño del mecanismo/freno de estacionamiento	El sistema debe ser capaz de mantener el ROV en una pendiente de grado 0.2 durante 5 min. El movimiento del vehículo no debe superar los 25 mm.
Estabilidad lateral	La prueba consiste en colocar el ROV en una mesa y dar una inclinación lateral de 24° a 30°. Por lo menos uno de los neumáticos del lado superior debe mantener contacto con la superficie. El coeficiente de estabilidad debe ser mayor o igual a 1.0.
Estabilidad de cabeceo	La prueba consiste en colocar el ROV en una mesa y dar una inclinación de 28°. Por lo menos uno de los neumáticos del lado superior debe mantener contacto con la superficie.
Estructura de protección ante volcadura (ROPS)	<ul style="list-style-type: none"> • La ROPS debe cumplir o exceder con los siguientes requerimientos: <ul style="list-style-type: none"> ○ Carga lateral: $6 * masa$ [N] ○ Energía lateral: $13000 (masa/10^4)^{1.25}$ [J] ○ Carga vertical: $19.61 * masa$ [N] ○ Carga longitudinal: $4.8 * masa$ [N] • No es necesario que la carga y energía laterales se cumplan simultáneamente. • Ninguna parte de la ROPS debe ingresar al volumen de deflexión límite (DLV) en ningún instante de las diferentes fases de la prueba. • El plano de tierra lateral simulado (LSGP) no debe ingresar al DLV en ningún instante de fase de carga lateral. • La ROPS no debe desprenderse del vehículo.
Sistema de retención de ocupantes (ORS)	<p>El requerimiento de esta prueba se especifica por zonas, según se describen en el estándar:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Las barreras de la zona 1 deberán soportar una fuerza lateral, horizontal de 222 N. ○ Las barreras de la zona 2 deben soportar una fuerza lateral, horizontal de 725 N. ○ Las barreras de la zona 3 deben soportar una fuerza lateral, horizontal de 222 N. ○ Los requerimientos de retención para la zona 4 se cumplen por la recomendación del fabricante de que cada ocupante permanezca sentado y utilice cinturón de seguridad y casco.

La Tabla 4-1 enumera algunos de los requerimientos técnicos establecidos en el estándar. Los valores mostrados surgen de pruebas o metodologías descritas detalladamente en el estándar.

4.2 DISEÑO Y ANÁLISIS DE BASTIDORES

El elemento central de cualquier automóvil es el bastidor. Este conecta los diferentes componentes del auto, alberga el sistema de transmisión y lo más importante, soporta y protege a los pasajeros y la carga. El bastidor necesita ser rígido para soportar el peso y el esfuerzo, así como para mantener juntos a todos los componentes. Además, debe resistir y amortiguar el impacto en caso de colisión para proteger a los ocupantes. Por último, necesita ser tan ligero como sea posible para optimizar el consumo de combustible y el desempeño del vehículo. [18]

Los bastidores están sometidos a cargas internas y externas. Las cargas externas vienen del contacto rueda-terreno, moviéndose a través del mecanismo de la suspensión y sus elementos elásticos; también existen cargas externas provenientes del campo aerodinámico alrededor de la carrocería. Las cargas internas son causadas por las masas del vehículo y de las cargas útiles (pasajeros y equipaje). Cargas internas significativas son producidas por las fuerzas reactivas de los elementos de suspensión del tren de potencia. [19]

Las tareas del bastidor son soportar fuerzas y cargas útiles, y contener las deformaciones consecuentes. El problema de las deformaciones debe ser abordado no solo desde el punto de vista estático sino también desde el dinámico, considerando amplitudes de vibración y el ruido que producen en el compartimento de pasajeros. [19]

4.2.1 Diseño y análisis estructural de bastidores

4.2.1.1 Cargas estáticas y propiedades de masa

El peso del vehículo siempre está presente. La reacción a esta carga viene del punto de contacto entre los neumáticos y el terreno, a través de los elementos elásticos y estructurales de la suspensión. Las suspensiones, de acuerdo a su arquitectura, distribuyen cargas reactivas en todas las direcciones, no necesariamente verticales, a través de sus conexiones con el bastidor. [19]

La distribución del peso del vehículo y sus fuerzas reactivas es una función de los pasajeros a bordo y el equipaje transportado; este arreglo de parámetros es llamado condición de peso, la cual afecta también el momento de inercia de la masa suspendida, útil para predecir el comportamiento dinámico del vehículo. [19]

Considerando el sistema de referencia estándar X, Y, Z con su origen en el centro de gravedad de la masa suspendida, el sistema del vehículo es caracterizado por un elipsoide de inercia, cuyos ejes de simetría generalmente no son coincidentes con los ejes de referencia. El tensor de inercia del vehículo es por lo tanto caracterizado por tres momentos de inercia J_{xx}, J_{yy}, J_{zz} y por tres momentos

centrífugos J_{xy}, J_{xz}, J_{yz} los cuales son a menudo despreciables, al menos en condiciones de peso vacío. [19]

La contribución de masa de los pasajeros y equipaje modifica los momentos de inercia de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$J_{ii} = J_{ii,1} + J_{ii,2} + m_1 d_1^2 + m_2 d_2^2$$

Donde los sufijos 1 y 2 se refieren a la masa inicial (de referencia) y a la masa agregada, J_{ii} es el momento de inercia del cuerpo agregado, de acuerdo con la dirección i , a través de su centro de gravedad, m es la masa agregada y d es la distancia entre el centro de gravedad de la masa agregada y la de la condición de referencia. Los momentos centrífugos pueden ser calculados con una fórmula similar. [19]

4.2.1.2 Cargas dinámicas consideradas estáticas

Las cargas externas aplicadas durante la vida del bastidor pueden clasificarse bajo dos categorías diferentes:

- Sobrecargas instantáneas
- Cargas de fatiga

Un ejemplo de la primera categoría puede entenderse imaginando lo que sucede al pasar por un badén de tamaño considerable, al golpear la guarnición de una banqueta, al frenar repentinamente en un terreno de alta fricción o arrancar en una velocidad baja. Una práctica común es considerar dichas cargas como estáticas y multiplicar sus valores por un coeficiente. Para cargas ligadas a fricción entre la rueda y el terreno se consideran coeficientes de fricción razonables $\mu_{y,p} = \mu_{x,p} = 1.2 - 1.3$. En lo que respecta a impactos, se toman en cuenta aceleraciones de 5 a 7 veces mayores que la gravedad. [19]

Las cargas de fatiga pueden entenderse al conducir por caminos accidentados con el automóvil cargado casi al límite de su capacidad. [19]

4.2.2 Diseño y análisis dinámico de bastidores

Debido a las maniobras del conductor, la estructura del bastidor es sometida a cargas que cambian en el tiempo y son agregadas a las cargas estáticas. Las fuerzas de control aplicadas en el volante de dirección y los pedales de aceleración y frenado provocan cargas adicionales en los puntos de contacto entre los neumáticos y el terreno, debido a los deslizamientos longitudinales y laterales implícitos. Esas cargas son transmitidas al bastidor por la suspensión. El resultado final son aceleraciones longitudinales y transversales que afectan el movimiento del vehículo. [19]

Las fuerzas inerciales causan, además, ángulos de cabeceo y rodadura de la masa suspendida y transferencia de cargas de una rueda a otra. [19]

Las cargas son a menudo calculadas mediante un modelo simplificado (donde las suspensiones son funcionalmente descritas por sus curvas elasto-cinéticas), subsecuentemente aplicando esas cargas a modelos multi-cuerpo o FEM de la suspensión del vehículo. [19]

La estructura del vehículo está sujeta también a cargas dinámicas provenientes de las irregularidades del terreno. Bajo esas fuerzas, los subsistemas del vehículo reaccionan dinámicamente y generan cargas en sus conexiones con el bastidor. El cálculo es hecho utilizando un modelo multi-cuerpo del vehículo entero, incluyendo todos los detalles mecánicos. [19]

4.2.3 Rigidez

La rigidez estructural juega un rol fundamental en el manejo y comportamiento vibratorio de un vehículo. Es importante limitar las deformaciones, porque cargas significativas pueden afectar su operación. [19]

La rigidez a la flexión K_f es definida como la relación entre una carga aplicada en el punto medio de la distancia entre ejes y la deflexión del mismo punto; alcanzar valores aceptables generalmente no es difícil, si otros requerimientos estructurales son cumplidos, excepto en el caso de vehículos muy largos. [19]

La rigidez torsional K_t es por su parte, la relación entre un par de giro aplicado a los cubos de rueda del eje frontal y su consecuente rotación, cuando los cubos del eje trasero son fijados al sistema de referencia. En este escenario ideal, los elementos elásticos primarios y secundarios de cada suspensión son remplazados por elementos rígidos de igual geometría. [19]

Podemos asumir que un valor objetivo razonable de rigidez a flexión debería estar establecido en el intervalo de $700 - 1000 \text{ daN/mm}$, mientras que un valor objetivo razonable de rigidez torsional se encuentra entre $70,000 - 150,000 \text{ daNm/rad}$. [19]

4.3 MÉTODOS INICIALES DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Para predecir el desempeño estructural de un vehículo es importante verificar la factibilidad de los objetivos del proyecto. [19]

Los métodos de análisis numéricos disponibles, en conjunto con la siempre creciente capacidad de procesamiento de las computadoras, son perfectamente adecuados para este propósito, pero la necesidad de modelos matemáticos detallados de la estructura hace que su aplicación sea difícil durante la fase preliminar de diseño, debido a que mucha de la información necesaria solo estará disponible en el futuro. [19]

Durante el diseño preliminar de un vehículo, es esencial tener la capacidad de sintetizar y tomar decisiones rápidamente. Esto implica la identificación de un conjunto de desempeños críticos a ser tomados bajo control dentro de los objetivos

del proyecto, comenzando con información superficial, incompleta y frecuentemente cambiante. [19]

El método de superficies estructurales y el método de vigas, son útiles y en parte intercambiables en este tipo de aplicación. [19]

4.3.1 Método de superficies estructurales

La estructura de la carrocería puede ser idealizada, para el estudio de su desempeño durante el diseño preliminar, como un sistema compuesto de vigas formando una rejilla espacial y de paneles de cierre; la contribución de estos paneles al comportamiento estructural global es bastante importante. El concepto de superficies estructurales incluye muchas suposiciones para simplificar el modelo. [19]

Una superficie estructural es un panel plano elemental que debido a su espesor limitado puede aceptar cargas contenidas solo en su plano medio; las cargas dirigidas en otras direcciones no pueden ser soportadas debido a su alta flexibilidad. La superficie estructural más simple está dada por el panel rectangular mostrado en la Ilustración 4-1, definido por dos lados de dimensiones a y b y espesor s , el cual se asume ser despreciable con respecto a las otras dimensiones. La superficie estructural definida de este modo será capaz de soportar solo momentos flectores a lo largo del eje Y y fuerzas paralelas a los lados. [19]

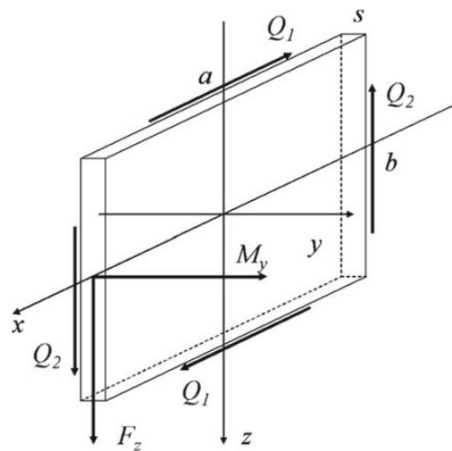


Ilustración 4-1- Representación de la superficie estructural más simple, un panel rectangular. [20]

La carrocería entera puede ser modelada como un conjunto de superficies estructurales planas, las cuales aproximen su superficie curva. La contribución de las vigas puede ser despreciada, manteniendo solo su rol de evitar la inestabilidad de la pared. Los paneles pueden tener diferentes formas, pero están siempre caracterizados por su habilidad de reaccionar a fuerzas aplicadas en su plano, únicamente, la Ilustración 4-2 muestra algunos ejemplos útiles. Un bastidor puede estar modelado por un análisis estructural simplificado como una combinación de superficies estructurales. [19]

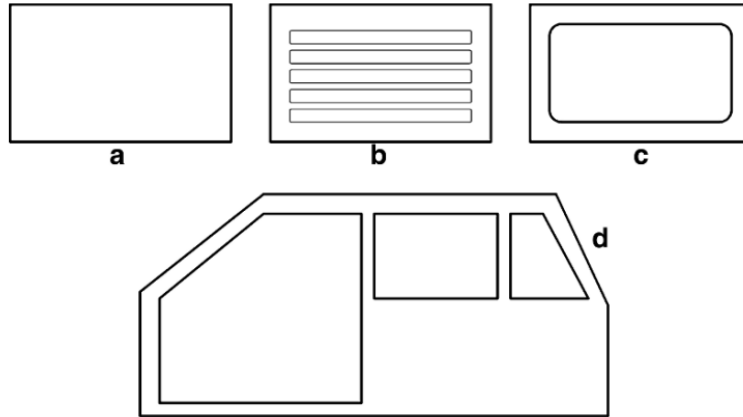


Ilustración 4-2- Ejemplos de paneles para un modelo de superficies estructurales. [21]

El siguiente caso ejemplifica la aplicación de este método: el panel AA'BB' mostrado en la Ilustración 4-3 recibe una fuerza contenida en su plano medio y con dirección hacia arriba. Es posible calcular las fuerzas cortantes que deben estar aplicadas a sus lados por los paneles contiguos. Las fuerzas cortantes reactivas en el lateral de este panel se aplicarán al panel CC'D'D' próximo y, desde este, a los paneles siguientes. Debe notarse que el panel triangular BB'C cercano no ofrece ninguna contribución, debido a que su posición es perpendicular a la dirección de la fuerza, así como los paneles del toldo y el piso. Esta regla debe seguirse para diseñar una estructura sólida. [19]

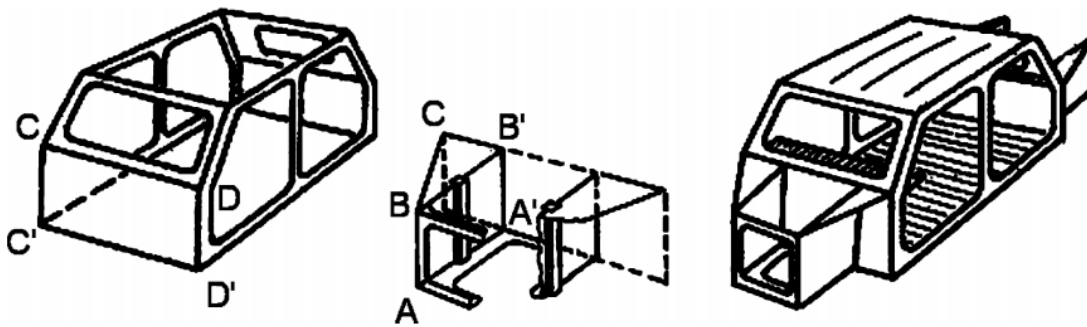


Ilustración 4-3- Modelo de superficies estructurales de un vehículo hatchback de cuatro puertas. [22]

El método de superficies estructurales tiene las siguientes ventajas:

- Permite la evaluación del comportamiento con cálculos simples.
- Permite modificaciones de diseño de una superficie individual sin la necesidad de afectar las superficies vecinas. [19]

El primer paso consiste en definir cargas en los lados de las superficies estructurales. Esas cargas pueden mantenerse constantes, como una primera aproximación, aun si su superficie será modificada: estado puede aumentar la velocidad de las evaluaciones cuando un diseño es modificado frecuentemente. El segundo paso

consiste en determinar el esfuerzo cortante en cada superficie, donde actúan las cargas previamente definidas. [19]

Los múltiples subensambles tales como los laterales del vehículo, marcos de puertas, toldo y piso pueden ser estudiados por separado como problemas planos. [19]

4.3.2 Método de vigas

Una viga es un objeto matemático que permite una descripción simplificada, en términos de esfuerzo y deformación, de la estructura del vehículo bajo la acción de cargas externas y restricciones. [19]

En diseños preliminares, los modelos numéricos más ampliamente utilizados son modelos FEM de vigas. En efecto, la viga es el elemento más simple: un segmento uniendo dos nodos con seis grados de libertad, al cual pueden ser atribuidos los rasgos característicos (área y momento de inercia) de una sección cerrada. [19]

Mediante el uso de elementos de este tipo la estructura puede describirse como un marco en el espacio formado por vigas. Sus características elásticas y de geometría son definidas únicamente por sus secciones transversales. [19]

Un modelo de vigas de la estructura de un carro se compone de:

- Elementos de viga que describen la estructura: Unen los nodos como elementos en el espacio con 12 grados de libertad (6 por cada nodo) y están caracterizados por secciones apropiadas y momentos de inercia flectores y de torsión; las contribuciones de los paneles son despreciadas o incluidas en la viga.
- Nodos de unión de las vigas que pueden ser simulados como juntas rígidas o flexibles. [19]

Un modelo de vigas puede ser sintetizado comenzando con:

- Un modelo de estilo en cuya superficie y aberturas es adaptado un marco estructural espacial.
- Modelos existentes o elementos traspasados de plataformas anteriores.
- Sección transversal estructural; si no se cuenta con ella, puede ser escalada desde carros ya existentes de la misma gama o de una base de datos preparada para este propósito. [19]

Los pasos del método son los siguientes:

- Reposicionar los modelos estructurales traspasados en el nuevo modelo de estilo.
- Identificar la posición de los nodos en la nueva estructura.
- Derivar el centro de las líneas de las superficies de estilo.
- Describir áreas y momentos de inercia de las secciones transversales de la viga.
- Identificar cargas relevantes y restricciones. [19]

El resultado de este proceso se describe en la Ilustración 4-4 para un carro pequeño.

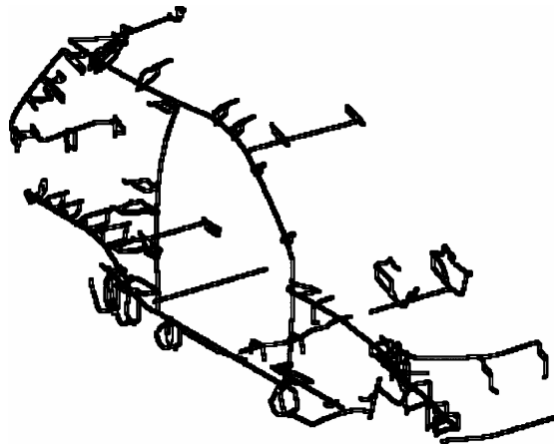


Ilustración 4-4- Esquema final de un modelo de vigas. [23]

La versatilidad de esta aproximación es fácil de entender

- Los cambios en el modelo de estilo pueden ser introducidos en el modelo reacomodando vigas debajo de la nueva superficie.
- La sección transversal de las vigas y la rigidez de los nodos pueden ser modificados fácilmente. [19]

Un modelo de síntesis de vigas también permite trazar conclusiones tentativas sobre como las diferentes partes del cuerpo contribuyen al resultado final y permite realizar una primera optimización de peso. Ampliar las dimensiones de cada sección, una a la vez, es posible para afectar el desempeño del sistema y descubrir iterativamente el arreglo de dimensiones más efectivo. [19]

Los dos métodos antes descritos, no deberían ser considerados en competencia para resolver un mismo problema. El primero, solo para cuerpos unificados, puede ser aplicado para desarrollo de conceptos involucrando la arquitectura general del cuerpo; es simple y permite considerar muchas alternativas diferentes en corto tiempo. El segundo método ofrece una mejor aproximación y puede ser aplicado después del primero para optimizar una estructura ya definida; es un método sensible a modificaciones de la apariencia estética del coche; también es más adecuado para marcos. [19]

4.4 DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN ANTE VOLCADURA (ROPS)

Una ROPS puede definirse como un sistema de miembros estructurales cuyo propósito principal es reducir la posibilidad de que un operador/ocupante que utiliza un cinturón de seguridad sea lesionado en el evento de una volcadura [1]

Diferentes estándares hacen mención de la aplicación de ROPS y describen los requerimientos que debe cumplir. No obstante, estos requerimientos tienen una

misma base y no existe variación significativa en los diferentes estándares que los describen. Tomando, por ejemplo, las ROPS utilizadas en maquinaria de construcción (citando ISO 3471) y aquellas utilizadas en silvicultura (ISO 8082), estas difieren solo en la aplicación de la carga vertical. El estándar de maquinaria de construcción permite al diseñador establecer la mejor manera de aplicar la carga vertical, mientras que el estándar de maquinaria forestal aplica la carga a través de una barra de 250 mm de ancho sobre el operador. Así una estructura que cumple con el estándar ISO 8082 cumple también con el ISO 3471, pero no al revés. [24]

Actualmente, no hay un estándar que permita verificar las estructuras de protección por medio otro medio que no sean pruebas físicas. [24]

4.4.1 Método de análisis

El diseñador debe tener las habilidades y recursos para modelar estructuras computacionalmente. Esto puede satisfacerse con un programa de elemento finito que caracterice el comportamiento de materiales elasto-plásticos, y cambie la geometría después de cada incremento de carga. La aplicación de carga en una dirección es un paso de carga discreto y pueden necesitarse varios incrementos en ese paso. Al final de dicho paso, la estructura debe resistir el requerimiento de carga y el requerimiento de absorción de energía. Después de cada paso de carga, se debe retirar la carga de la estructura y someterla nuevamente con una carga en dirección diferente iniciando en el estado de esfuerzo conseguido al final del paso anterior. [24]

El diseñador puede elegir elementos de vigas, armazones, armazones continuos o elementos sólidos para la malla del elemento finito. Los elementos de viga en las juntas de fluencia podrían no ser satisfactorios a menos que se tengan disponibles datos experimentales. La densidad de malla es de vital importancia ya que se pueden obtener diferentes resultados con diferentes densidades. [24]

En un análisis riguroso el dispositivo de distribución de carga debería ser modelado utilizando contactos que permitan a la estructura deformaciones relativas al aplicador de carga rígido. El contacto debería prevenir pandeo local pero no debe agregar rigidez a la estructura. [24]

Cálculos simples hechos a mano son típicamente requeridos en el proceso de análisis, pero no deberían ser utilizados como única herramienta. La capacidad de la estructura para ser deformada y absorber energía de la volcadura no puede determinarse por cálculos simples. Mientras la energía absorbida al deformar una cierta distancia puede ser estimada por cálculos hechos a mano, no es posible determinar confiablemente de esta manera la deformación plástica en la estructura si la deformación se aproxima o excede los niveles de seguridad del material. Una de las partes más difíciles del diseño de un marco es no exceder la deformación mínima del material. [24]

4.4.2 Diseño para absorción de energía

Al diseñar la ROPS es importante considerar cuidadosamente el componente de energía. Es un error pensar que “más fuerte es mejor” Parece obvio que al utilizar refuerzos diagonales o paneles a cortante se puede incrementar la resistencia de una estructura. Pero conseguir la deformación necesaria de la estructura para cumplir el requerimiento de energía se vuelve casi imposible. Este tipo de diseño induce potencialmente grandes cargas de impacto y quita predictibilidad al desempeño de la estructura. [24]

Una estructura diseñada para deformarse permite al diseñador aplicar cargas realistas a las conexiones soldadas o atornilladas y a la base de la máquina. Una estructura que incorpora refuerzos o paneles a corte para conseguir su resistencia es poco capaz de deformarse plásticamente para absorber la energía de la volcadura. Si la estructura está diseñada específicamente para deformarse, y el elemento donde este se impacta tiene poca capacidad de movimiento, entonces es probable que el marco se fracture en su punto más débil. [24]

La Ilustración 4-5 compara mediante una gráfica fuerza-deflexión la energía absorbida por un marco rígido y otro deformable. La gráfica muestra que en un diseño correcto las esquinas alcanzarán su límite elástico y se deformarán plásticamente, así permite el mayor desplazamiento plástico para absorber la energía. Este marco deformable alcanza el punto de plasticidad total en el punto x, pero es aun estructuralmente sólido y permite resistir un incremento gradual de carga con deflexión sustancial. El marco rígido, por su parte, alcanza una carga estática muy alta, pero es incapaz de conseguir grandes deflexiones, necesarias para lograr absorción de energía. [24]

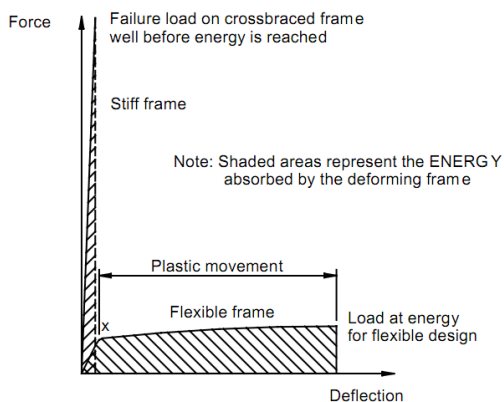


Ilustración 4-5- Grafica Fuerza-Deflexión para un marco rígido contra un marco flexible. [25]

4.4.3 Consideraciones de diseño

4.4.3.1 Selección de material

La capacidad de deformación de la estructura es crítica. También es importante que el diseño permita que la deformación ocurra como se espera. Por ejemplo, al diseñar un marco construido de secciones rectangulares huecas se debe cuidar que el pandeo de la pared lateral no provoque un colapso del marco. Este es un

problema potencial cuando se utilizan paredes de sección delgada, los cuales tienen poca habilidad para absorber la energía necesaria al mismo tiempo que mantienen solidez estructural. [24]

Materiales con valores bajos de dureza Charpy y baja ductilidad deberían evitarse. Los materiales deben tener una resistencia de impacto Charpy (V-notch, -30°C) no menor a:

- 11 J si el espécimen es de 10mm x 10mm.
- 9.5 J si el espécimen es de 10mm x 7.5mm.
- 7.5 J si el espécimen es de 10mm x 5mm.
- 5.5 J si el espécimen es de 10mm x 2.5mm. [24]

4.4.3.2 Fijación al vehículo

Se debe asegurar que la energía de la volcadura sea absorbida por la deflexión del marco, y no por su base en el vehículo. Para lograr esto, la deformación en la base del marco debería ser limitada al valor mínimo de la deformación plástica y preferentemente solo a la deformación elástica. [24]

4.4.3.3 Consideraciones de ergonomía

Es importante evitar riesgos adicionales de "diseño" que puedan hacer que otros aspectos del vehículo sean inseguros. Se debe evitar:

- Obstrucción visual a causa del marco.
- Obstrucción o bloque de accesos y/o salidas de la cabina.
- Introducir elementos peligrosos con los que el operador podría golpearse al ingresar o salir de la cabina. [24]

4.4.3.4 Cumplimiento del volumen de deflexión límite (DLV)

Este espacio está reservado solo para el operador y no debe ser invadido por el marco o los planos simulados laterales y verticales durante ninguna de las fases de carga. La manipulación del DLV está limitada a una rotación lateral o hacia adelante menor a 15°. [24]

4.5 USO DE MATERIALES COMPUESTOS EN BASTIDORES AUTOMOTRICES

El grupo de materiales plásticos compuestos reforzados con fibras se caracteriza por fibras de refuerzo de alta durabilidad tales como fibra de vidrio (GF) y fibra de carbono (CF), que están embebidos en una matriz polimérica. Los materiales de las fibras normalmente no pueden ser usados como materiales de construcción debido a que su fragilidad estaría asociada con una mayor susceptibilidad al rayado y al agrietamiento. Un material robusto para componentes estructurales solo es creado al producir fibras delgadas (GF: Ø 5–24µm; CF: Ø 5–10µm), los cuales son sumergidos en una matriz más flexible. Como un plástico reforzado con fibra de este tipo solo tiene rigidez específica y resistencia en la dirección de las fibras, estas deben estar correctamente orientadas en relación a la carga para que pueda lograrse la construcción más ligera. Con un plástico reforzado con fibra de carbono

típico, se puede lograr una rigidez de 138 GPa y una resistencia de 2400 MPa en la dirección de las fibras. A una densidad de 1.5 g/cm³, esto resulta en una resistencia específica alrededor de 10 veces mayor que una aleación de acero de alta calidad. Sin embargo, los valores de resistencia y rigidez en dirección perpendicular a las fibras son mucho más bajos. [26]

Los altos niveles de reducción de peso logrados en bastidores de metal optimizados y bien diseñados pueden ser rebasado por un uso apropiado de CFRP. Sin embargo, las estructuras de materiales compuestos optimizadas algunas veces solo pueden ser producidas manualmente y con esfuerzos considerables. Con pocas excepciones, el relativamente alto costo del desarrollo y producción de materiales han restringido el uso de estructuras de carga de CFRP en el sector automotriz a deportes de alto desempeño, por ejemplo, las estructuras monocasco de CFRP representan el estado del arte en Formula 1. Con la asistencia de proveedores especialistas, algunos fabricantes de autos deportivos están listos ya para producir series pequeñas de módulos hechos de CFRP. En Lamborghini, por ejemplo, el compartimento de pasajeros del Aventador está fabricado completamente de CFRP en una pequeña serie parcialmente automatizada. [26]

Los plásticos reforzados con fibra de carbono pueden utilizarse para construir el bastidor de un vehículo en lugar de la usual elección de metales. Sin embargo, un bastidor también puede ser hecho parcialmente de CFRP. En este caso, el resto es fabricado usualmente de aluminio y posteriormente ambas partes son atornilladas. Varios "super-autos" utilizan un cubo de fibra de carbono alrededor del compartimento de pasajeros con el resto del bastidor de aluminio extendiéndose hacia adelante y atrás del cubo. Por ejemplo, la Ilustración 4-6 muestra el bastidor híbrido del Lexus LFA con su estructura central de fibra de carbono unida a subestructuras de aluminio al frente y atrás. [18]

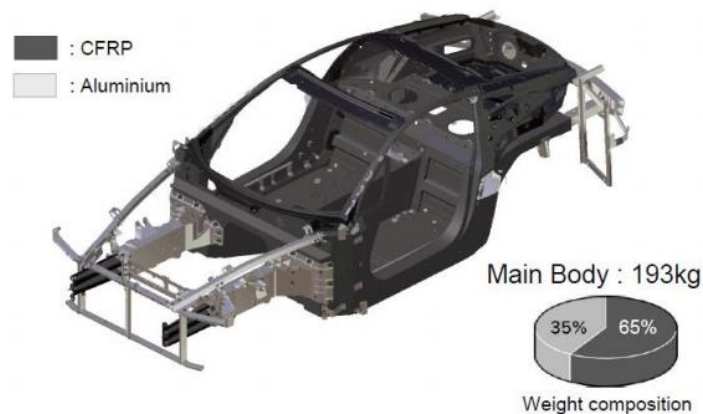


Ilustración 4-6- Bastidor de CFRP y aluminio del Lexus LFA. [27]

5 METODOLOGÍA DE DISEÑO

El ciclo básico de diseño es una unidad fundamental que se aplica de forma iterativa a lo largo de todo el proceso de diseño en una secuencia en forma de espiral convergente donde cada vez las soluciones obtenidas se aproximan más a los objetivos y requerimientos establecidos.

El modelo de etapas del proceso de diseño se basa en la idea que el diseño puede expresarse en niveles de definición [31]. Los resultados de cada una de las etapas determinan una base de información para la etapa sucesiva. En el presente trabajo se pueden identificar tres etapas descritas a continuación.

5.1 DEFINICIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PRODUCTO

Esta etapa tiene el objetivo de establecer un conjunto de determinaciones completa y suficiente que se organizan en forma de un documento de especificación. [31]

Un buen punto de partida para determinar las especificaciones de un producto que se pretenda diseñar es conocer las necesidades del cliente/usuario. El proceso de desarrollo implica una distinción entre necesidades del cliente y especificaciones del producto; esta distinción es sutil pero importante. Las necesidades son independientes; no son específicas del concepto que en última instancia perseguimos. Nótese que la palabra necesidad se refiere a cualquier atributo de un potencial producto que es deseado por el cliente; no hace distinción entre un deseo y una necesidad. [32]

Las necesidades del cliente se expresan generalmente en el "lenguaje del cliente", esto quiere decir que son típicas en términos de la calidad subjetiva de las expresiones. No obstante, mientras que esas expresiones son útiles para crear un sentido claro de los problemas que son de interés para los clientes, sirven de muy poco respecto a cómo diseñar y construir el producto. Simplemente dejan demasiado margen para interpretación subjetiva. Por esta razón, por lo general se establecen un conjunto de especificaciones que explican, con detalles precisos y medibles, lo que el producto tiene que hacer. Las especificaciones del producto no indican cómo manejar las necesidades del cliente, pero representan una base sobre lo que se deberá hacer para satisfacer las necesidades del cliente. [32]

Para productos tecnológicos, comúnmente se establecen especificaciones cuando menos en dos ocasiones. Inmediatamente después de identificar las necesidades del cliente, se establecen las especificaciones objetivo. Estas especificaciones representan las esperanzas y aspiraciones del diseñador, pero se establecen antes de conocer cuáles restricciones impondrá la tecnología para la construcción del producto. [32]

Después que el concepto del producto se ha seleccionado, se repasan las especificaciones al mismo tiempo que evalúa las restricciones técnicas reales y los

costos esperados de producción. Para establecer las especificaciones finales, con frecuencia, se deben hacer difíciles concesiones entre diferentes características deseables del producto, es decir, relaciones inversas entre dos especificaciones que son inherentes en el concepto seleccionado. [32]

En el presente proyecto, la definición de las especificaciones se realizó con base en las actividades listadas en la Ilustración 5-1, las cuales se describen con detalle en el capítulo 6.



Ilustración 5-1- Actividades base para la definición de especificaciones del vehículo recreativo.

5.2 DISEÑO CONCEPTUAL

En esta etapa se idean diversas soluciones que pueden satisfacer, en mayor o menor medida, los requerimientos del producto. Se realiza un proceso de generación de conceptos y otro de selección.

El proceso de generación de conceptos toma un conjunto de necesidades del cliente y especificaciones objetivo, lo cual da como resultado un conjunto de conceptos del producto de los que se hará una selección final. [32]

En el proceso de selección se evalúan los conceptos con respecto a las necesidades del cliente y otros criterios, comparando los puntos relativamente fuertes y débiles de los conceptos, y seleccionando uno o más de éstos para su posterior investigación, prueba o desarrollo. [32]

La etapa conceptual es en general la más innovadora y sus soluciones suelen llevar el germen de todo el desarrollo posterior. [31]

5.3 DISEÑO DE DETALLE

En esta etapa se desarrollan las piezas, elementos y conjuntos que compondrán el producto. En la actualidad, se hace amplio uso de herramientas computacionales de modelado y simulación (CAD/CAE), así como prototipado y ensayos diversos. Se tiene por objeto el despliegue de todos los documentos necesarios para la fabricación del producto. [31]

Los resultados del diseño de detalle son los planos de las piezas y conjuntos específicos, la documentación de los componentes de mercado incorporados y la relación de piezas y conjuntos (o módulos), todos ellos con su denominación, número de referencia, número de piezas, material y otras especificaciones técnicas (sobre acabados, procesos, ensayos de recepción) o de gestión (normas de aplicación, suministradores, contratistas). [31]

Algunos autores hacen una distinción de las actividades enumeradas en el primer párrafo, identificando una etapa intermedia al diseño conceptual y de detalle, llamada *diseño de materialización* o *diseño de configuración*. En esta etapa se lleva a cabo propiamente el desarrollo de los componentes del producto, teniendo como objetivo materializar el producto por medio de un conjunto organizado de piezas, componentes, enlaces, uniones y otros elementos que se harán realidad a través de los materiales, las formas, las dimensiones, los acabados superficiales y otras determinaciones. El resultado de esta etapa intermedia se da en forma de los planos de conjunto del producto o sistema que muestran cómo se articulan las diferentes partes para formar el conjunto montado, donde las piezas y elementos corresponden a la versión final materializada (o sea, con las formas y dimensiones reales). Los planos de conjunto se acompañan de una memoria anexa con los aspectos más relevantes de los trabajos (soluciones adoptadas y descartadas, con los motivos), hipótesis de partida, cálculos y simulaciones, así como referencias de los prototipos y ensayos realizados con los resultados. [31]

6 ESPECIFICACIONES DEL VEHÍCULO

Como se mencionó en el capítulo 5.1, se llevaron a cabo diferentes actividades que sirvieron como base para establecer las especificaciones del vehículo. En el presente capítulo se describen dichas actividades y al final se indican las especificaciones que fueron definidas.

6.1 REQUERIMIENTOS DEL ESTÁNDAR ANSI/ROHVA-1

El estándar ANSI/ROHVA 1 establece los requerimientos para ROVs. Este estándar aborda aspectos de diseño, configuración y desempeño de ROVs, incluyendo, entre otros, requerimientos para controles de aceleración, embrague y cambios de velocidad; controles del motor, iluminación, neumáticos, utilidad y desempeño del freno/mecanismo de estacionamiento, estabilidad lateral y en cabeceo, estructuras de protección ante volcadura (ROPS) y sistemas de retención de ocupantes (ORS) [1]. Dicho documento es utilizado aquí como una guía para la selección de requerimientos técnicos y consideraciones de diseño.

El estándar ANSI/ROHVA 1, enlista en su sección de definiciones algunas características que debe tener un vehículo para entrar dentro de la clasificación de vehículos recreativos todoterreno, estas características son:

- Volante para el control de dirección.
- El asiento no debe ser del tipo straddle.
- Velocidad máxima superior a 30 MPH (48 km/h).
- Clasificación de peso bruto (GVWR) no mayor a 1700 kg (3750 lb)
- Anchura menor a 2030 mm (80 in), excluyendo accesorios.
- Desplazamiento de motor igual o menor a 1000 cc (61 ci).

Es evidente que las características antes mencionadas deben ser obligatoriamente consideradas para la definición de las especificaciones en la sección 6.4.

Los siguientes títulos describen otros requerimientos establecidos por el estándar, que son tomados en cuenta en este trabajo de desarrollo. Para mayor detalle o resolución de posibles dudas, referirse directamente al estándar.

6.1.1 Equipamiento y configuración

La Tabla 6-1 enumera los requerimientos relacionados con el equipamiento del vehículo y su configuración.

Tabla 6-1-Requerimientos de equipamiento y configuración establecidos en el estándar ANSI/ROHVA 1

Categoría		Requerimiento
Frenos de servicio		Frenos delanteros y traseros que son operados por un pedal único. [1]
Freno/Mecanismo de estacionamiento		Freno o mecanismo de estacionamiento capaz de mantener estacionado el ROV. [1]
Controles del motor	Dispositivo de paro del motor	Dispositivo de paro del motor accesible al operador mientras se encuentra sentado en la posición normal de operación. Un interruptor operado por llave cumple el requerimiento. [1]
	Control de velocidad	Equipado con un método para controlar la Fuente de potencia mediante el uso de un pedal de aceleración. [1]
Controles del tren de potencia (transmisión)	Control manual del embrague	Los ROVs equipados con un embrague manual deberán tener un pedal de embrague para su control. [1]
	Control manual de la caja de cambios.	Los ROVs equipados con un control de cambios manual deberán tener cada cambio marcado para el operador. [1]
	Arranque eléctrico de enclavamiento	En todos los ROVs impulsados por motores de combustión interna se deberá incluir un arranque eléctrico de enclavamiento para prevenir que el motor se encienda por arranque eléctrico a menos que el embrague este desacoplado, la transmisión se encuentre en neutral o "park", o el freno este aplicado [1].
Control de dirección		Volante de dirección para el control de dirección. [1]
Agarradera		Al menos una agarradera para cada asiento posicionado en el lado exterior del ROV. Dichas agarraderas deberán ser diseñadas de tal manera que cada una resista, sin falla, una fuerza vertical de 500 N (112 lbf) tanto hacia arriba como hacia abajo, aplicada estáticamente al centro de la superficie de la agarradera a una presión máxima de 0.5 MPa (75 psi). Las agarraderas deberán ser diseñadas para permitir a los pasajeros desocupar el vehículo sin interferencia de las agarraderas. El volante de dirección podrá ser considerado una agarradera para el operador del ROV. [1]
Estructura de protección contra volcaduras (ROPS)		Cumple los requerimientos del estándar ISO 3471 como se especifica en la sección 10 del estándar ANSI/ROHVA 1. [1]
Sistema de retención de ocupantes (ORS)		Los sistemas de sujeción de los ocupantes cumplen los requerimientos de la sección 11. [1]
Supresor de chispa		Los ROVs equipados con motor de combustión interna deberá tener un supresor de chispa. [1]
Neumáticos		Todos los ROVs deberán estar equipados con neumáticos que tienen límites de carga clasificados colectivamente para transportar, como mínimo, un ROV y su GVWR (el peso máximo permitido del vehículo recomendado por el fabricante). [1]

6.1.2 Capacidad de velocidad máxima

La capacidad de velocidad máxima deberá ser mayor a 30 MPH (48 km/h). La prueba de cumplimiento de este requerimiento deberá ser realizada con el vehículo vacío, únicamente con el peso del operador. Si el operador pesa menos de 98 kg (215 lb), entonces la diferencia en peso deberá ser agregada al vehículo,

para representar un peso de 98 kg (215 lb). La superficie de prueba deberá ser asfalto liso o concreto limpio, seco, con menos de 1° (1.7%) de grado. [1]

El operador de prueba, sentado en una posición normal, deberá acelerar el vehículo hasta la máxima velocidad alcanzada, y la deberá mantener por lo menos 30.5m (100 ft). La prueba deberá consistir de un mínimo de dos mediciones, conduciendo sobre la misma pista, en direcciones opuestas. Si se llevan a cabo más de dos mediciones, deberán ser en igual número para ambas direcciones. [1]

La capacidad de velocidad máxima del ROV deberán ser el promedio aritmético de las mediciones realizadas. [1]

6.1.3 Desempeño de los frenos de servicio

El peso de prueba del ROV será el GVWR del vehículo (incluido el peso del operador y la instrumentación), con cualquier peso adicional asegurado a los asientos o al área de carga. La superficie de prueba deberá ser asfalto liso o concreto limpio, seco, con menos de 1° (1.7%) de grado. La temperatura ambiente deberá ser entre 0°C (32°F) y 38°C (100°F). [1]

Determinar la velocidad de prueba de frenado (V), es decir, la velocidad múltiplo de 8 km/h (5 MPH), esto es 6km/h (4 MPH) a 13 km/h (MPH) menos que la capacidad de máxima velocidad. Esta debe determinarse siguiendo el procedimiento descrito para evaluar la capacidad de máxima velocidad. [1]

Se deben realizar un total de diez pruebas de frenado:

- Las primeras seis pruebas deben realizarse a la velocidad de prueba de frenado o 48 km/h (30 MPH), lo que sea menor. Las pruebas deben hacerse aplicando solo el freno de servicio, y las desaceleraciones deberán ser de 1.96 m/s² a 4.9 m/s² (0.2g a 0.5g). [1]
- Las siguientes cuatro detenciones se realizarán a partir de la velocidad de prueba de frenado, aplicando solo los frenos de servicio. Se medirá la velocidad inmediatamente antes de aplicar el freno. Se deben utilizar marcadores o instrumentación apropiados para indicar con exactitud el punto de aplicación del freno. Medir la distancia de frenado (S). Todos los ROVs deben ser capaces de realizar al menos una detención que demuestre un porcentaje de desaceleración mayor o igual a 4.5 m/s² (0.46 g). [1]

La desaceleración promedio puede determinarse de acuerdo a la siguiente formula, también pueden utilizarse dispositivos de instrumentación para la adquisición apropiada de las mediciones. [1]

$$a = \frac{V^2}{25.92 S}$$

Donde:

a = desaceleración promedio [m/s²]

S = distancia de frenado [m]

V = velocidad de prueba de frenado [km/h]

Para todos los ROVs, la fuerza de actuación del pedal de freno no debe ser menor a 44 N (10 lbf) ni mayor que 555 N (125 lbf). [1]

6.1.4 Desempeño del freno/mecanismo de estacionamiento.

El peso de prueba del ROV será el GVWR del vehículo (incluido el peso del operador y la instrumentación), con cualquier peso adicional asegurado a los asientos o al área de carga. La superficie de prueba deberá ser asfalto liso o concreto limpio, seco, con menos de 11.4° (20%) de grado. [1]

Posicionar el vehículo mirando cuesta abajo en la superficie de prueba, con el eje longitudinal del ROV en la dirección de la inclinación y aplica el freno de servicio. Colocar la transmisión en neutral y aplicar el freno/mecanismo de estacionamiento. La fuerza de actuación del freno no debe exceder 400 N (90 lbf) para un control manual o 555 N (125 lbf) para un control de pedal. Si el ROV está equipado con un mecanismo de estacionamiento, debe permitir que el tren de transmisión se bloquee. Dejar el ROV en reposo por 5 minutos. Repetir la prueba con el vehículo mirando cuesta arriba en la superficie de prueba. [1]

El freno o mecanismo de estacionamiento debe ser capaz de mantener el ROV estacionado en la superficie de prueba, al límite de tracción de los neumáticos en las ruedas frenadas, por 5 minutos en ambas direcciones, cuesta arriba y cuesta abajo. El movimiento del vehículo durante este periodo no deberá exceder 25mm (1 in). [1]

6.1.5 Estabilidad lateral

Los ROVs deberán cumplir los requerimientos de estabilidad lateral descritos a continuación. Las pruebas de mesa inclinable deberán realizarse en dos tipos de configuración: vehículo cargado y vehículo con operador y pasajeros. [1]

6.1.5.1 Prueba de mesa inclinable

El vehículo debe encontrarse en condición estándar (sin accesorios), las ruedas deben estar infladas según las especificaciones normales de operación, los fluidos deberán estar al nivel recomendado y el tanque de combustible lleno. Las ruedas directoras deben mantenerse rectas hacia el frente. [1]

El ROV deberá ser cargado de tal manera que el peso del ocupante o uno equivalente se coloque en cada asiento tal que el centro de gravedad del vehículo se localice 152mm (6in) por encima del punto más bajo de la superficie de soporte del ocupante y 254mm (10 in) hacia adelante del respaldo del asiento. Una carga de prueba deberá ser asegurada y distribuida de manera uniforme en el (las) área(s) de carga de tal manera que los límites de carga y la clasificación del peso bruto del vehículo (GVWR) no sea excedido de acuerdo con lo siguiente: [1]

- Cargar la cantidad apropiada de arena en la caja de carga. La gravedad específica de la arena no deberá exceder 1.8. La arena puede estar en bolsas para facilitar la forma y aseguramiento de la carga. [1]
- La carga deberá ser distribuida uniformemente por el piso de la caja de carga hasta alcanzar la altura de los laterales de la caja o se haya agregado la carga apropiada. [1]
- Si se requiere carga suplementaria para alcanzar el límite de la caja de carga o el GVWR, entonces se debe colocar encima de la carga existente de manera cónica sin extender artificialmente los lados de la caja. Esta carga suplementaria deberá permanecer centrada en la caja de carga desde una vista superior. [1]

La plataforma de prueba deberá ser rígida, plana y construida para ser una mesa inclinable de pendiente ajustable o un dispositivo similar con un acabado superficial que proporcione un coeficiente de fricción mínimo de 1.0 o un riel, tope u otro medio no mayor a 25 mm (1 in) de altura, adecuado para prevenir el deslizamiento de los neumáticos bajo condiciones de prueba normales. La superficie de la plataforma deberá ser lo suficientemente larga para soportar todas las ruedas del vehículo. [1]

El ROV con las cargas de prueba en posición deberá colocarse en la plataforma inclinable de tal manera que una línea a través del centro de los dos neumáticos más bajos sea paralela al eje de inclinación de la mesa y las ruedas directoras de la maquina deberán colocarse rectas hacia el frente. [1]

La estabilidad del vehículo deberá ser determinada directamente por una inclinación lenta de la plataforma hasta alcanzar:

- a) Configuración de carga: 24° (44.5%). [1]
- b) Configuración de operador y pasajeros: 30° (57.7%). [1]

Lentamente, regresar la plataforma al nivel inicial. La prueba debe llevarse a cabo para ambos lados del vehículo. [1]

El cumplimiento de la prueba de estabilidad lateral deberá requerir que al menos uno de los neumáticos de soporte o los neumáticos en el lado alto se mantengan en contacto con la superficie. [1]

6.1.5.2 Coeficiente de estabilidad (K_{st})

El vehículo debe encontrarse en condición estándar (sin accesorios), las ruedas deben estar infladas según las especificaciones normales de operación, los fluidos deberán estar al nivel recomendado y el tanque de combustible lleno. Las ruedas directoras deben mantenerse rectas hacia el frente. [1]

La altura del centro de gravedad deberá ser determinada por el método de ángulo de equilibrio u otro método significativamente válido que produzca resultados comparables y repetibles. [1]

El coeficiente de estabilidad (K_{st}) no debe ser menor a 1.0: [1]

$$K_{st} = \frac{Lt_2 + L_{cg}(t_1 - t_2)}{2LH_{cg}}$$

Donde:

L_{cg} = Posición del centro de gravedad por delante del eje trasero.

H_{cg} = Posición del centro de gravedad por encima del plano del suelo.

t_1 = Ancho de vía delantera.

t_2 = Ancho de vía trasera.

L = Distancia entre ejes.

6.1.5.3 Estabilidad dinámica

La superficie utilizada para esta prueba deberá ser construida de asfalto o concreto con un coeficiente mínimo de 0.9 cuando es medido de acuerdo con el estándar ASTM E1337. La pendiente de esta superficie no deberá ser mayor a 1° (1.7% de grado). LA superficie debe estar seca y mantenerse libre de impurezas y sustancias que puedan afectar los resultados de la prueba. [1]

El vehículo debe encontrarse en condición estándar (sin accesorios), las ruedas deben estar infladas según las especificaciones normales de operación, los fluidos deberán estar al nivel recomendado y el tanque de combustible lleno. [1]

El ROV deberá ser cargado de tal manera que el peso combinado del operador, equipo de prueba (incluidos los estabilizadores) y el contrapeso, si lo hubiera, deberá ser igual 195 ± 5 kg (430 ± 11 lb) a menos que el ROV sea destinado para un solo ocupante, en cuyo caso el peso combinado deberá ser igual a 98 ± 5 kg (215 ± 11 lb). [1]

Los vehículos de prueba deberán estar equipados con estabilizadores en ambos lados del vehículo. Estos estabilizadores deberán estar diseñados para influir mínimamente en los resultados de la prueba y estar contruidos para ser suficientemente fuertes para resistir la volcadura del vehículo. El vehículo de prueba instrumentado deberá ser conectado a un sistema de adquisición de datos. [1]

Previo a la prueba, se debe colocar el volante de dirección en su ángulo objetivo, para lo cual es requerido el siguiente equipo: [1]

1. Placas de radio de alineación de dirección izquierda y derecha. Estos dispositivos soportan los neumáticos delanteros sobre placas de baja fricción que indican el ángulo de dirección de las ruedas delanteras.
2. Indicador de ángulo del volante de dirección.

A continuación, se describe el método para determinar el ángulo objetivo del volante de dirección: [1]

1. Configurar el vehículo como sigue:

- a. Neumáticos frontales centrados cada uno en placas de radio para permitir la rotación libre de la dirección en todo el rango de giro.
 - b. Ruedas traseras sobre calzas, si es necesario, para lograr una inclinación nivelada del vehículo.
 - c. Indicador del ángulo del volante de dirección montado e indicando cero cuando las ruedas frontales están alineadas.
 - d. Placas de radio ajustadas para indicar un ángulo cero cuando las ruedas frontales están alineadas.
2. Medir la distancia entre ejes, promediando los valores del lado derecho e izquierdo.
 3. Mover el volante de dirección hacia cada uno de los ángulos mostrados en la Tabla 6-2. Registrar los ángulos izquierdo y derecho de dirección medidos.

Tabla 6-2- *Ángulo del volante contra ángulo medido en las ruedas frontales (los valores de los ángulos medidos solo son ilustrativos)*

Ángulo del volante de dirección [deg]	Ángulo de dirección medido [deg]	
	Izquierdo	Derecho
0	0	0
45	2	2.25
90	4.75	5
135	8.5	9
180	11.25	12.25
270	16.5	18
360	23.5	26
-45	-3	-3
-90	-7	-6.75
-135	-10	-9.25
-180	-12.5	-11.75
-270	-20.25	-18.75
-360	-26.75	-23.75

4. Crear una gráfica del ángulo del volante contra los ángulos medidos. Utilizando mínimos cuadrados, encontrar los polinomios de tercer orden cuya grafica (línea) se ajuste a los resultados, forzándola a pasar por el origen de la gráfica.
5. Determinar el ángulo de Ackerman para un radio de giro de 7.6 m (25 ft) en la línea central del vehículo:

$$\text{Ángulo de Ackerman} = \arctan\left(\frac{\text{Distancia entre ejes}}{\text{Radio de giro}}\right)$$

6. Utilizando los polinomios obtenidos en la regresión de mínimos cuadrados, determinar el ángulo del volante individual para cada dirección de giro y para cada rueda frontal, correspondiente al ángulo de Ackerman calculado.
7. Determinar el ángulo objetivo del volante, el cual es el promedio de los valores absolutos de los cuatro ángulos individuales calculados en el paso 6.

Una vez conocido en valor del ángulo objetivo, se procede con la prueba: [1]

1. Establecer el tren de transmisión en su configuración más abierta. Por ejemplo y si es posible, se deberá utilizar tracción en dos ruedas en lugar de cuatro.
2. Girar el volante de dirección contra un tope mecánico fijado al ángulo objetivo del volante de dirección.
3. Iniciar el sistema de adquisición de datos.
4. Registrar varios segundos de datos mientras el vehículo se encuentra en estado estacionario para establecer una referencia a "cero".
5. Acelerar lentamente el vehículo manteniendo el volante contra el tope mecánico. LA aceleración del vehículo deberá limitarse a no más de 1 mi/h/s.
6. Continuar acelerando hasta:
 - a. Sea alcanzada una aceleración lateral corregida de por lo menos 0.6g.
 - b. Una aceleración lateral corregida mínima de 0.6g no pueda ser alcanzada y:
 - i. Ocurra un levantamiento de dos pulgadas o más en dos ruedas, o
 - ii. Los incrementos aplicados en la aceleración del vehículo no resulten en un aumento de velocidad.
7. Repetir el procedimiento para ambas direcciones de giro para cada vehículo de prueba. Para cada dirección, la prueba deberá realizarse un mínimo de 5 repeticiones.

La aceleración lateral corregida mencionada en el punto 6 es calculada al procesar los datos recabados durante la prueba de acuerdo a los criterios detallados en la sección 8.3.5 del estándar ANSI/ROHVA 1.

El vehículo pasará la prueba dinámica si por lo menos ocho de los diez ensayos no dan como resultado un levantamiento igual o mayor a 50 mm (2 in) de dos ruedas del lado interior de la curva. [1]

6.1.6 Estabilidad de cabeceo

El vehículo debe encontrarse en condición estándar (sin accesorios), las ruedas deben estar infladas según las especificaciones normales de operación, los fluidos deberán estar al nivel recomendado y el tanque de combustible lleno. Las ruedas directoras deben mantenerse rectas hacia el frente. [1]

El ROV deberá ser cargado de tal manera que el peso del ocupante o uno equivalente se coloque en cada asiento tal que el centro de gravedad del vehículo se localice 152mm (6in) por encima del punto más bajo de la superficie de soporte del ocupante y 254mm (10 in) hacia adelante del respaldo del asiento. Una carga de prueba deberá ser asegurada y distribuida de manera uniforme en el (las) área(s) de carga de tal manera que los límites de carga y la clasificación del peso bruto del vehículo (GVWR) no sea excedido de acuerdo con lo siguiente: [1]

- Cargar la cantidad apropiada de arena en la caja de carga. La gravedad específica de la arena no deberá exceder 1.8. La arena puede estar en bolsas para facilitar la forma y aseguramiento de la carga. [1]
- La carga deberá ser distribuida uniformemente por el piso de la caja de carga hasta alcanzar la altura de los laterales de la caja o se haya agregado la carga apropiada. [1]

Si se requiere carga suplementaria para alcanzar el límite de la caja de carga o el GVWR, entonces se debe colocar encima de la carga existente de manera cónica sin extender artificialmente los lados de la caja. Esta carga suplementaria deberá permanecer centrada en la caja de carga desde una vista superior. [1]

La plataforma de prueba deberá ser rígida, plana y construida para ser una mesa inclinable de pendiente ajustable o un dispositivo similar con un acabado superficial que proporcione un coeficiente de fricción mínimo de 1.0 o un riel, tope u otro medio no mayor a 25 mm (1 in) de altura, adecuado para prevenir el deslizamiento de los neumáticos bajo condiciones de prueba normales. La superficie de la plataforma deberá ser lo suficientemente larga para soportar todas las ruedas del vehículo. [1]

Colocar el vehículo con carga sobre la plataforma inclinable de tal manera que la línea central longitudinal sea perpendicular al eje de inclinación de la plataforma. El extremo delantero del ROV deberá estar orientado hacia el eje de inclinación de la plataforma. Inclinarse lentamente hasta alcanzar una pendiente de 28° (53.2% de grado). Regresar la plataforma lentamente a su posición inicial. Repetir el procedimiento con el extremo trasero orientado hacia el eje de la inclinación de la plataforma. [1]

El cumplimiento de esta prueba requiere que al menos uno de los neumáticos en el extremo superior de la plataforma inclinada se mantenga en contacto con la superficie. [1]

6.1.7 Estructura de protección contra volcaduras (ROPS).

Un dispositivo de pruebas deberá asegurar rígidamente el marco del vehículo durante la aplicación y medición de las fuerzas, absorción de energía y deflexión de la ROPS. [1]

Se debe retirar del vehículo cualquier puerta, parabrisas y techo convertible y bajar las ventanas móviles restantes. Remover de la ROPS cualquier accesorio no estructural (luces, cubierta, etc.). [1]

La fijación del marco del ROV al dispositivo de pruebas de la ROPS será a través de los ejes frontal y trasero. El sistema de suspensión puede ser bloqueado mecánicamente para prevenir movimientos durante la aplicación de cargas a la ROPS. Alternativamente, el marco del ROV puede someterse a la prueba sin los sistemas de transmisión y suspensión. En ese caso, la fijación del marco al dispositivo de pruebas será en los puntos donde el sistema de suspensión se conecta al marco

del vehículo. En todos los casos, el marco deberá ser elevado por encima del dispositivo de pruebas para evitar soportes adicionales del marco que no sean los puntos de fijación iniciales. [1]

Todas las fuerzas y energías de carga de la ROPS deberán ser calculados de acuerdo a la Tabla 6-3, entendiéndose m como la masa máxima recomendada por el fabricante, expresada en kg, esto incluye accesorios en condición de operación, con todos los depósitos llenos a máxima capacidad, herramientas y ROPS. Excluye el peso del equipo remolcado. La masa máxima recomendada por el fabricante debe ser calculada considerando el peso en vacío del vehículo. Si la masa calculada es menor de 700 kg, entonces se deberá utilizar 700 kg para los cálculos la Tabla 6-3. [1]

Tabla 6-3- Ecuaciones para fuerzas y energía de carga para la prueba de ROPS

Masa [kg]	Fuerza lateral [N]	Energía lateral [J]	Fuerza vertical [N]	Fuerza longitudinal [N]
m	$6m$	$13000 \left(\frac{m}{10^4}\right)^{1.25}$	$19.61m$	$4.8m$

La secuencia de aplicación de carga deberá ser lateral, vertical y longitudinal. No se permite el enderezamiento o reparación de ROP durante o entre las secuencias de aplicación de carga. [1]

6.1.7.1 Aplicación de carga lateral

1. En los casos donde no existan miembros transversales traseros que puedan transferir la carga sin pandeo, el dispositivo de distribución de carga (LDD) - un dispositivo utilizado para prevenir penetración localizada de los miembros de la ROPS en el punto de aplicación de carga (LAP)- deberá abarcar la longitud de la ROPS. En los demás casos, el dispositivo no deberá distribuir la carga sobre una longitud mayor al 80% de la longitud de la ROPS. [1]
2. Para ROPS de barras redondas, el LAP deberá estar sobre el mismo plano del miembro transversal más alto. [1]
3. Para las ROPS de uno o dos postes, el LAP deberá ser dictado por la longitud L y la proyección vertical del lado o borde más cercano del volumen de deflexión límite (DLV). El LAP no deberá ubicarse dentro de una distancia $L/3$ medida desde la cara exterior trasera de la ROPS. Si el punto $L/3$ se sitúa entre la cara posterior de la ROPS en el lado del poste y la intersección del plano límite (BP) del DLV más cercano al poste con el miembro estructural lateral, el LAP deberá ser alejado del poste lateral hasta que alcance por lo menos el BP del DLV. [1]
4. Para una ROPS con más de dos postes, el LAP deberá localizarse entre la proyección vertical de los BP frontal y trasero del DLV. [1]
5. Cuando el (los) asiento(s) del operador/ocupantes estén fuera de la línea central longitudinal de la máquina, la carga deberá ser contra el lado externo del miembro estructural lateral más cercano a cualquiera de los asientos. Cuando el asiento del operador este sobre la línea central

longitudinal de la máquina, si la ROPS y su montaje son tales que se produzcan diferentes resultados de fuerza-deflexión al cargar por el lado izquierdo o derecho, el lado de aplicación de carga deberá ser aquel que represente los requerimientos de carga más severos. [1]

6. La dirección inicial de la carga deberá ser horizontal y perpendicular al plano vertical a través de la línea central longitudinal de la máquina. A medida que la aplicación de carga continúe, se pueden presentar deformaciones representativas que provoquen un cambio en la dirección de aplicación de la fuerza. Esto es permitido. [1]
7. La aplicación de carga puede ser considerada estática si la tasa de deflexión en el LAP no es mayor a 5mm/s. Los valores de fuerza y deflexión en el LAP, deberán ser registrados en incrementos de deflexión no mayores a 15mm. La aplicación de carga continuará hasta que se alcancen los niveles de fuerza y energía de acuerdo con la Tabla 6-3. El método para calcular la energía U es mostrado en la Ilustración 6-1. La deflexión medida utilizada para calcular la energía es la de la ROPS a lo largo de la línea de fuerza aplicada. La deflexión del sistema de montaje de la ROPS y el marco de la máquina puede ser incluida en la deflexión total; sin embargo, la deflexión del dispositivo de pruebas debe ser excluida. Si el marco se deflexiona/deforma durante la aplicación de carga de la ROPS, se debe prestar especial atención a los materiales seleccionados para la construcción del marco en términos de requerimiento de temperatura/materiales para la ROPS, es decir, el marco funciona como parte de la ROPS al absorber energía. [1]

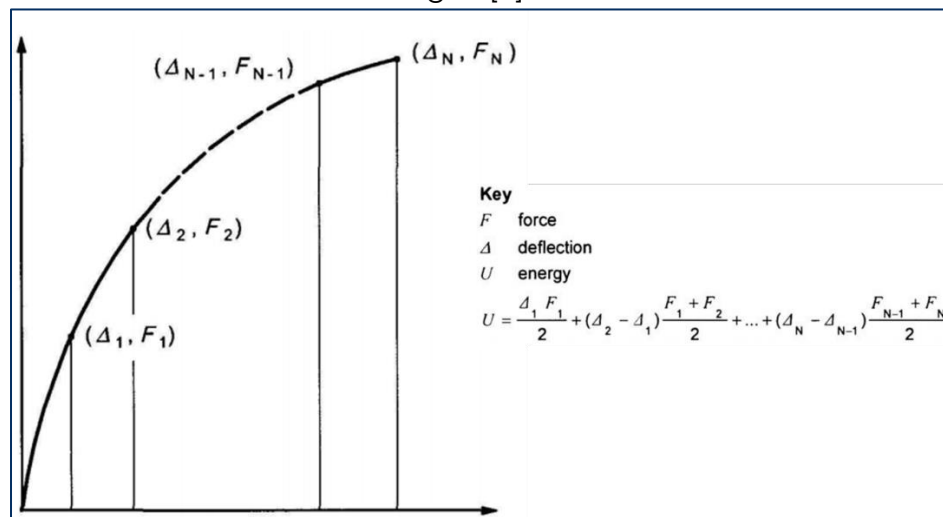


Ilustración 6-1-Método para calcular la energía aplicada en la prueba de carga longitudinal de la ROPS [1]

6.1.7.2 Aplicación de carga vertical

1. Después de completar la aplicación de carga lateral, se aplicará una carga vertical en la parte alta de la ROPS. [1]

2. Para todas las ROPS, el centro de la carga vertical deberá ser aplicada en el mismo plano vertical, perpendicular a la línea central longitudinal de la ROPS, definido sobre la estructura antes de la deformación causada por la carga lateral. [1]
3. La carga sobre la ROPS es aplicada sin limitaciones sobre la distribución, siempre que se aplique simétricamente con la línea central longitudinal de la ROPS deformada. [1]
4. LA tasa de deflexión deberá ser tal que la aplicación de carga sea considerada estática de acuerdo con el criterio definido en el punto 7 de la sección 6.1.7.1. La aplicación de carga es continua hasta alcanzar el nivel de fuerza especificado en la Tabla 6-3. La estructura deberá soportar esta carga por un periodo de 5 minutos o hasta que la deformación cese, lo que ocurra primero. [1]

6.1.7.3 Aplicación de carga longitudinal

1. Después de completar la aplicación de carga vertical, una carga longitudinal deberá aplicarse a la ROPS. [1]
2. La carga longitudinal deberá aplicarse a los miembros estructurales superiores de la ROPS a lo largo de la línea central longitudinal de la ROPS. El LAP se determina utilizando la intersección de los planos de las superficies frontal y superior. Si las superficies son curvas, determinar el plano de intersección utilizando una línea tangente en el punto medio del segmento de arco del miembro superior o frontal. [1]
3. LA carga longitudinal será aplicada en una posición consistente con las figuras 2 a 4 (del estándar ANSI/ROVHA 1) establecidos previamente a la aplicación de carga longitudinal. El dispositivo de distribución de carga deberá abarcar la anchura en los casos donde no existan miembros transversales traseros (frontales) que sean capaces de transferir la carga sin pandearse. En todos los otros casos, el dispositivo no distribuirá la carga sobre una longitud mayor a 80% de la anchura, W , de la ROPS. [1]
4. Para todas las máquinas, la dirección de aplicación de carga (hacia el frente o hacia atrás) deberá elegirse de manera que se representen los requerimientos más severos. La dirección inicial de aplicación de carga deberá ser horizontal y paralela a la línea central longitudinal original de la máquina. Algunos factores a considerar en la elección de la dirección para aplicar la carga longitudinal son los siguientes: [1]
 - a. Ubicación de la ROPS relativa al DLV y el efecto que tendría la deflexión longitudinal de la ROPS en la protección del operador contra el aplastamiento.
 - b. Características de la máquina, por ejemplo, otros miembros estructurales de la máquina que pudieran resistir la deflexión longitudinal de la ROPS.

6.1.7.4 Cumplimiento de la prueba

Esta prueba tiene requerimientos de carga en las direcciones lateral, longitudinal y vertical, así como un requerimiento de absorción de energía de fuerza lateral. Además, existen límites de deflexión bajo estas cargas. Estos criterios, los cuales deben ser cumplidos en su totalidad, se enlistan en los siguientes puntos: [1]

1. La ROPS del vehículo deberá cumplir o exceder los requerimientos de energía y fuerza lateral, longitudinal y vertical de la Tabla 6-3. [1]
2. No es necesario que los requerimientos de fuerza y energía bajo carga lateral sean cumplidos simultáneamente. Uno podría ser significativamente excedido antes de alcanzar el otro. Si la fuerza es alcanzada antes de la energía, la fuerza puede disminuir, pero deberá ser alcanzado el nivel requerido nuevamente cuando el requerimiento de energía se sea cumplido o excedido. [1]
3. Ninguna parte de la ROPS debe invadir el DLV en ningún momento durante las fases de la prueba. Los límites de deflexión son absolutos. [1]
4. El plano de tierra lateral simulado (LSGP) no debe invadir el DLV en ningún momento durante la fase de aplicación de carga lateral. [1]
5. La ROPS no deberá separarse del vehículo debido a su sistema de montaje. En caso de separación parcial, la ROPS debe demostrar la capacidad de prevenir una separación total del vehículo en los niveles requeridos de fuerza y energía. [1]

6.1.8 Sistema de retención de ocupantes (ORS)

Cada posición de asiento en un ROV deberá tener como mínimo de una retención de ocupante tipo 2 (tres puntos) que cumpla o exceda lo establecido en el estándar SAE J2292. [1]

Todos los ROV deberán tener características de retención de ocupantes para las zonas 1, 2, 3 y 4 descritas más adelante, que cumplan los requerimientos de desempeño establecidos. Dichas características no deben interferir significativamente con la operación del ROV, incluyendo la visibilidad del operador. Estos requerimientos de restricción de zonas aplican solo a los asientos con posición hacia el exterior del vehículo. [1]

6.1.8.1 Zonas de restricción del ORS

Todos los vehículos deberán restringir la salida para cada zona de ORS mediante una combinación de características pasivas y activas. [1]

6.1.8.1.1 Zona 1 - Pierna/pie

Los requerimientos de retención para esta zona deberán cumplirse ya sea con una entrada elevada o con una barrera permanente. Si el fabricante del vehículo opta por utilizar una entrada elevada, el borde no debe estar a menos de 102 mm (4 in) por encima de la sección adyacente más alta del piso del compartimento de ocupantes. La entrada elevada se muestra como el área sombreada en la

Ilustración 6-2. De lo contrario, se proporcionará una barrera (puerta, red u otro dispositivo adecuado) para bloquear el área sombreada en la Ilustración 6-2 cuando el vehículo esté en funcionamiento. Esta área sombreada está por debajo y por delante del punto P, que no está a más de 229 mm (9 in) por delante de la base del asiento y no está a menos de 102 mm (4 in) por encima del suelo. Si el asiento es ajustable hacia adelante y hacia atrás, el punto P se establecerá con el asiento en su posición más hacia atrás. [1]

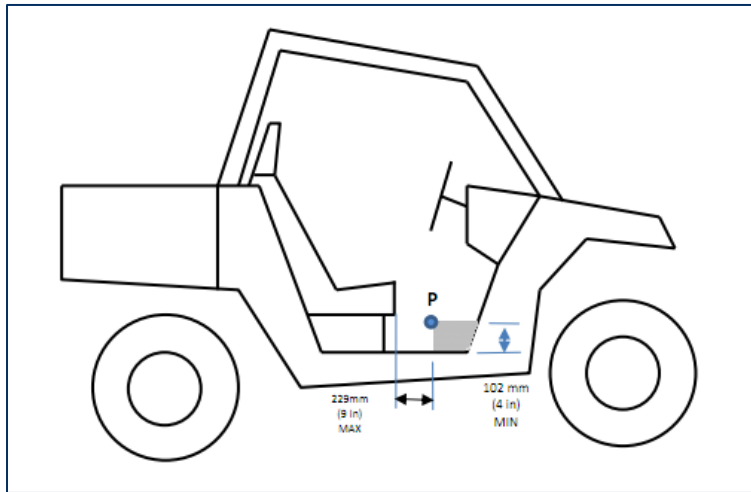


Ilustración 6-2-Zona ORS 1 – Pierna/Pie (No se muestra a escala) [1]

6.1.8.1.2 Zona 2 - Hombro/Cadera

Los requerimientos de retención para esta zona deberán cumplirse por cualquiera de los métodos siguientes, a elección del fabricante: [1]

- A. **Método basado en la construcción.** Se refiere a una barrera o estructura pasiva representada por las líneas discontinuas en la Ilustración 6-3 que cumpla con los requisitos de desempeño establecidos más adelante. Dicha barrera abarcará el punto R visto desde el lateral del vehículo como se muestra. Todas las medidas del punto se tomarán con respecto a la base del respaldo. La base del respaldo se encuentra en la superficie de la base del asiento a lo largo de la línea central de la posición del asiento y se mide sin el peso del ocupante simulado en el asiento. El punto R se encuentra a 432 mm (17 in) a lo largo del respaldo del asiento por encima de la base del respaldo. El punto está 152 mm (6 in) hacia adelante y perpendicular a la superficie del respaldo como se muestra en la Ilustración 6-3. Para un asiento ajustable, el punto R se determina con el asiento ajustado a la posición más trasera. El punto R2 se aplica a un asiento ajustable y está ubicado de la misma manera que el punto R, excepto que el asiento está ubicado en la posición más hacia adelante.

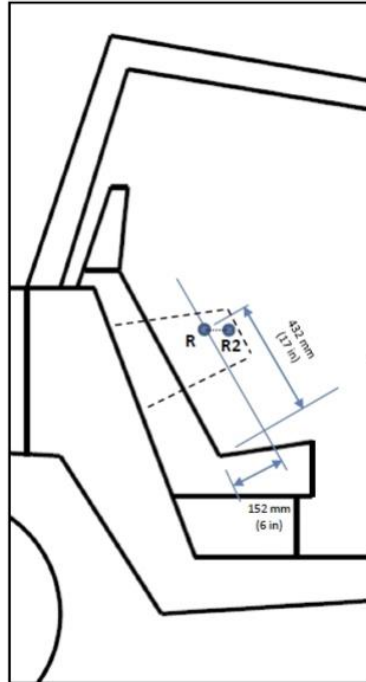


Ilustración 6-3- Zona ORS 2 – Hombro/Cadera (No se muestra a escala) [1]

- B. **Método basado en el desempeño.** Se utilizan dispositivos o características del vehículo que cumplen los requerimientos de desempeño descritos más adelante.

6.1.8.1.3 Zona 3 – Brazo/Mano

Los requerimientos de retención para esta zona deberán cumplirse por cualquiera de los métodos siguientes, a elección del fabricante: [1]

- A. **Método basado en construcción.** Se utilizarán barreras permanentes (puertas, redes u otros dispositivos adecuados) para restringir la abertura como se muestra en la sección sombreada en la Ilustración 6-4. El área delimitada por el borde del asiento, la línea desde el punto S se extiende hacia adelante y hacia abajo a no más de 25° desde la horizontal a una distancia de 500 mm (19.7 in), y esta línea es perpendicular al asiento. Si está equipado con asiento de posición ajustable, el punto S se medirá con el asiento en la posición que se encuentre. Este equipo complementará el requisito de sujeción manual (agarradera) descrito en la Tabla 6-1 y los requisitos de la Zona 2 de esta sección.

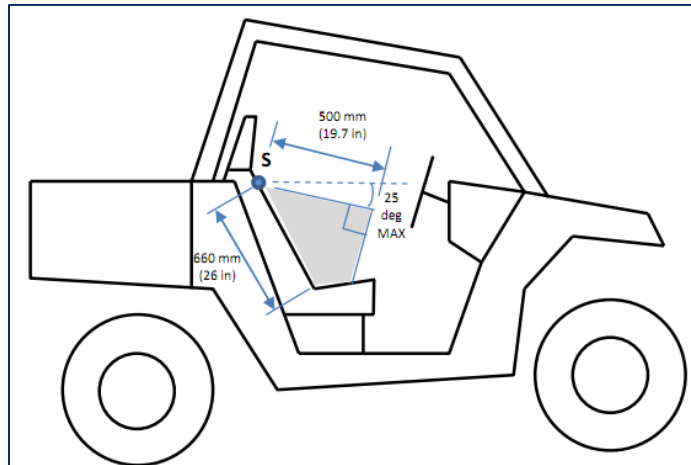


Ilustración 6-4- Zona ORS 3 – Brazo/Mano (No se muestra a escala) [1]

- B. **Método basado en el desempeño.** Se utilizan dispositivos o características del vehículo que cumplen los requerimientos de desempeño descritos más adelante.

6.1.8.1.4 Zona 4 – Cabeza/Cuello

Generalmente definida como el área mostrada en la figura para un ocupante sentado, utilizando el cinturón de seguridad y un casco, como lo recomienda el fabricante. [1]

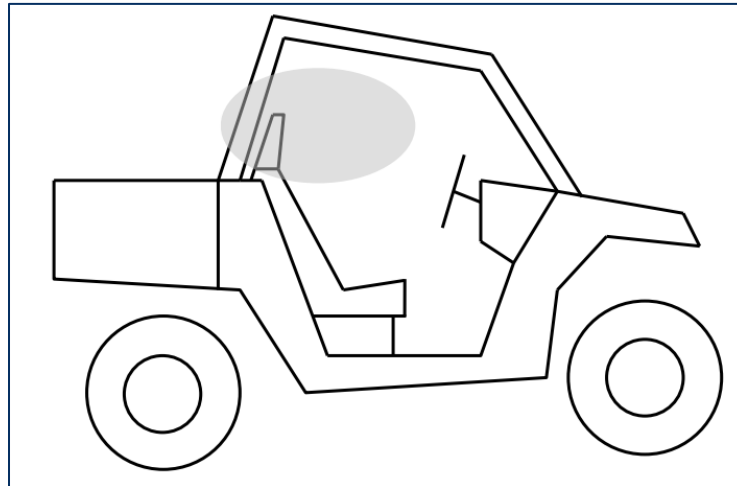


Ilustración 6-5- Zona ORS 4 – Cabeza/Cuello (No se muestra a escala) [1]

6.1.8.2 Requerimientos de desempeño y pruebas para las zonas ORS

Las pruebas y ellos criterios de desempeño que deben cumplir las zonas ORS son descritas abajo. A menos que se indique lo contrario, las fuerzas de prueba especificadas en esta sección pueden distribuirse utilizando un aplicador con una superficie circular, plana de no más de 76 mm (3 in) de diámetro. Se permite que la superficie del aplicador pueda girar para acomodarse a las características de diseño, a la deformación elástica y no necesita permanecer perpendicular a la

dirección de la fuerza. Los bordes de la placa del aplicador pueden tener un radio de no más de 6mm (0.25 in) para evitar cortar las superficies de prueba. A menos que se indique lo contrario, todas las fuerzas de prueba deben ser aplicadas con una duración de no menos de 5 s. [1]

6.1.8.2.1 Zona 1

Las barreras de la zona 1 deberán ser capaces de soportar una fuerza lateral horizontal, con dirección hacia el exterior de 222 N (50 lbf) aplicada en el centroide del área sombreada de la Ilustración 6-2. No se debe observar daño permanente como resultado de la aplicación de esta carga. Las barreras de la zona 1 no deben tener aberturas que permitan el paso de un cilindro de 76 mm (3 in) de diámetro, perpendicular a la superficie de la barrera. [1]

6.1.8.2.2 Zona 2

Los dispositivos de retención de la zona 2 deberán cumplir cualquiera de los requisitos de desempeño descritos a continuación, dependiendo del método elegido por el fabricante. [1]

- A. Una barrera para la zona 2 deberá ser capaz de soportar una fuerza lateral, horizontal, dirigida hacia afuera de 725 N (163 lbf), aplicada en los puntos R y R2 y algún punto intermedio, se aplicará en R para un asiento fijo y en R2 para un asiento ajustable. No se deberá exceder una deflexión de 25 mm (1 in) tras aplicar y retirar la fuerza.
- B. Un dispositivo o característica del vehículo para la zona 2 deberá mantener el torso del maniquí de prueba dentro de la zona adyacente al compartimiento de ocupantes como se define en la sección 11.3.2.2 del estándar ANSI/ROVA 1.

6.1.8.2.3 Zona 3

Los dispositivos de retención para la zona 3 deberán cumplir cualquiera de los requisitos de desempeño descritos a continuación, dependiendo del método elegido por el fabricante. [1]

- A. Las barreras para la zona 3 serán capaces de soportar una fuerza lateral, horizontal, dirigida hacia afuera de 222 N (50 lbf), aplicadas en el centroide del área de la barrera. No deberá observarse daño permanente en la barrera o el elemento de fijación como resultado de la aplicación de esta carga. Las barreras en la zona 3 no deberán tener aberturas que permitan el paso de un cilindro de 76 mm (3 in) de diámetro perpendicular a la superficie de la barrera.
- B. Un dispositivo o característica del vehículo para la zona 3 deberá mantener el brazo y manos del maniquí de prueba dentro de la zona adyacente al compartimiento de ocupantes como se define en la sección 11.3.2.3 del estándar ANSI/ROVA 1.

6.1.8.2.4 Zona 4

Los requerimientos de retención para la zona 4 serán cumplidos por la recomendación de que cada ocupante permanezca sentado y utilice cinturón de seguridad y casco. Cualquier dispositivo adicional no debe comprometer la visibilidad y movilidad necesarias de un operador.

6.2 BENCHMARKING

En el contexto de generación de un concepto, *benchmarking* es el estudio de productos existentes con funcionalidad similar a la del producto en desarrollo. El benchmarking puede revelar conceptos existentes que se han puesto en práctica para resolver un problema particular, así como información sobre puntos fuertes y débiles de la competencia. [32]

En el presente proyecto, se realizó un ejercicio de benchmarking para conocer la oferta existente de UTVs en México y, de esta manera, identificar las características que son comunes entre estos vehículos y utilizarlas como referencia para la definición de las especificaciones para el diseño del vehículo recreativo todoterreno.

La información de los vehículos de referencia fue extraída de las fichas técnicas publicadas en las páginas web de los fabricantes. La información recabada fue clasificada en cuatro categorías:

- Vehículos con desplazamiento de motor menor a 180cc.
- Vehículos con desplazamiento de motor entre 180cc y 600cc.
- Vehículos con desplazamiento de motor entre 600cc y 1000cc.
- Vehículos eléctricos.

En las tablas Tabla 6-4, Tabla 6-5 y Tabla 6-6 se enlistan las características más comunes de cada una de las categorías anteriores.

Tabla 6-4- Especificaciones más comunes, obtenidas por benchmarking, para vehículos recreativos todoterreno con desplazamiento de motor menor a 180cc.

Motor y Transmisión	
Motor	Monocilindro de 4 tiempos
Desplazamiento de motor	169 cc
Alimentación	Inyección electrónica de combustible
Transmisión	Automática (Polaris Variable Transmission)
Selección de velocidades	F/N/R
Transmisión final	Cadena Junta Tórica
Modo de transmisión	2WD
Sistema de enfriamiento	Ventilador
Suspensión, Frenos, Dirección	
Suspensión delantera	Brazo en A individual con recorrido de 12.7 cm
Suspensión trasera	Amortiguadores dobles de brazo oscilante con recorrido de 12.7 cm
Frenos delanteros/traseros	Disco hidráulico en las 4 ruedas
Freno de estacionamiento	Accionado manualmente
Neumáticos delanteros	19 X 7-8
Neumáticos traseros	20 X 10-9
Rines	Acero estampado
Dimensiones	
Capacidad de combustible	9.5 l
Altura libre al suelo	15.2 cm
Longitud/Anchura/Altura	[215.9 x 121.9 x 139.7] cm
Distancia entre ejes	165.1 cm
Peso en vacío	241 kg

Tabla 6-5- Especificaciones más comunes, obtenidas por benchmarking, para vehículos recreativos todoterreno con desplazamiento de motor entre 180cc y 600cc.

Motor y Transmisión	
Motor	Monocilindro de 4 tiempos
Cilindrada (promedio)	501 cc
Potencia (promedio)	42 HP
Alimentación	Inyección electrónica de combustible
Transmisión	Automática (Transmisión variable continua)
Selección de velocidades	H/L/N/R/P
Transmisión final	Eje
Modo de transmisión	2WD/4WD seleccionable
Sistema de enfriamiento	Líquido
Suspensión, Frenos, Dirección	
Suspensión delantera	Brazo en A doble y recorrido de 22.6 cm (promedio)
Suspensión trasera (promedio)	Brazo en A doble con barra estabilizadora y recorrido de 23.1 cm
Frenos delanteros/traseros	Disco hidráulico en las 4 ruedas
Freno de estacionamiento	Incluido en la transmisión
Neumáticos delanteros	25 X 8-12
Neumáticos traseros	25 X 10-12
Rines	Acero estampado
Dimensiones	
Longitud/Anchura/Altura de la caja (promedio)	[76 x 116 x 28] cm
Capacidad de baúl delantero/trasero o caja (promedio)	215.5 kg
Capacidad de combustible (promedio)	33.4 l
Altura libre al suelo (promedio)	25.7 cm
Longitud/Anchura/Altura (promedio)	[282 x 144 x 187] cm
Distancia entre ejes (promedio)	194 cm
Peso en vacío (promedio)	507 kg
Dispositivo de remolque (promedio)	680.3 kg
Número de pasajeros	2

Tabla 6-6- Especificaciones más comunes, obtenidas por benchmarking, para vehículos recreativos todoterreno con desplazamiento de motor entre 600cc y 1000cc.

Motor y Transmisión	
Motor	Bicilíndrico 4 tiempos
Cilindrada (promedio)	921 cc
Potencia (promedio)	92 HP
Alimentación	Inyección electrónica de combustible
Transmisión	Automática (Transmisión variable continua)
Selección de velocidades	L/H/N/R/P
Modo de transmisión	2WD/4WD seleccionable
Diferencial frontal	Diferencial de bloqueo automático
Sistema de enfriamiento	Líquido
Suspensión, Frenos, Dirección	
Suspensión delantera	Doble horquilla, independiente con barra estabilizadora. Recorrido de 34.3 cm (promedio)
Suspensión trasera	Doble horquilla, independiente con barra estabilizadora. Recorrido de 33 cm (promedio)
Frenos delanteros/traseros	Disco hidráulico de doble pistón
Freno de estacionamiento	Incluido en la transmisión
Neumáticos delanteros	27x9x12
Neumáticos traseros	27x11x12
Dimensiones	
Longitud/Anchura/Altura de la caja (promedio)	[80.75 x 98 x 24.95] cm
Capacidad de baúl delantero/trasero o caja (promedio)	181.4 kg
Capacidad de combustible (promedio)	35.3 l
Altura libre al suelo (promedio)	32 cm
Longitud/Anchura/Altura (promedio)	[312 x 156 x 182] cm
Distancia entre ejes (promedio)	211.25 cm
Peso en vacío (promedio)	683.55 kg
Dispositivo de remolque (promedio)	707.43 kg
Número de pasajeros	3

6.3 APLICACIÓN DE ENCUESTA

La aplicación de una encuesta en esta etapa del proyecto tiene la finalidad de reconocer las necesidades y expectativas de los usuarios para poder considerarlas al momento de definir las especificaciones objetivo del vehículo, mismas que serán el punto de partida para el diseño de conceptos.

6.3.1 Selección de preguntas

Para promover que la aplicación de la encuesta sea exitosa es preciso formular preguntas cuyas respuestas proporcionen información útil. La Tabla 6-7 muestra una relación de las preguntas incluidas en la encuesta y la finalidad de haberlas incluido. Para algunas preguntas resulta evidente su objetivo, sin embargo, hay casos en los que la relación no se percibe a prima vista.

Tabla 6-7- Finalidad de las preguntas incluidas en la encuesta

Pregunta	Objetivo
¿En qué estado de la República Mexicana radicas?	Mantener el alcance de la encuesta dentro de la República Mexicana.
¿Te sería útil contar con tu propio vehículo recreativo todoterreno?	Filtrar la participación de la encuesta con personas interesadas en los vehículos recreativos.
¿Qué tipo de motor elegirías para tu vehículo recreativo?	Conocer las preferencias de los usuarios entre motores de combustión y eléctricos.
¿Qué tipo de transmisión elegirías para tu vehículo recreativo?	Conocer las preferencias de los usuarios entre transmisión manual y automática.
Dado que un vehículo recreativo puede utilizarse en distintas actividades ¿Qué usos darías tu al vehículo?	Referencia para establecer el tipo de suspensión adecuado. Referencia para establecer la altura libre al suelo del vehículo. Referencia para determinar el límite de velocidad. Referencia para determinar la prioridad entre torque y potencia. Referencia para aproximar la autonomía del vehículo.
¿Requieres que el vehículo recreativo cuente con un compartimento de carga?	Determinar si el vehículo incluirá o no compartimento de carga.
¿Qué capacidad en kg debe tener el compartimento de acuerdo a tus necesidades?	Referencia para determinar la capacidad del compartimento de carga.
¿Requieres remolcar cargas con el vehículo recreativo?	Referencia para determinar la capacidad de arrastre del vehículo.
¿Cuántos kg debe ser capaz de remolcar de acuerdo a tus necesidades?	Referencia para determinar la capacidad de arrastre del vehículo.
¿En qué tipo de terrenos manejarías tu vehículo recreativo?	Referencia para establecer el tipo de suspensión adecuado. Referencia para establecer la altura libre al suelo del vehículo.
¿Cuántos ocupantes necesitas transportar en tu vehículo recreativo, incluyendo al conductor?	Referencia para determinar el número de pasajeros.
¿Cuál es la distancia máxima que recorrerías en tu vehículo recreativo, en una jornada?	Referencia para aproximar la autonomía del vehículo.
Considerando la utilidad que darías al vehículo recreativo, ¿Cuál sería la velocidad promedio a la que conducirías?	Referencia para determinar el límite de velocidad.
¿Puedes indicar un rango de precios adecuado para ti, para adquirir un vehículo recreativo todoterreno?	Referencia para determinar el límite de costo de manufactura del vehículo.
De las opciones que actualmente existen en el mercado, ¿Cuál concepto estético te atrae más?	Referencia para determinar la apariencia estética del vehículo.

6.3.2 Cálculo de la muestra

El cuestionario fue aplicado utilizando un muestreo no probabilístico del tipo *discrecional*, donde los elementos de la muestra son seleccionados de acuerdo a criterios que se consideran de aporte para el estudio. [33]

La población encuestada debe cumplir al menos uno de los siguientes criterios:

1. Radicar en la República Mexicana.

2. Tener conocimiento sobre vehículos recreativos todoterreno.
3. Tener interés en vehículos recreativos todoterreno.
4. Desempeñar actividades donde puedan utilizarse vehículos recreativos todoterreno.

Debido a que se desconoce el tamaño de la población, la fórmula para calcular el tamaño de muestra fue la siguiente [33]:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{d^2}$$

donde:

- n = tamaño de la muestra
- Z_{α} = coeficiente del nivel de confianza
- p = probabilidad de éxito
- q = probabilidad de fracaso ($1 - p$)
- d = precisión (error máximo admisible)

De la Tabla 6-8, se tomó el coeficiente indicado de acuerdo con el nivel de confianza deseado.

Tabla 6-8-Valor de Z_{α} en función del nivel de confianza

Nivel de confianza	Coficiente Z_{α}
90%	1.645
95%	1.96
97.5%	2.24
99%	2.576

Se utilizó $p = 0.5$ (50%), lo cual maximiza el tamaño muestral [33]; y se trabajó con un error máximo $d = 0.11$ (11%).

Haciendo el cálculo con los parámetros establecidos, se tiene:

$$n = \frac{1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.11^2} = 80$$

Es decir, la encuesta debía ser aplicada a un mínimo de 80 individuos. Siendo que fue respondida por un total de 91 sujetos.

6.3.2.1 Síntesis de resultados obtenidos (necesidades de los usuarios)

A continuación, se enumeran las necesidades/expectativas de los usuarios identificadas como resultado de la aplicación de esta encuesta:

- El vehículo recreativo cuenta con una fuente de potencia (motor) a base de gasolina.
- El vehículo recreativo cuenta con un sistema de transmisión manual.

- El vehículo recreativo esta destinado principalmente a actividades de turismo/ecoturismo/ruta/camping/paseo con un segundo uso en actividades agrícolas y en granjas.
- El vehículo recreativo cuenta con un compartimento para carga, cuya capacidad es de entre 100 y 500 kg.
- El vehículo recreativo puede remolcar cargas de entre 500 y 1000 kg.
- El vehículo recreativo se maneja bien en terrenos muy irregulares y con desniveles pronunciados, así como en empedrados.
- El vehículo recreativo puede transportar entre 2 y 4 pasajeros, incluido el conductor.
- El vehículo recreativo puede recorrer entre 50 y 100 km sin la necesidad de recargar combustible.
- El vehículo recreativo puede ser conducido a velocidades tope de entre 80 y 120 km/h.

Como se mencionó anteriormente, estas necesidades se toman en cuenta al definir las especificaciones objetivo, sin que eso implique que deban ser cumplidas tal cual se describen.

El resumen con los resultados de la encuesta puede consultarse en el Anexo A.

6.4 DEFINICIÓN DE ESPECIFICACIONES OBJETIVO

La especificación del producto es la manifestación explícita del conjunto de determinaciones, características o prestaciones que debe guiar su diseño y desarrollo [31]. En un mundo ideal, las especificaciones del producto se establecerían una vez al inicio del proceso de desarrollo y luego se continuaría diseñando y construyendo el producto para satisfacer esas especificaciones. Sin embargo, para productos de alta tecnología, esto es casi imposible [32]. La práctica común es establecer *especificaciones objetivo*, estas especificaciones representan las expectativas del diseño, y se establecen antes de conocer cuáles restricciones impondrá la tecnología para la construcción del producto [32]. Estas especificaciones se evaluarán, refinarán y actualizarán varias veces durante la etapa de diseño y desarrollo, de este modo se establecerán las especificaciones finales.

Para el presente trabajo, las especificaciones objetivo del vehículo se muestran en la Tabla 6-9, también puede apreciarse la métrica establecida y las fuentes de referencia consideradas para definir los valores de cada especificación.

Tabla 6-9- Especificaciones objetivo del vehículo recreativo todoterreno

Característica	Métrica	Fuente de los valores de referencia			Valor ideal	Valor marginal
		Benchmarking	ANSI/ROHVA 1	Encuesta		
Longitud del vehículo	[cm]	X	X		247	298
Ancho del vehículo	[cm]	X	X		130	175
Altura del vehículo	[cm]	X	X		156	193
Altura libre al suelo	[cm]	X		X	30	25
Peso del vehículo	[kg]	X	X		<240	241
Número de pasajeros	[numero]	X		X	4	2
Longitud del compartimento de carga	[cm]	X			89	58
Ancho del compartimento de carga	[cm]	X			116	114
Altura del compartimento de carga	[cm]	X			33	26
Capacidad del compartimento de carga	[kg]	X		X	>100	70
Capacidad de arrastre	[kg]	X		X	>500	225
Consumo de combustible	[km/tanque]			X	>100	50
Velocidad máxima	[km/h]		X	X	120	80

7 DISEÑO CONCEPTUAL

7.1 SELECCIÓN DEL NÚMERO DE PLAZAS EN EL VEHÍCULO

Como paso previo a la ideación del concepto del vehículo, es importante determinar el número de personas que podrán ser transportadas, es decir, el número de plazas. Esta elección tendrá repercusión en las decisiones de diseño que deban tomarse en actividades subsecuentes.

De acuerdo con las especificaciones objetivo listadas en la Tabla 6-9, se espera que el vehículo cuente con una cantidad de plazas de entre dos y cuatro; es así que en los conceptos propuestos se plantean configuraciones con dos, tres y cuatro plazas; además, se considera la distribución de las plazas y la posición del compartimento de carga. En la Tabla 7-1 se pueden consultar estas configuraciones.

Tabla 7-1- Conceptos considerados para la distribución de plazas y compartimento de carga.

Concepto	Criterios de evaluación		
	Número de plazas	Distribución de plazas (frente-atrás)	Posición del compartimento de carga
A	4	2-2	Frente
B	4	2-2	Atrás
C	4	1-3	Frente
D	4	1-3	Atrás
E	4	3-1	Frente
F	4	3-1	Atrás
G	2	2-X	Frente
H	2	2-X	Atrás
I	2	1-1	Frente
J	2	1-1	Atrás
K	3	3-X	Frente
L	3	3-X	Atrás
M	3	1-2	Frente
N	3	1-2	Atrás
O	3	2-1	Frente
P	3	2-1	Atrás

Claro es, que algunos de los conceptos mostrados no serían viables al llevarlos a la realidad, por ejemplo, todos aquellos en que el compartimento de carga se ubica al frente del vehículo, si se intentara construir dicha configuración, la carga transportada podría obstruir significativamente la visión del conductor, lo cual dificultaría o bien, haría imposible la conducción del vehículo. Después de realizar el filtrado descrito anteriormente, se descartan la mitad de los conceptos.

Una vez eliminados los conceptos inviables, se procede a realizar la selección de la distribución de plazas que tendrá el vehículo de acuerdo con las propuestas restantes. Se toman características de interés que son afectadas por la distribución de plazas, estas características serán evaluadas en cada concepto de acuerdo a un objetivo establecido; la escala de calificación va del 1 al 5, mientras mayor sea la calificación otorgada, se considera que es mayor la afinidad del concepto con el objetivo. Al final del ejercicio, se suman las calificaciones individuales de las características en cada concepto, esta suma será la calificación del concepto. El concepto con mayor calificación será el elegido para definir la distribución de plazas en el vehículo.

En la Tabla 7-2 se pueden revisar los resultados de la calificación de conceptos. A continuación, se enlistan las características evaluadas y el objetivo buscado en cada concepto:

- **Distribución lateral del peso:** Se evalúa el modo en que el acomodo de las plazas afecta la distribución lado a lado de la carga en los neumáticos debida al peso de los ocupantes. El objetivo se logra cuando todos los ocupantes se sitúan sobre el eje longitudinal del vehículo.
- **Distribución longitudinal del peso:** Se evalúa el modo en que el acomodo de las de plazas afecta la distribución frente-atrás de la carga en los neumáticos debida al peso de los ocupantes. El objetivo se alcanza cuando todos los ocupantes se sitúan sobre una misma línea transversal, perpendicular al eje longitudinal del vehículo.
- **Espacio para ocupantes:** Se supone un vehículo con dimensiones establecidas y se evalúa el espacio que podría asignarse a cada pasajero según la distribución de plazas sugerida en cada concepto.
- **Tamaño del compartimento de carga:** Se supone un vehículo con dimensiones establecidas y se evalúa el espacio que podría asignarse al compartimento de carga según la distribución de plazas sugerida en cada concepto.

Tabla 7-2 Calificación de conceptos para la selección de distribución de plazas

Características de evaluación	Objetivo	Conceptos								
		4 plazas			2 plazas		3 plazas			
		B	D	F	H	J	L	N	P	
Distribución lateral del peso	Igualar	3	1	1	3	5	3	1	1	
Distribución longitudinal del peso	Igualar	3	1	1	5	3	5	1	1	
Espacio para ocupantes	Maximizar	5	3	3	5	5	1	3	3	
Tamaño del compartimento de carga	Maximizar	1	1	3	5	1	5	1	3	
	SUMA	12	6	8	18	14	14	6	8	

De acuerdo con los mostrado en la Tabla 7-2 y la Tabla 7-1, el vehículo de este proyecto será diseñado para dos ocupantes situados uno al lado del otro y un compartimento de carga trasero.

7.2 DISEÑO CONCEPTUAL DEL BASTIDOR DEL VEHÍCULO

En este capítulo se describe el proceso llevado a cabo para obtener el diseño conceptual del bastidor del vehículo mediante el uso de herramientas CAD y CAE, tomando en cuenta las especificaciones objetivo de la Tabla 6-9 y los resultados de la encuesta mostrados en el Anexo A .

7.2.1 Concepto estético preliminar del vehículo

Basado en los resultados obtenidos en la pregunta 15 de la encuesta aplicada a usuarios y entusiastas de vehículos recreativos, se ideó un concepto estético que visualmente, cuenta con cierta similitud a aquel preferido por quienes respondieron la encuesta. El modelo del concepto, construido con un software de CAD, es el que se muestra en la Ilustración 7-1. Cabe resaltar que esta no será la apariencia final del vehículo, se trata de una aproximación preliminar que servirá de apoyo para obtener un "mapa" de las secciones que están sometidas a una mayor demanda estructural; esto se describe con mayor detalle en la sección 7.2.2.



Ilustración 7-1- Modelo CAD del concepto estético preliminar del vehículo

Para la creación del concepto estético mostrado en la Ilustración 7-1 se consideró el espacio necesario para transportar dos pasajeros, en la simulación preliminar se utilizó un maniquí masculino con las proporciones típicas de un individuo con una estatura de 1.70 m y, un maniquí femenino con las proporciones de un sujeto con una estatura de 1.60 m. Las dimensiones preliminares del vehículo, de acuerdo con este concepto estético quedan como se muestra en la Ilustración 7-2.

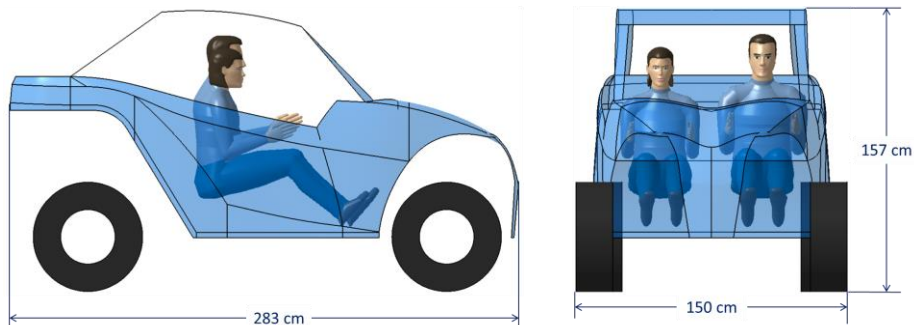


Ilustración 7-2- Dimensiones del concepto estético preliminar

7.2.2 Diseño inicial del bastidor mediante el método de superficies estructurales

En la sección anterior se dio parte sobre la creación del modelo de un concepto estético preliminar el cual sería la base para determinar las zonas que conllevan una mayor demanda estructural, con los resultados obtenidos se generará el modelo inicial del bastidor del vehículo. Los siguientes subtítulos describen el proceso.

7.2.2.1 Simplificación del concepto estético

A partir del concepto estético mostrado en la Ilustración 7-1 y la Ilustración 7-2, fue creado un modelo simplificado de este, conformado por superficies planas unidas por los bordes. El motivo de esta simplificación es para poder llevar a cabo un procedimiento basado en lo descrito en la sección 4.3.1.

En el proceso de simplificación se buscó que la geometría del modelo resultante no tuviera una distorsión significativa comparada con la de la geometría inicial, no obstante, algunas partes de la geometría original no fueron consideradas en el modelo simplificado, por ejemplo, las secciones verticales del compartimento de carga, ubicado en la parte posterior del vehículo, las cuales se puede anticipar que no tienen aportación significativa al desempeño estructural. Por otro lado, se agregaron superficies auxiliares para representar las secciones donde se pretende realizar el montaje de componentes del vehículo donde se aplican cargas, por ejemplo, el montaje de asientos para los ocupantes o el sistema de suspensión. El modelo simplificado puede observarse en la Ilustración 7-3; tal como se aprecia, se trabajó solo con una mitad del vehículo.

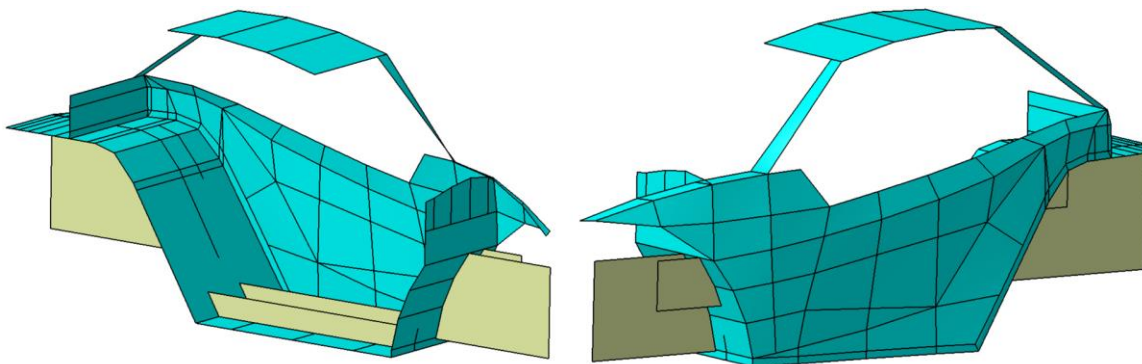


Ilustración 7-3- Modelo simplificado del concepto estético

7.2.2.2 Análisis del concepto estético mediante el método de superficies estructurales

Usando como base el método descrito en la sección 4.3.1 de este documento, y con ayuda de un software de CAE, se realizó un análisis de optimización topológica a la geometría del concepto estético simplificado.

El propósito de un estudio de optimización topológica es encontrar la mejor disposición de material en un cuerpo dado, en otras palabras, determinar si existen zonas del cuerpo en donde el material no sea aprovechado, mecánicamente

hablando; en el análisis topológico se tiene un criterio objetivo (rigidez global, frecuencia natural, etc.) que debe ser maximizado o minimizado en términos de las restricciones asignadas (reducción de volumen, reducción de masa, etc.).

En este trabajo, se aplica el análisis de optimización topológico a un concepto simplificado, esto con la intención de ahorrar el tiempo de cómputo para obtener resultados confiables que proporcionen un indicio del acomodo de los elementos estructurales del bastidor del vehículo. A continuación, se detallan las condiciones de frontera y cargas aplicadas en el estudio topológico y los resultados obtenidos.

7.2.2.2.1 Condiciones de frontera y carga y parámetros de entrada

Las condiciones de frontera para el análisis topológico se definieron de la siguiente manera:

- a) **Soporte fijo:** Restringe la posición del cuerpo en el espacio. Los grados de libertad asignados son $\langle U_x, U_y, U_z, R_x, R_y, R_z \rangle = \langle 0, 0, 0, 0, 0, 0 \rangle$. Idealmente, esta restricción debería definirse en los neumáticos o bien, en los puntos del bastidor donde se ensambla el sistema de suspensión. Sin embargo, por tratarse de una geometría inicial donde no se conoce con exactitud la ubicación de estos puntos, se han tomado algunos elementos de malla localizados en las superficies auxiliares; esto se puede observar mejor en la Ilustración 7-4.
- b) **Simetría:** Como se explicó anteriormente, la simplificación del concepto estético se realizó solo sobre una mitad del vehículo, esto permitirá reducir el tiempo de cómputo durante el análisis; sin embargo, para que los resultados sean válidos, se debe agregar una condición de simetría en el modelo de análisis, esta condición se define en todos los nodos ubicados en los bordes del modelo que son coincidentes con el plano de simetría (ver Ilustración 7-4). Los grados de libertad de esta condición de frontera se establecen de la siguiente manera: $\langle U_x, U_y, U_z, R_x, R_y, R_z \rangle = \langle 0, 0, 0, 0, 0, 0 \rangle$.

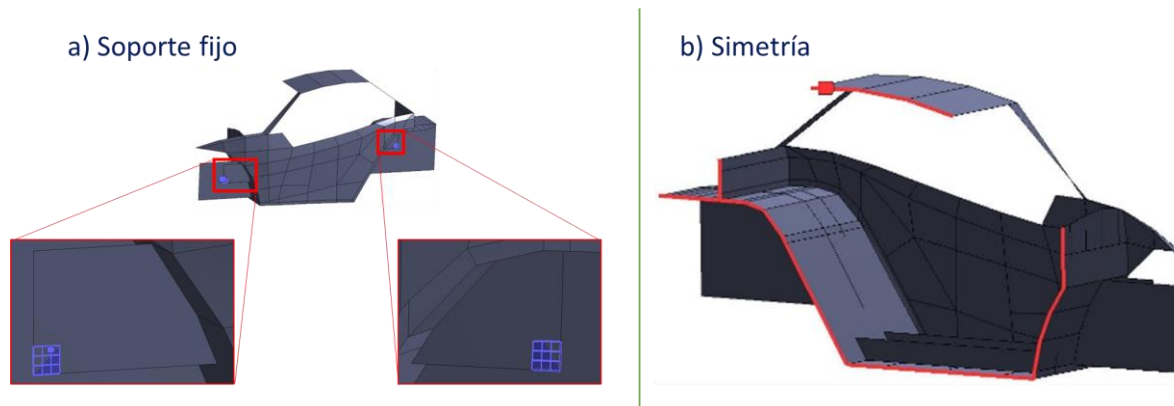


Ilustración 7-4- Condiciones de frontera definidas en el análisis topológico

Para definir las cargas que aplicadas se utilizaron como referencia algunas especificaciones objetivo enumeradas en la Tabla 6-9. En los párrafos siguientes se

describen las cargas consideradas en el análisis, mismas que se exponen gráficamente en la Ilustración 7-5. En el modelo CAE se consideran todas las cargas actuando de manera simultánea.

- a) Capacidad de carga:** Se refiere al peso que puede ser transportado por el vehículo en el compartimento de carga. En este análisis se utilizó una carga equivalente a 100 kg (981 N) aplicada sobre la superficie representativa del compartimento de carga en el modelo. Puesto que se trabajó con una mitad del vehículo, la carga efectiva aplicada fue de 490.5 N, la mitad de la carga original.
- b) Capacidad de arrastre:** Esta carga es la correspondiente al peso que puede ser remolcado por el vehículo. Se estableció una carga de arrastre de 500 kg (4905 N) aplicada en el borde posterior de la superficie auxiliar trasera. Como en el caso de la carga anterior la carga efectiva aplicada es la mitad de la original, esto es 2,452.5 N.
- c) Peso de los ocupantes:** Como el nombre lo indica, esta carga hace referencia al peso que soporta el vehículo por cada pasajero. De acuerdo con el estándar ANSI/ROHVA-1, el peso considerado para el operador del vehículo es de 98 kg, considerando esa referencia, se estableció una masa de 100 kg (981 N) por ocupante para esta prueba. La carga se aplicó en las superficies auxiliares que representan los elementos de fijación de los asientos; por cada asiento se tienen dos superficies auxiliares.
- d) Peso del motor:** En esta etapa del diseño, la ubicación del motor no se encuentra resuelta, por esta razón se recurre a la suposición de ubicarlo al frente del vehículo, y para la definición de la carga en el modelo CAE se utilizó una superficie auxiliar como elemento de fijación. Se considera una masa del motor de 50 kg, es decir 490.5 N, la cual es dividida en dos, nuevamente a causa de trabajar solo con la mitad del vehículo y por suponer que el motor se ubica en la parte media frontal.
- e) ROPS:** Los requerimientos que establece el estándar ANSI/ROHVA-1 sobre la estructura de protección contra volcaduras (ROPS) son considerados también en el análisis topológico ya que suponen una demanda estructural considerable, que debe ser tomada en cuenta desde etapas tempranas del diseño. En el modelo se definió una carga lateral de 10,200 N, una vertical de 16,669 N y una longitudinal de 4,080 N.

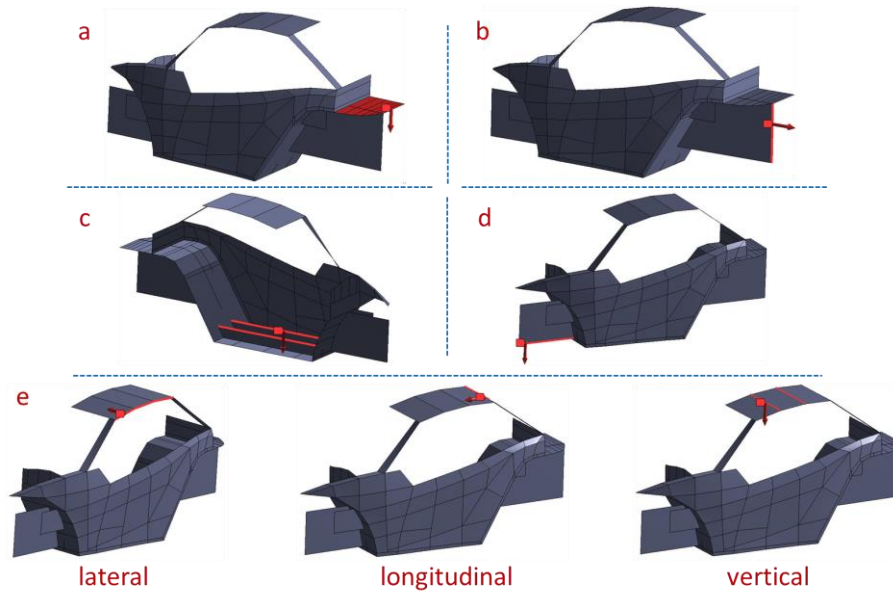


Ilustración 7-5- Cargas aplicadas definidas en el análisis topológico

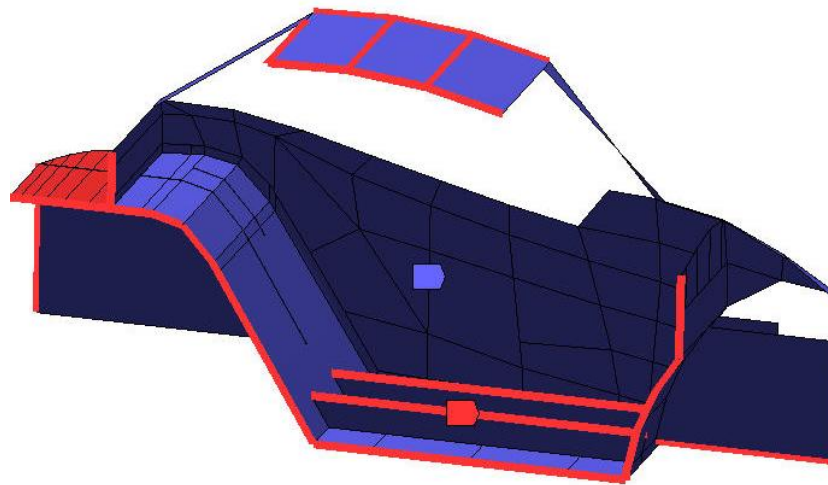


Ilustración 7-6- Región de diseño (en morado) y región de exclusión (en rojo)

Además de las condiciones de frontera y cargas aplicadas, el estudio topológico requiere algunos datos de entrada, en la Tabla 7-3 se da cuenta de los valores asignados en el análisis del vehículo recreativo.

Tabla 7-3- Valores de entrada definidos en el análisis de optimización topológica.

Tipo de respuesta	Flexibilidad (de la estructura)
Objetivo	Minimizar
Número máximo de iteraciones	500
Exactitud de convergencia	0.1%
Región de diseño	Todas las superficies excepto las zonas sombreadas en rojo en la Ilustración 7-6
Restricción	Masa. Conservar del 40% al 50%.

7.2.2.2.2 Resultados obtenidos

Para cada iteración del análisis topológico se muestra como resultado las zonas de la geometría que aportan mayor rigidez al desempeño mecánico de acuerdo con los requerimientos de carga establecidos. Solo en la primera iteración se considera la geometría inicial, en la n iteración no se tomará la geometría inicial para el análisis, sino aquella que resultó de la iteración $n - 1$. El análisis se detendrá en el momento que se cumpla uno de dos criterios: Al llegar al número máximo de iteraciones establecido o al lograr una convergencia en los resultados.

En el presente estudio los resultados mantuvieron una convergencia por debajo de 0.1% después de la iteración número 12 y se mantuvieron hasta la número 14, esto puede verse en la Ilustración 7-7. En la Tabla 7-4 se muestran los resultados de las iteraciones 2, 5, 10 y 14, estos resultados seleccionados dan un panorama de del proceso de eliminación virtual de material llevado a cabo en el análisis. Los resultados de todas las iteraciones se pueden consultar en el Anexo B.

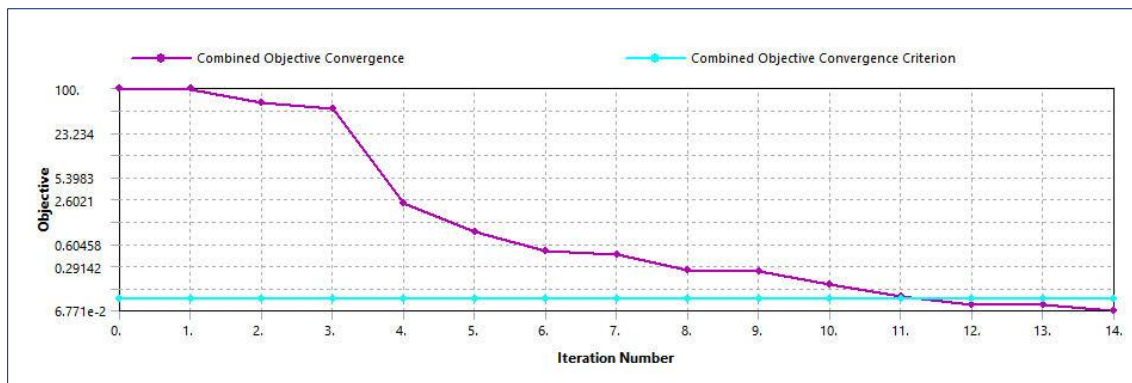
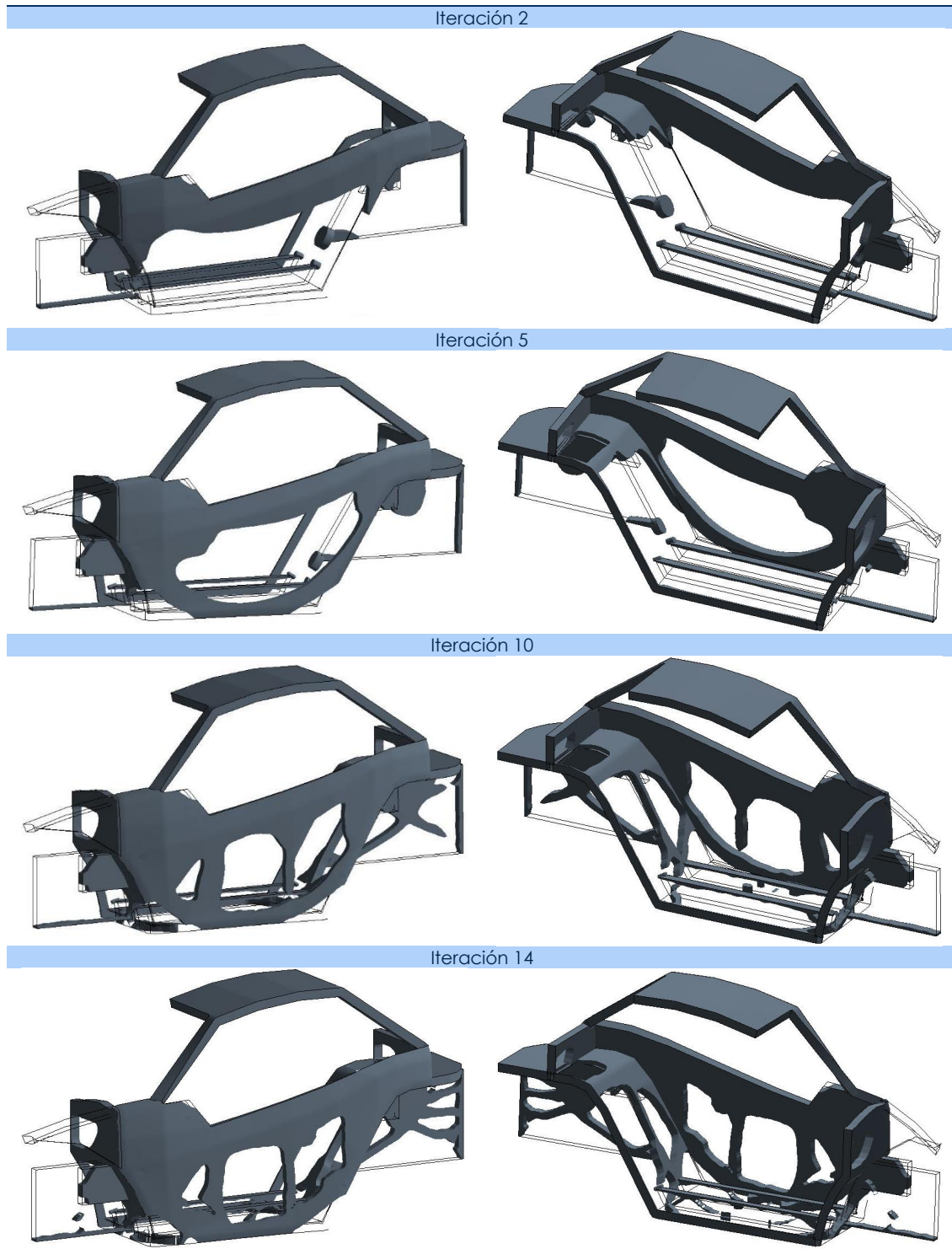


Ilustración 7-7- Convergencia de los resultados

Tabla 7-4- Resultados de iteraciones seleccionadas del análisis de optimización topológica.



7.2.2.3 Arreglo inicial del bastidor

Los resultados del análisis de optimización topológica sirvieron de base para la creación del concepto de bastidor del vehículo recreativo. Por simplicidad de diseño, el bastidor se pensó como una estructura formada por elementos tubulares. Se colocó una mayor cantidad de elementos tubulares en las zonas donde los resultados del análisis topológico así lo determinaron. En las ilustraciones Ilustración 7-8, Ilustración 7-10, Ilustración 7-9, Ilustración 7-11, Ilustración 7-12 e Ilustración 7-13 se muestra una comparativa por zonas del arreglo generado contra los resultados del análisis, por practicidad se muestran líneas en lugar de elementos tubulares, se mantienen las superficies del concepto simplificado a manera de guía para una mejor visualización del arreglo del bastidor. Solo en el caso del arreglo propuesto para los laterales del vehículo (Ilustración 7-10) la disposición de los elementos estructurales tiene menor correspondencia con los resultados del análisis topológico, esto debido a que en el arreglo generado se ha tomado en cuenta el acceso al vehículo (puerta). En la Ilustración 7-14 se puede ver una vista lateral y una vista isométrica generales de la propuesta de bastidor, la cual fue sometida a análisis de elemento finito con la intención de refinar el diseño, de esto se habla en la sección 8 de este documento.

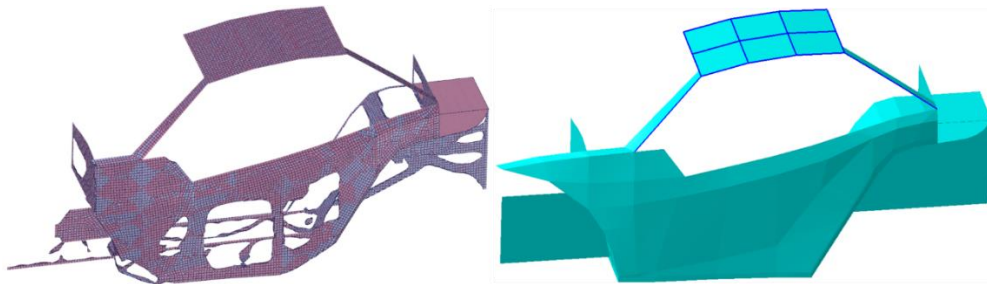


Ilustración 7-8- Propuesta de disposición de elementos estructurales para la zona de la ROPS con base en los resultados del análisis de optimización topológica.

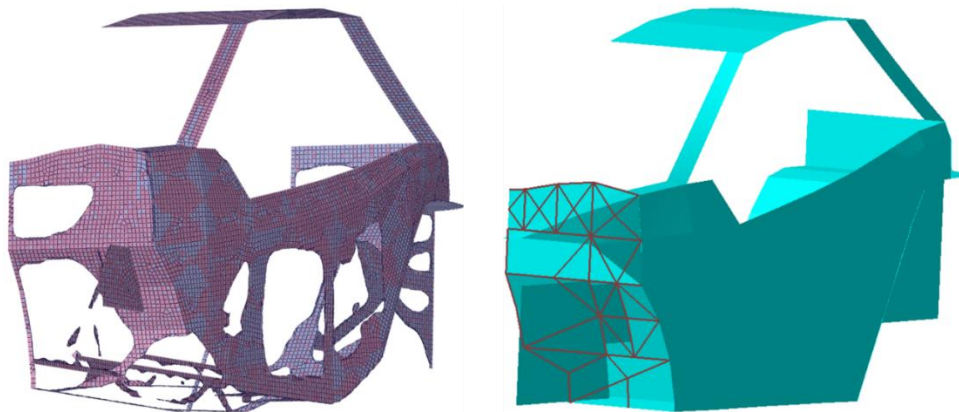


Ilustración 7-9- Propuesta de disposición de elementos estructurales para la zona frontal del vehículo con base en los resultados del análisis de optimización topológica.

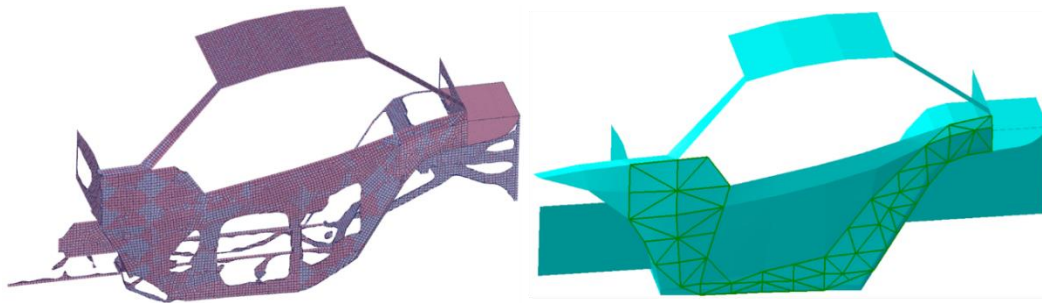


Ilustración 7-10- Propuesta de disposición de elementos estructurales para los laterales del vehículo con base en los resultados del análisis de optimización topológica.

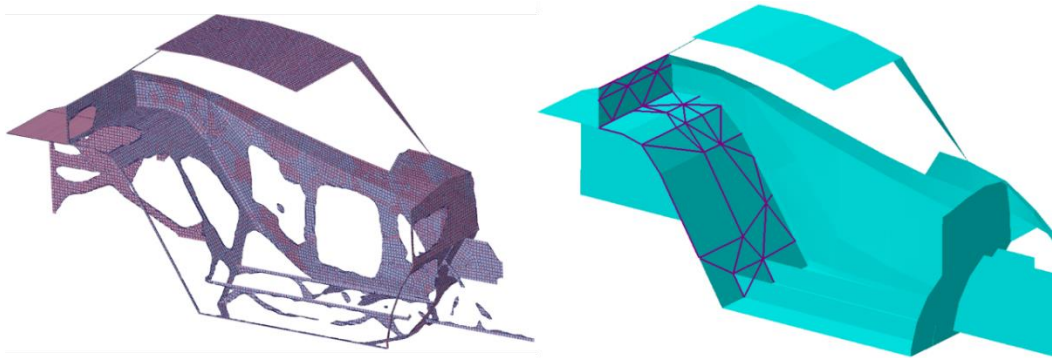


Ilustración 7-11- Propuesta de disposición de elementos estructurales para la zona trasera del vehículo con base en los resultados del análisis de optimización topológica.

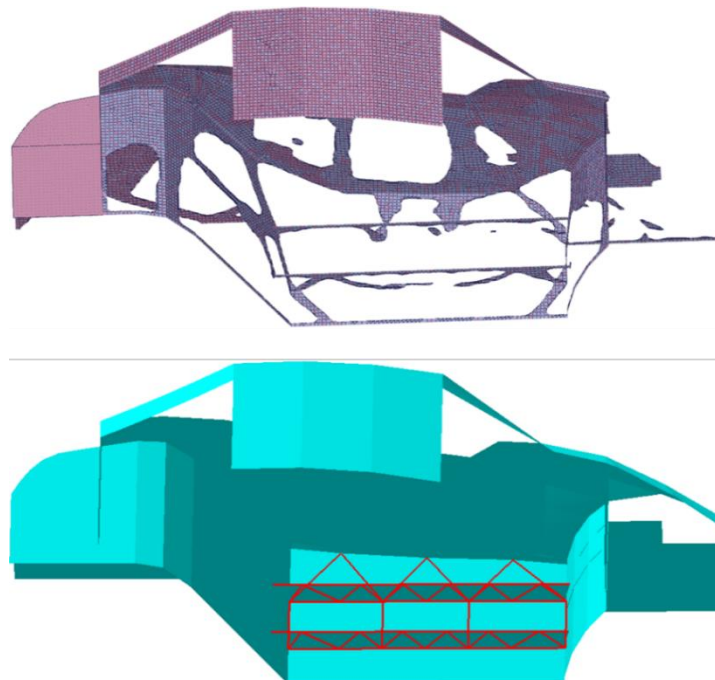


Ilustración 7-12- Propuesta de disposición de elementos estructurales para el piso del vehículo y los soportes de asientos con base en los resultados del análisis de optimización topológica.

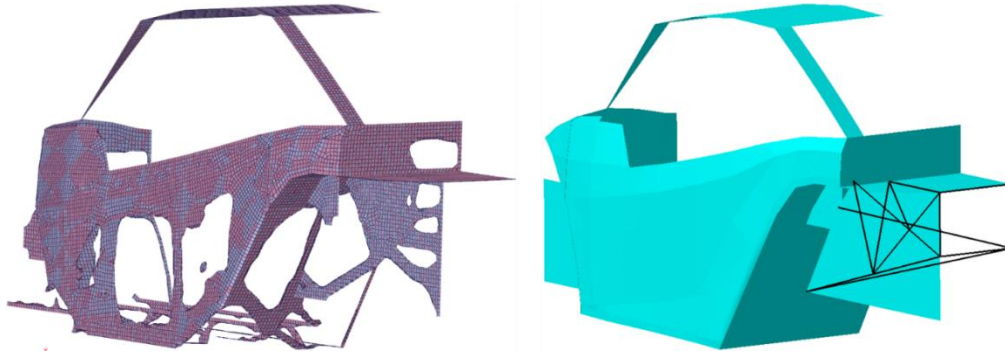


Ilustración 7-13- Propuesta de disposición de elementos estructurales para el soporte del compartimento de carga y dispositivo de remolque con base en los resultados del análisis de optimización topológica.

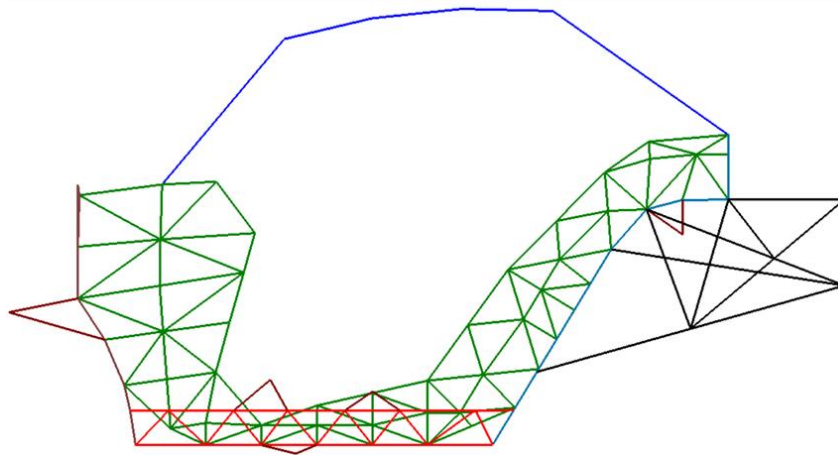
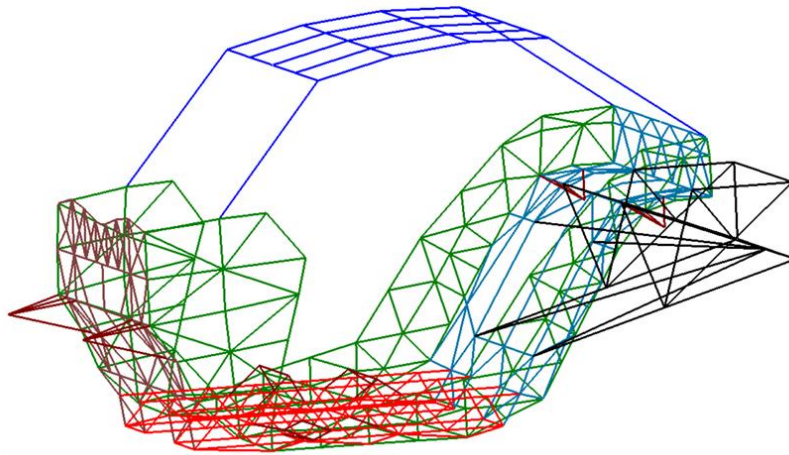


Ilustración 7-14- Vista isométrica y vista lateral de la propuesta de bastido

r

8 ANÁLISIS DEL BASTIDOR MEDIANTE FEM

En esta sección se dará detalle de las actividades realizadas para comprobar si la propuesta de bastidor, resultado del diseño conceptual, cumple con los requerimientos establecidos en el estándar ANSI/ROHVA-1 y determinar si las especificaciones objetivo establecidas son alcanzables.

8.1 CONSIDERACIONES GENERALES

8.1.1 Material y dimensiones de los elementos estructurales

Como se mencionó antes, se buscó que el diseño del bastidor fuera sencillo y se optó por fabricarlo de elementos tubulares metálicos. Buscando en los catálogos de fabricantes de perfiles de acero estructural se encontró que los perfiles circulares se producen bajo la norma ASTM A500 (tubería estructural de acero al carbón conformada en frío soldada y sin costura). Esta especificación cubre tubería estructural de acero al carbón circular, cuadrada, rectangular o de formas especiales [34] y establece cuatro grados (A, B, C y D) de acero, los cuales se establecen de acuerdo con su composición química según se observa en la Tabla 8-1.

Tabla 8-1- Composición química de los cuatro grados de acero estructural designados por la norma ASTM A500 [34]

Elemento	Composición, %			
	Grados A, B y D			Grado C
	Análisis de calor	Análisis de producto	Análisis de calor	Análisis de producto
Carbón, max	0.26	0.30	0.23	0.27
Manganeso, max	1.35	1.40	1.35	1.40
Fosforo, max	0.035	0.045	0.035	0.045
Azufre, max	0.035	0.045	0.035	0.045
Cobre, min	0.20	0.18	0.20	0.18




Para fines de análisis CAE, lo que se busca es conocer las propiedades mecánicas de estos grados de acero para poder llevar a cabo la simulación. Dentro del contenido de la norma se puede encontrar los requerimientos mecánicos a tensión, dicha información se muestra aquí, en la Tabla 8-2. También se puede observar que el Grado C es el de mayores prestaciones en cuanto a resistencia mecánica, siendo este grado que se considerará inicialmente para realizar los análisis de CAE.

Tabla 8-2- Requerimientos mecánicos a tensión para tubería estructural circular bajo la norma ASTM A500 [34]

	Grado A	Grado B	Grado C	Grado D
Resistencia a tensión, min [MPa]	310	400	425	400
Límite elástico, min [MPa]	230	290	315	250
Elongación en 50 mm, min [%]	25 (para espesores de pared igual o mayor a 3.05 mm)	23 (para espesores de pared igual o mayor a 4.57 mm)	21 (para espesores de pared igual o mayor a 3.05 mm)	23 (para espesores de pared igual o mayor a 4.57 mm)

Respecto a las dimensiones de los elementos tubulares consideradas en el análisis, la propuesta inicial se muestra en la Ilustración 8-1, este arreglo da como resultado una estructura de aproximadamente 179.98 kg.

La tabla de dimensiones completa de tubería estructural que aparece en el catálogo del fabricante se encuentra en el Anexo C de este documento.

	Diámetro exterior [mm]	Espesor de pared [mm]
	60	2.3
	42	1.9
	27	1.5

Peso total: 179.98 kg

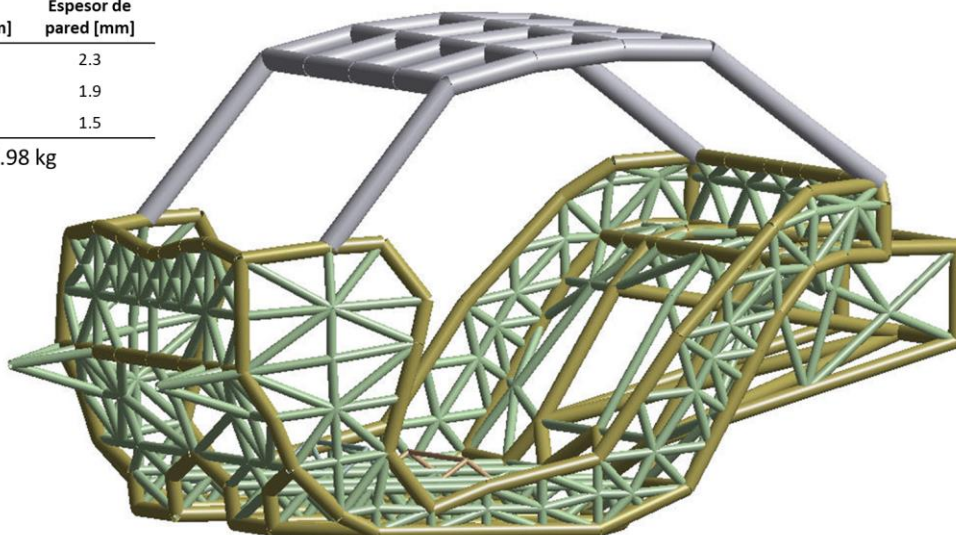


Ilustración 8-1- Propuesta inicial de dimensiones de tubos para el análisis CAE del bastidor

8.1.2 Casos de carga a evaluar mediante CAE

Para el alcance de este documento, se analizó el comportamiento estructural del bastidor bajo cargas estáticas. Estas se dividieron en dos categorías: los requerimientos para ROPS del estándar ANSI/ROHVA-1 y las cargas estáticas derivadas del uso cotidiano del vehículo que pueden ser evaluadas en este punto del proyecto para verificar las especificaciones objetivo: peso de los ocupantes, peso en el compartimiento de carga y peso remolcado.

En el Anexo D se encuentra el plan de pruebas con una descripción detallada de los casos de carga analizados. La Tabla 8-3 sintetiza la información contenida en dicho anexo.

Se puede ver en la Tabla 8-3 que los casos de carga correspondientes a la evaluación de la ROPS son los de mayor demanda mecánica, es por esto que se analizarán primero y posteriormente los casos de menor demanda.

Tabla 8-3- Casos de carga evaluados (resumen del Anexo D)

ID	Nombre de la prueba	Descripción	Criterio de cumplimiento
1	Análisis de estructura de protección contra volcaduras (ROPS)	Se evalúan los requerimientos establecidos por el estándar ANSI/ROHVA-1. Los casos de carga en esta sección deben aplicarse seguidamente uno detrás del otro, dentro de una misma simulación.	
1a	Carga lateral / Energía lateral	La aplicación de carga debe ser continua hasta que se alcancen los niveles de fuerza de 4,200 N y energía de 468.08 J de acuerdo con lo establecido en la Tabla 6-3. No es necesario que estos valores se cumplan de manera simultánea.	Los resultados deben evaluarse al concluir la aplicación del último caso de carga. Ninguna parte de la ROPS debe invadir el volumen de deflexión límite (DLV) en ningún momento durante las fases de la prueba. El plano de tierra lateral simulado (LSGP) no debe invadir el DLV en ningún momento durante la fase de aplicación de carga lateral. La ROPS no deberá separarse del vehículo debido a su sistema de montaje.
1b	Carga vertical	Después de completar la aplicación de carga lateral, se aplicará una carga vertical en la parte alta de la ROPS. La aplicación de carga es continua hasta alcanzar el nivel de fuerza de 13727 N según lo especificado en la Tabla 6-3.	
1c	Carga longitudinal	Después de completar la aplicación de carga vertical, una carga longitudinal deberá aplicarse a la ROPS. La aplicación de carga es continua hasta alcanzar el nivel de fuerza de 3360 N según lo especificado en la Tabla 6-3.	
2	Cargas estáticas	Los casos de carga en esta sección pueden ser estudiados en conjunto o de manera separada.	
2a	Peso de los ocupantes	Se considera un peso de 981 N por cada ocupante localizada en la posición del asiento.	Los esfuerzos resultantes no deben sobrepasar el límite elástico del material considerado para los miembros de la estructura del bastidor.
2b	Peso en el compartimiento de carga	Se considera un peso de 981 N.	
2c	Peso remolcado	Se considera un peso de 4905 N.	

8.2 ANÁLISIS DE LA ROPS

Para estudiar los casos de carga correspondientes a los criterios establecidos por el estándar ANSI/ROHVA-1 para la evaluación de desempeño de la ROPS, el análisis se dividió en dos partes, realizando una simulación para cada una de ellas:

1. **Aproximación de energía lateral:** en primer lugar, se realizó un análisis estructural transitorio donde se aplicó una carga linealmente incremental para conocer la fuerza necesaria para cumplir el requerimiento de energía establecido.
2. **Evaluación completa de la ROPS:** en el segundo análisis, también estructural transitorio, se realizó la simulación de los tres casos de carga requeridos para evaluar la ROPS, el análisis transitorio estructural permitió mantener en la estructura las deformaciones resultantes de un caso de carga y someterla en esa condición al siguiente caso.

En los títulos siguientes se describe con mayor detalle el procedimiento y resultados de ambas simulaciones.

8.2.1 Aproximación de energía lateral

De acuerdo con el estándar ANSI/ROHVA-1, si la masa del vehículo en vacío es menor a 700 kg, la ROPS debe someterse a una carga lateral de 4,200 N y soportar una energía equivalente a 468.08 J. Si al aplicar los 4,200 N no se alcanza el requerimiento de energía, se debe continuar incrementando la carga hasta que se cumplan ambos valores.

En el análisis CAE se puede simular la aplicación de una carga que varía en el tiempo, en este caso una carga que incrementa linealmente y, de este modo, conocer los valores equivalentes de energía de acuerdo al incremento de la carga.

8.2.1.1 Evaluación de propuesta inicial de bastidor (V01)

Se realizó una primera simulación para saber la cantidad de energía acumulada en la propuesta inicial del bastidor (la cual será identificada en adelante como V01) con la carga de 4,200 N requerida. Esto dio como resultado 4.31 J (ver la Ilustración 8-2). Al no ser alcanzado el requerimiento de energía, se incrementó el valor de la carga en una segunda simulación para satisfacer ambas condiciones.

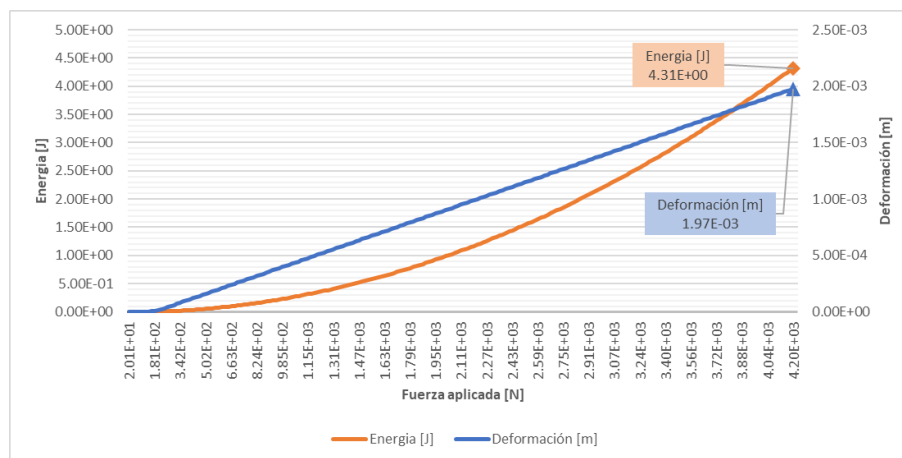


Ilustración 8-2- Niveles de energía y deformación alcanzados en la propuesta de bastidor V01, aplicando una carga lateral de 4,200 N

En la segunda simulación (Ilustración 8-3), se logró alcanzar tanto el requerimiento de carga como el de energía. Los valores de energía registrados por el software más cercanos al requerimiento de 468.08 J son 447.1 J como valor anterior y 470.5 J como valor posterior, las cargas respectivas son 29,990 N y 30,050 N. Realizando una aproximación lineal, se estima que es necesaria una carga de 30,036 N para llegar al requerimiento de energía establecido.

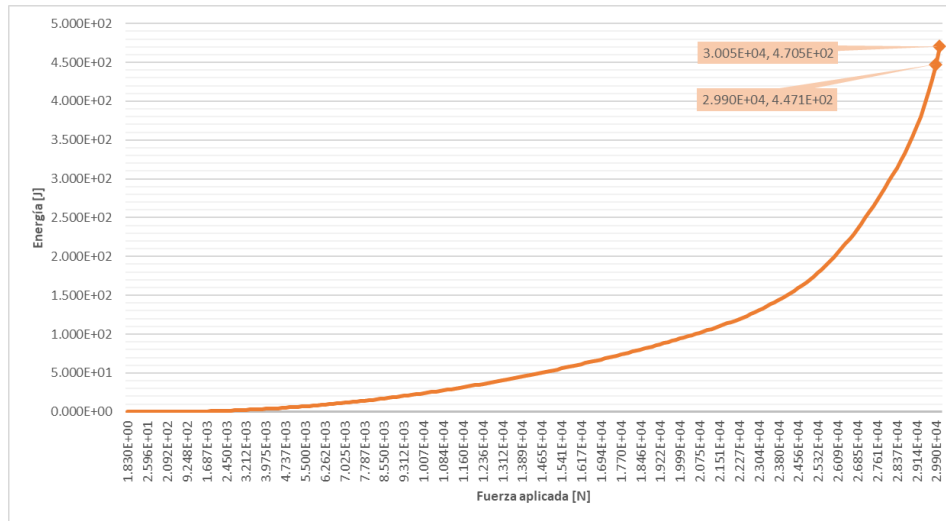


Ilustración 8-3- Niveles de energía y deformación alcanzados en la segunda iteración de la propuesta de bastidor V01

Si bien, hasta ahora se han alcanzado los requisitos de energía y carga señalados por la norma ANSI/ROHVA-1, se debe inspeccionar la integridad estructural del bastidor. Esta evaluación se realizó tomando los resultados correspondientes al valor de energía registrado por el software de 470.5 J (0.5% por encima de 468.08 J, por lo tanto, válido para fines de análisis de resultados). La Ilustración 8-4 muestra los esfuerzos máximos presentes en el bastidor en el tiempo en que se alcanzan 470.5 J de energía, la Ilustración 8-5 hace lo propio con los esfuerzos mínimos, en ellas se puede observar que algunas zonas del bastidor están sometidas a un nivel de esfuerzo superior al límite elástico (315 MPa) del acero ASTM A500C, considerado para la construcción del bastidor, pero también por encima del esfuerzo último (425 MPa) (ver Tabla 8-2), lo que significa que la estructura presentaría deformación permanente (lo cual es permitido siempre que no se invada el espacio del DLV) y falla por fractura, razón por la cual se determina que la propuesta de bastidor V01 no cumple el criterio de aceptación y se debe trabajar en el diseño para mejorar el desempeño estructural. Por otro lado, el nivel de deformación alcanzado es de 23.6 mm según se observa en la Ilustración 8-6; este es un valor más bien ilustrativo pues la condición real sería un desprendimiento de la ROPS.

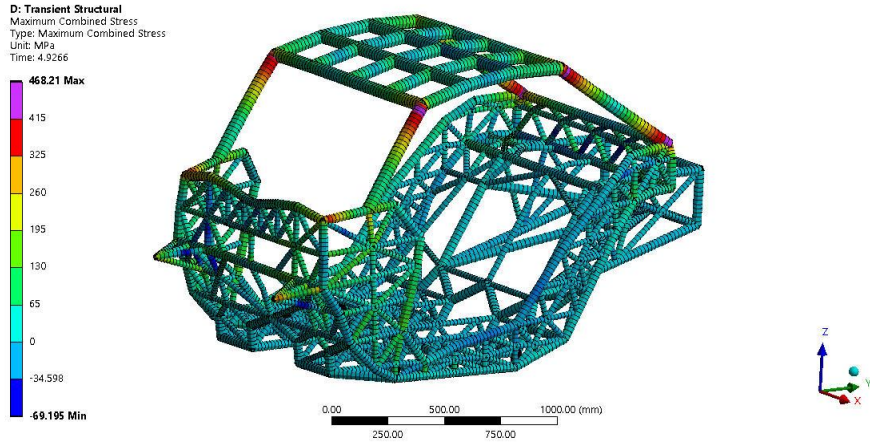


Ilustración 8-4- Gráfico de contornos de esfuerzos máximos observados en propuesta de bastidor V01, tras cumplir el requerimiento de energía de 468.08 J

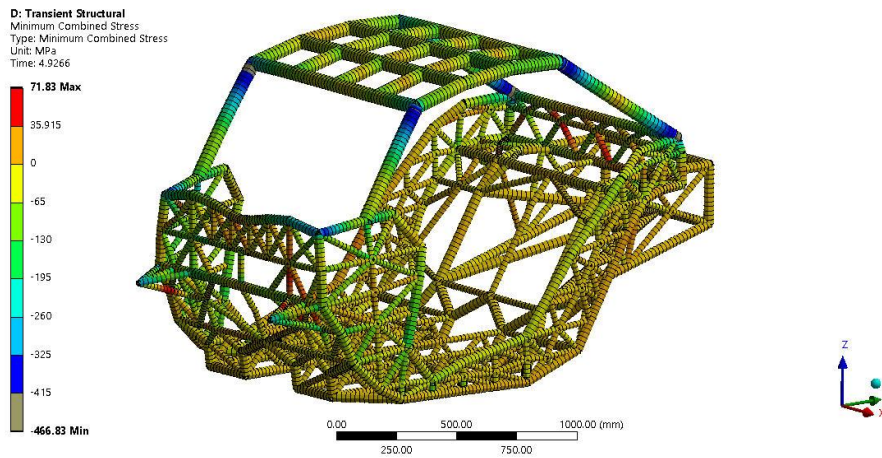


Ilustración 8-5- Gráfico de contornos de esfuerzos mínimos observados en propuesta de bastidor V01, tras cumplir el requerimiento de energía de 468.08 J

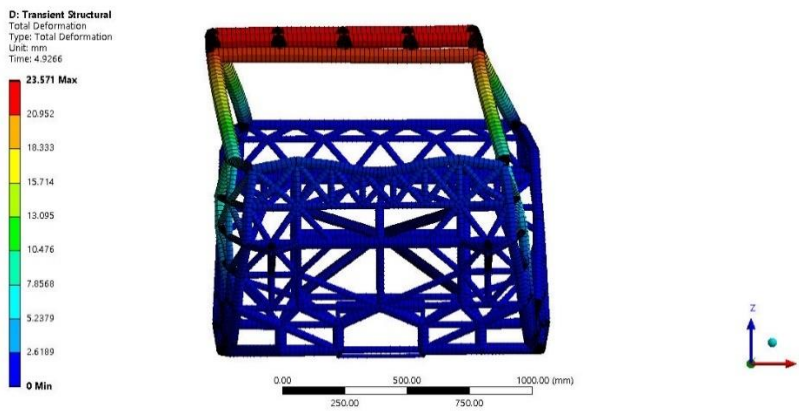


Ilustración 8-6- Gráfico de contornos de deformaciones observadas en propuesta de bastidor V01, tras cumplir el requerimiento de energía de 468.08 J

8.2.1.2 Evaluación de otras propuestas de bastidor

A partir de los resultados descritos anteriormente, se generaron y analizaron diferentes propuestas para el bastidor, en las cuales se jugó con variables como el diámetro y calibre de los elementos tubulares, y en ciertos casos se agregaron o quitaron algunos de estos elementos.

Con la intención de evitar en esta sección un contenido en el que se repite la explicación de los procedimientos, en el Anexo E se presentan con detalle las geometrías de las diferentes propuestas analizadas, así como el análisis de los resultados obtenidos para cada una de ellas. En esta sección solo se muestra en la Tabla 8-4 un resumen de dicho anexo y se desglosan los resultados de la propuesta de bastidor V10, que se considera la mejor opción en base a los resultados como se explicará más adelante.

En la Tabla 8-4 se destaca la columna de energía, en la cual se muestra el nivel registrado por el software de análisis y entre paréntesis la diferencia relativa al requerimiento. También se incluyen los niveles de esfuerzo presentes en la estructura correspondientes al valor de energía registrado, y basado en los resultados de esfuerzo, se indica si la estructura presenta falla por fractura.

Tabla 8-4- Comparativa de los resultados de evaluación para energía lateral de las diferentes propuestas de bastidor

ID de propuesta de bastidor	Peso del bastidor [kg]	Carga lateral aplicada [N]	Energía [J]	Deformación [mm]	Esfuerzo máximo [MPa]	Esfuerzo mínimo [MPa]	Deformación permanente	Fractura
V01	179.98	30,052	470.53 (+0.5%)	23.57	468.21	466.83	X	X
V02	202.20	40,304	468.26 (+0.04%)	19.26	459.82	447.75	X	X
V03	165.39	15,033	478.50 (+2.2%)	42.33	447.89	450.61	X	X
V04	242.37	24,383	480.57 (+2.7%)	29.53	462.15	463.68	X	X
V05	183.38	44,689	468.60 (+0.1%)	18.62	428.96	428.85	X	X
V06	167.46	25,512	475.34 (+1.6%)	28.65	462.02	462.88	X	X
V07	180.79	43,924	469.43 (+0.3%)	18.99	429.47	429.32	X	X
V08	184.55	45,450	468.99 (+0.2%)	18.54	408.99	406.76	X	
V09	182.95	44,949	470.23 (+0.5%)	18.75	410.23	409.52	X	
V10	181.97	43,321	468.21 (+0.03%)	19.31	403.14	401.8	X	
V11	205.29	51,989	468.74 (+0.15%)	16.66	405.62	401.97	X	

De la Tabla 8-4 se puede concluir que solo 4 de los 11 conceptos analizados cumplen con el criterio de no-fractura/desprendimiento, estos son V08, V09, V10 y V11. Para seleccionar el concepto que se analizará en los siguientes casos de carga

se creó una tabla de decisión (Tabla 8-5), en este caso los criterios de evaluación son los siguientes:

- **Peso del bastidor:** A mayor peso de la estructura menor es la calificación asignada.
- **Aproximación de la cantidad de energía:** Como se comentó en párrafos anteriores, el software registra la cantidad de energía en determinados momentos de acuerdo con el avance de la simulación. Por esta razón los valores de energía y otros datos relacionados como la deformación y los esfuerzos no son registrados al mismo tiempo en todas las simulaciones. En este caso se tomó como referencia el valor de 468.08 J para comparar el “desfase” de los datos obtenidos en cada simulación. Entre mayor sea la aproximación, mayor será el puntaje de calificación.
- **Deformación de la estructura:** Se evalúa la deformación máxima. Mayor deformación implica menor puntaje.
- **Factor de seguridad:** Se toma el valor más alto de los esfuerzos máximos y mínimos y se compara contra el esfuerzo último del material, 425 MPa. Un factor de seguridad más alto significa que se asignará un puntaje más alto.

Tabla 8-5- Calificación de conceptos para selección de bastidor

Características de evaluación	Objetivo	Conceptos			
		V08	V09	V10	V11
Peso del bastidor	Minimizar	5	5	5	1
Aproximación de la cantidad de energía	Minimizar	4	1	5	4
Deformación de la estructura	Minimizar	2	2	1	5
Factor de seguridad	Maximizar	1	1	5	4
	SUMA	12	9	16	14

Se deduce que la mejor opción es el concepto V10, este se utilizará para evaluar los siguientes casos de carga, los cuales, cabe decir, son menos demandantes que el actual, estructuralmente hablando.

8.2.2 Evaluación completa de la ROPS

En este análisis se llevó a cabo la simulación de todos los casos de carga especificados para la ROPS. Se aplicaron tres cargas consecutivas: lateral, vertical y longitudinal cuyas magnitudes fueron establecidas por los requerimientos del estándar ANSI/ROHVA-1, con la excepción de la carga lateral, cuyo valor se determinó con base en los resultados obtenidos del análisis de aproximación de energía lateral descrito en el título 8.2.1.

La aplicación de cada carga fue linealmente incremental, hasta llegar a la magnitud requerida. La secuencia de aplicación fue la siguiente:

1. **Aplicación de carga lateral:** Partiendo de una condición libre de carga [$t = 0$ s], se incrementó la carga en un lapso de 5 s; una vez alcanzada la carga máxima de 43,350 N [$t = 5$ s], se retiró la carga por completo en un lapso de 1 s [$t = 6$ s].

2. **Aplicación de carga vertical:** Una vez se retiró por completo la carga lateral [$t = 6$ s], se comenzó con la aplicación de la carga vertical desde 0 N hasta 13,727 N, esto en un lapso de 5 s [$t = 11$ s]. Según lo establecido en la norma ANSI-ROHVA-1, la carga se mantuvo por un tiempo determinado de 20 s (para fines de simulación) para verificar que la deformación cesara al detener el incremento de carga; una vez transcurridos los 20 s [$t = 31$ s], se retiró totalmente la carga en un lapso de 1 s [$t = 32$ s].
3. **Aplicación de carga longitudinal:** Al terminar la aplicación de carga vertical [$t = 32$ s], se aplicó una carga longitudinal en un lapso de 5 s, llevandola desde 0 N hasta 3,360 N [$t = 37$ s], inmediatamente se retiró la carga en 1 s [$t = 38$ s].

El proceso descrito en los párrafos anteriores puede verse gráficamente en la Ilustración 8-7, los signos negativos son debido a la orientación del modelo del vehículo en el entorno del software. En la Ilustración 8-8 se muestra, para cada carga, los puntos de aplicación (banderas) y sus respectivas direcciones (flechas).



Ilustración 8-7- Secuencia de aplicación de cargas para evaluación completa de la ROPS

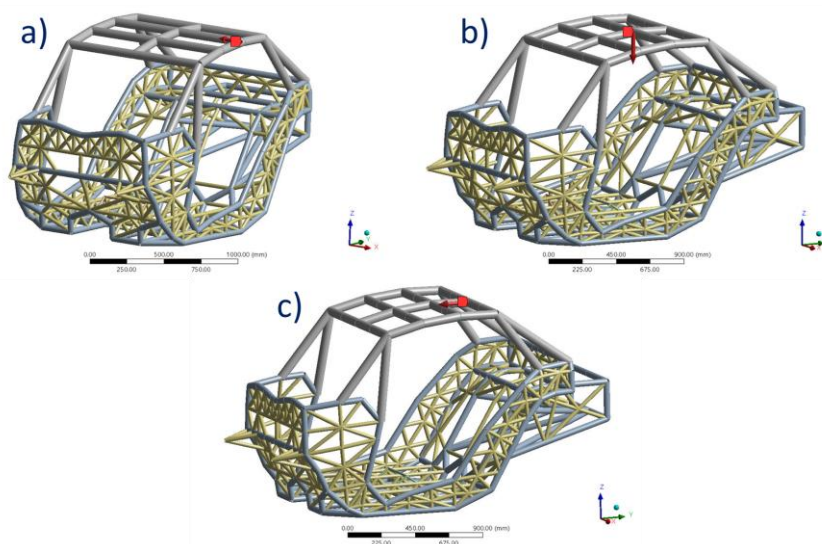


Ilustración 8-8- Punto de aplicación y direcciones de las cargas a)Lateral, b)Vertical y c)Longitudinal

Para evaluar el cumplimiento de los resultados de esta simulación, se seguirán los criterios establecidos en la norma ANSI/ROHVA-1, los cuales puede consultarse también en el Anexo D.

A continuación, se enumeran los criterios de cumplimiento y en cada caso se evalúan los resultados de la simulación para determinar si se satisface el criterio en cuestión.

1. **Los resultados deben evaluarse al concluir la aplicación del último caso de carga:** Todos los resultados fueron evaluados después de aplicar los tres casos para la evaluación de la ROPS, estos se aplicaron de manera consecutiva y manteniendo en la simulación los niveles de deformación tal como lo establece el estándar ANSI/ROHVA-1 para la prueba física.
2. **La ROPS del vehículo deberá cumplir o exceder los requerimientos de energía y fuerza lateral, longitudinal y vertical establecidos en el estándar ANSI/ROHVA-1:** Como se explicó anteriormente, las magnitudes de todas las cargas fueron calculadas en base a lo requerido por esta norma. En el caso de la carga lateral, se realizó una simulación previa para definir el valor de la carga correspondiente a la magnitud de la energía establecida, esto puede verse en el título 8.2.1. Como dato adicional, la Ilustración 8-9 muestra que, en ningún momento de la prueba, se alcanzaron niveles de esfuerzo por encima del esfuerzo último del material [425 MPa], lo cual indica que la estructura, a pesar de presentar deformación permanente (lo cual es permitido) no presenta falla por fractura. Es decir, la estructura evaluada cumple con este criterio.

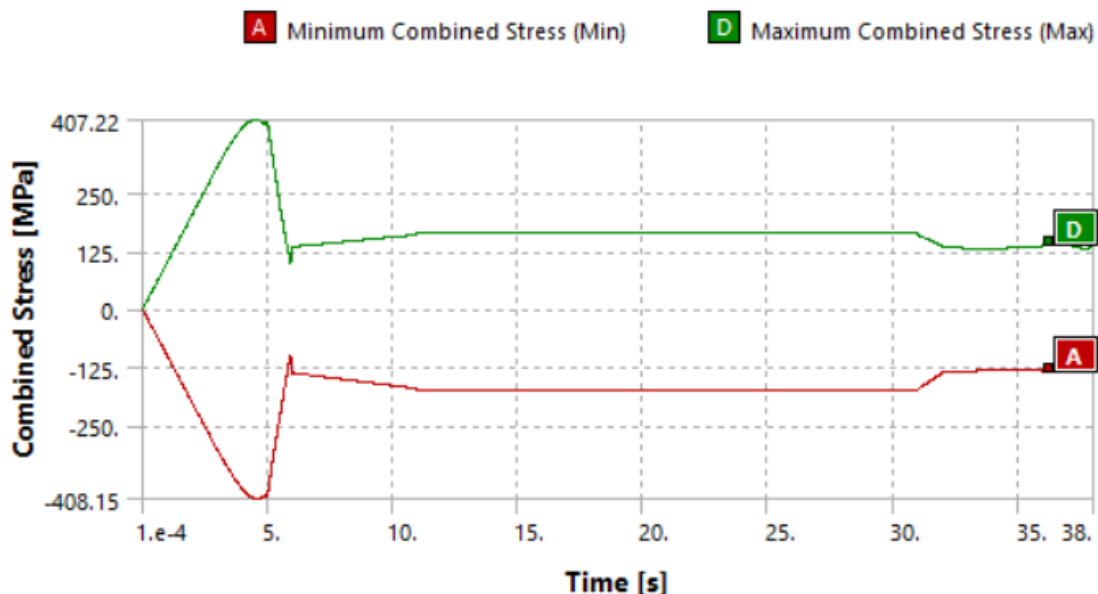


Ilustración 8-9- Esfuerzos máximos y mínimos presentes en la estructura durante la simulación de la prueba de ROPS

3. **No es necesario que los requerimientos de fuerza y energía bajo carga lateral sean cumplidos simultáneamente:** En el título 8.2.1.1 se explicó que para poder alcanzar el nivel de energía requerido [468.08 J], era necesario incrementar el valor de la carga establecida inicialmente [4,200 N]. En la Ilustración 8-10 se resalta en la curva fuerza-energía el punto correspondiente al valor de 4,200 N (punto inmediato superior registrado por el software [4,337 N]) así como el valor correspondiente a los 468.08 J requeridos (punto inmediato superior registrado por el software [468.2 J]). El criterio se cumple puesto que se alcanzan ambos valores requeridos sin presentar fractura en la estructura.

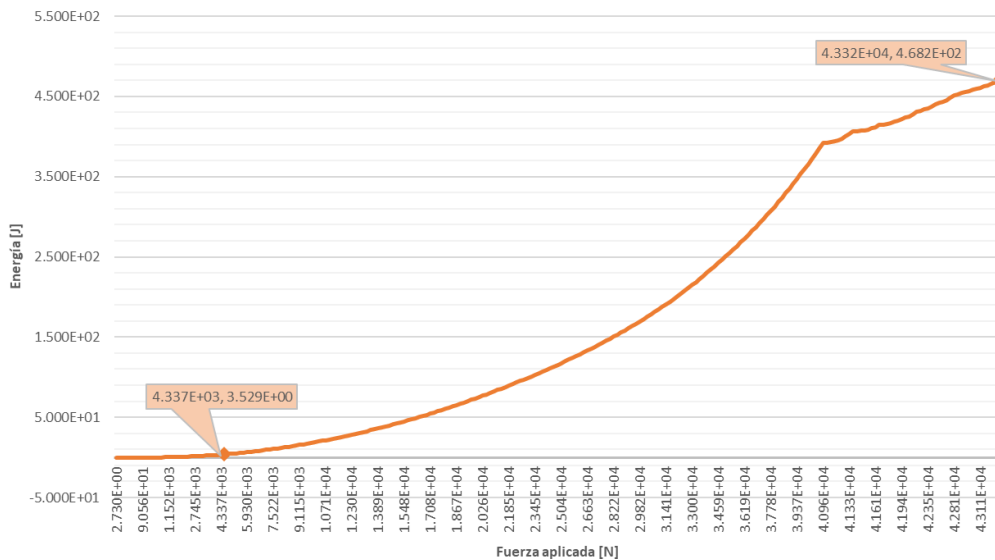
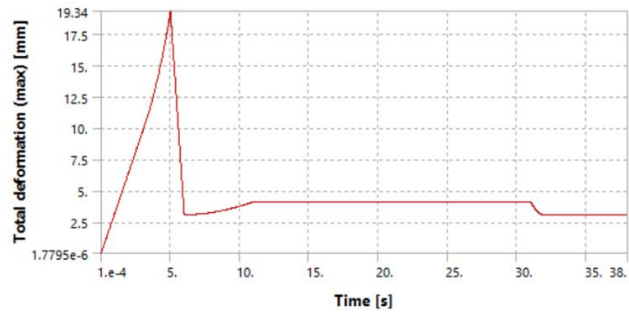


Ilustración 8-10- Curva fuerza-energía obtenida durante la aplicación de carga lateral

4. **Ninguna parte de la ROPS debe invadir el volumen de deflexión límite (DLV) en ningún momento durante las fases de la prueba:** Para evaluar el cumplimiento de este criterio, se debe determinar el momento de la prueba en que se alcanza la mayor deformación de la estructura, este dato puede consultarse en la Ilustración 8-11, donde se aprecia que la deformación máxima ocurre en $t = 5$ s, también puede verse el gráfico de contornos correspondiente al estado de deformación en dicho tiempo, y en él, el punto donde se presenta la máxima deformación. Esta geometría, con la máxima deformación, es exportada para evaluar la posible colisión con el DLV; se superpone la geometría de la ROPS deformada sobre la original para comparar su posición respecto al DLV, en la Ilustración 8-12 aparece la ROPS original en color verde, su contraparte deformada en color azul y los DLV del operador y pasajero en color rojo; en la Ilustración 8-13 y la Ilustración 8-14 se puede observar que la geometría de la ROPS en su estado de máxima deformación no invade el DLV. El criterio se satisface.



X: Transient Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 5

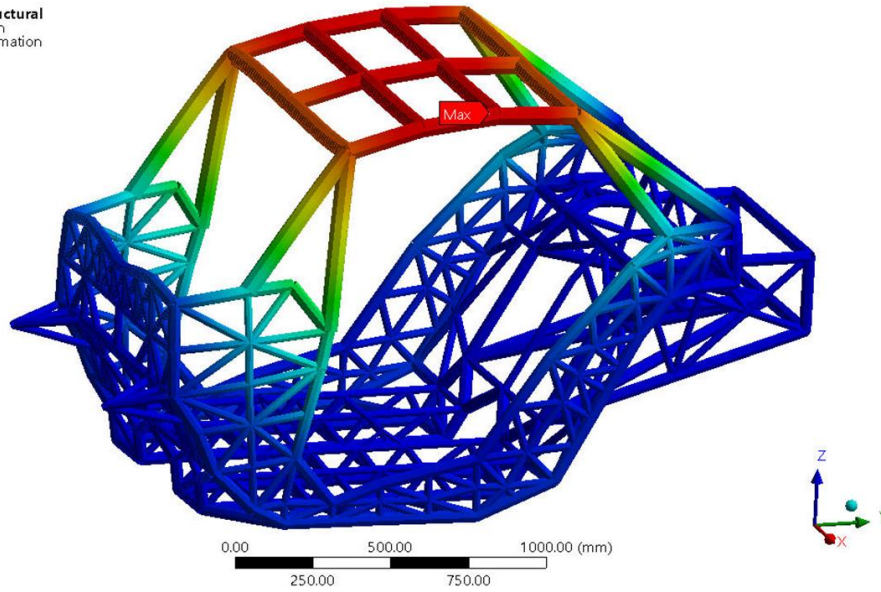
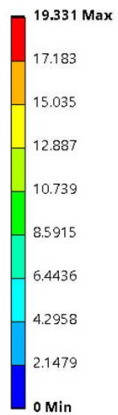


Ilustración 8-11- Deformación máxima presente en la estructura a lo largo de la prueba

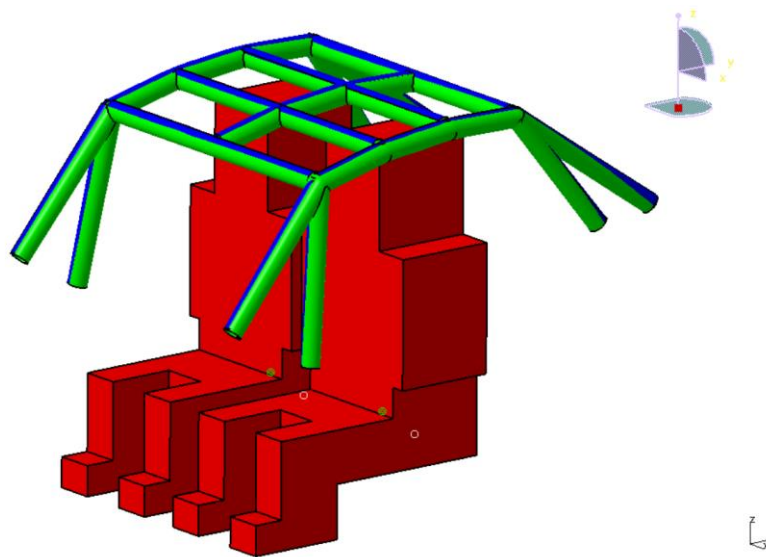


Ilustración 8-12- ROPS en estado de máxima deformación, en color azul

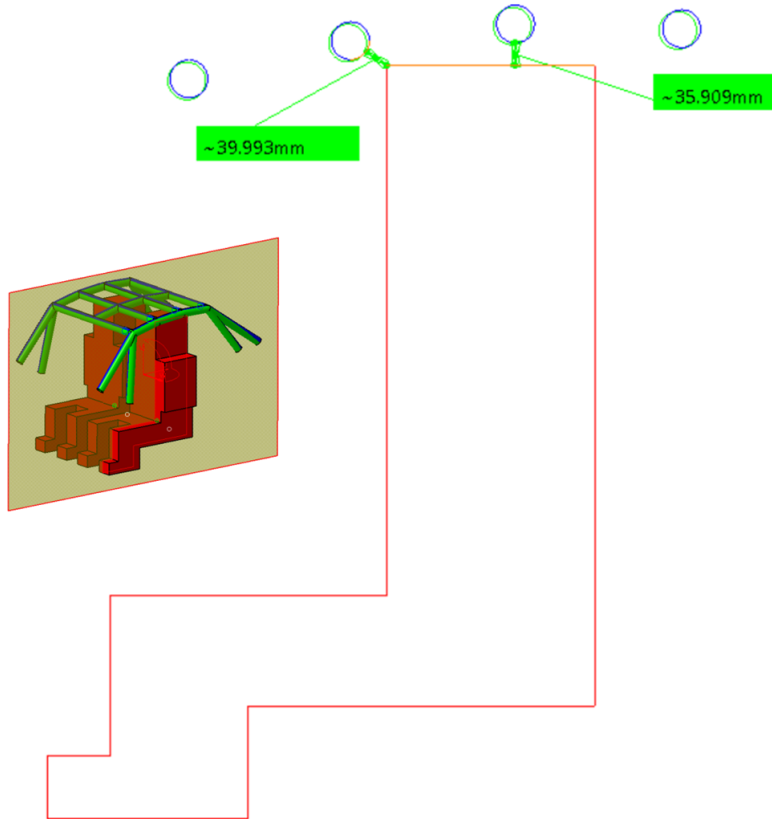


Ilustración 8-13- Comprobación de colisión ROPS-DLV, corte longitudinal

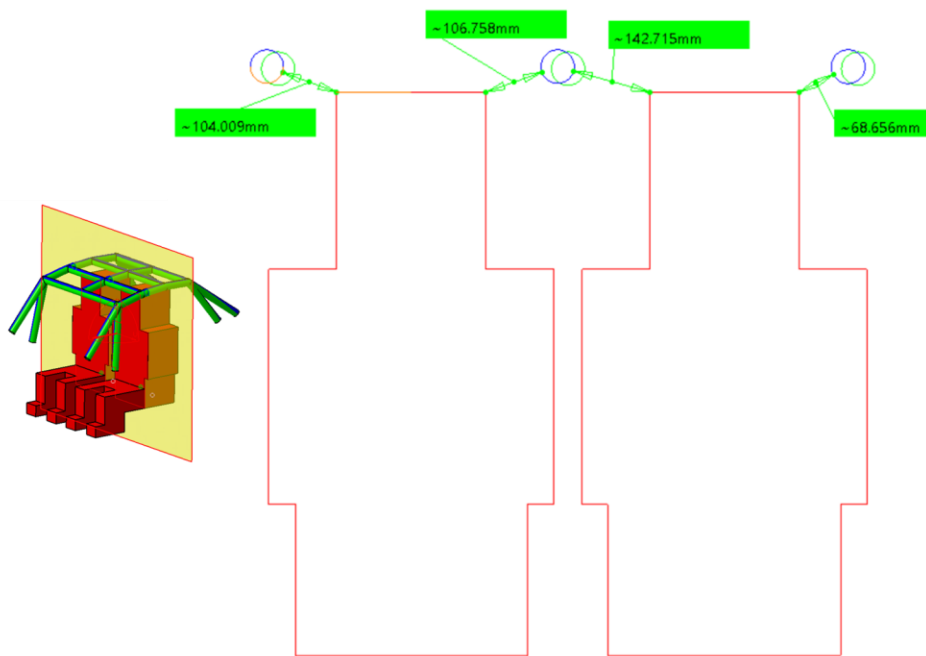


Ilustración 8-14- Comprobación de colisión ROPS-DLV, corte transversal

5. **El plano de tierra lateral simulado (LSGP) no debe invadir el DLV en ningún momento durante la fase de aplicación de carga lateral:** Tomando como apoyo la validación realizada en el punto 4, se traza el LSGP tangente a la geometría deformada y se verifica que no invada el DLV. La Ilustración 8-15 muestra una vista frontal del vehículo, se puede apreciar que el LSGP (en verde) no invade el espacio del DLV. El criterio se cumple.

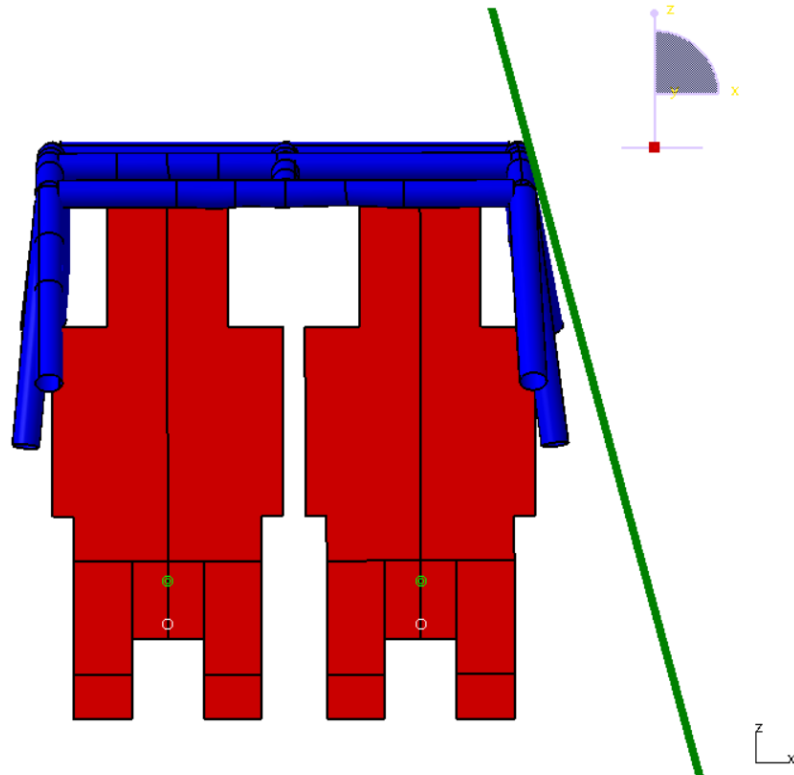


Ilustración 8-15- Comprobación del LSGP

6. **La ROPS no deberá separarse del vehículo debido a su sistema de montaje:** En la Ilustración 8-9, se observa que la estructura no se sobrepasa el esfuerzo último del material, por lo cual no se espera la presencia de falla por fractura en los elementos tubulares. La selección del tipo y parámetros de soldadura utilizados para el armado del bastidor deben tomar en cuenta la magnitud del esfuerzo que puede presentarse en la estructura para evitar fallas en las uniones y asegurar el cumplimiento de este criterio.

Tomando en consideración el cumplimiento de los criterios antes descritos, se puede concluir que la configuración del bastidor identificada como V10 satisface los requerimientos del estándar ANSI/ROHVA-1 en cuanto al desempeño de la estructura de protección contra volcaduras (ROPS), un criterio clave en la seguridad de los ocupantes.

8.3 ANÁLISIS DE CARGAS ESTÁTICAS

Una vez que se ha conseguido una geometría apta para cumplir los requerimientos del estándar ANSI/ROHVA-1 para la ROPS, los cuales cabe decir, demandan un grado alto de severidad sobre la integridad de la estructura, se puede continuar con la valoración de los casos de carga menores. En esta sección se describirá lo realizado para evaluar los casos de carga correspondientes a la sección 2 del plan de pruebas mostrado en el Anexo D.

Las cargas que se evaluaron son peso de los ocupantes (981 N por ocupante), peso en el compartimento de carga (981 N) y peso remolcado (4,905 N). Fueron aplicadas de acuerdo a lo descrito en el plan de pruebas, la Ilustración 8-16 muestra gráficamente los puntos de aplicación y dirección de las cargas.

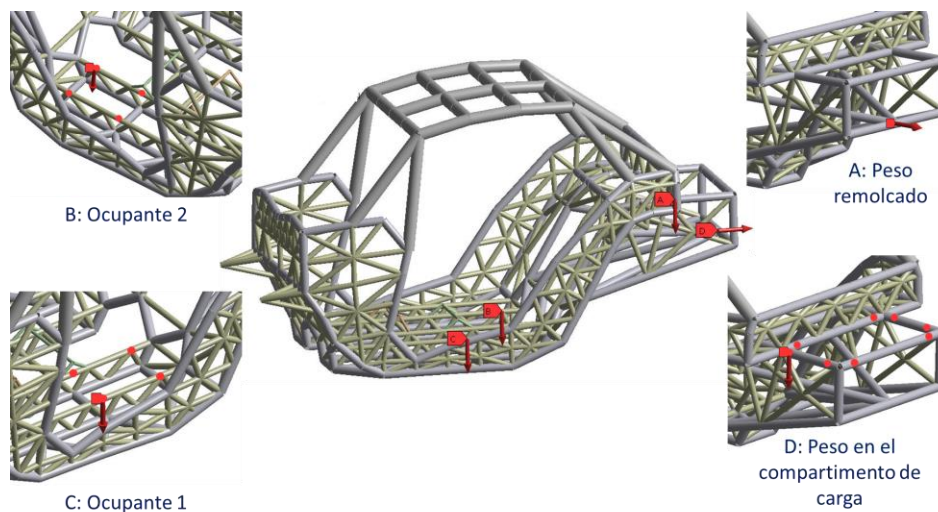


Ilustración 8-16- Cargas aplicadas en el análisis de cargas estáticas

Los resultados de la simulación hacen notar un estado de esfuerzo (mostrado en la Ilustración 8-17) muy por debajo del límite elástico del material, el factor de seguridad obtenido es superior a 15.

Considerando los resultados obtenidos en este análisis y en la evaluación de la ROPS, se podría inferir que la estructura evaluada está sobrediseñada, sin embargo, vale la pena no hacer modificaciones para optimizar peso hasta no realizar un estudio de cargas dinámicas como pueden ser pruebas de aceleración, pruebas de frenado, pruebas de impacto, entre otras.

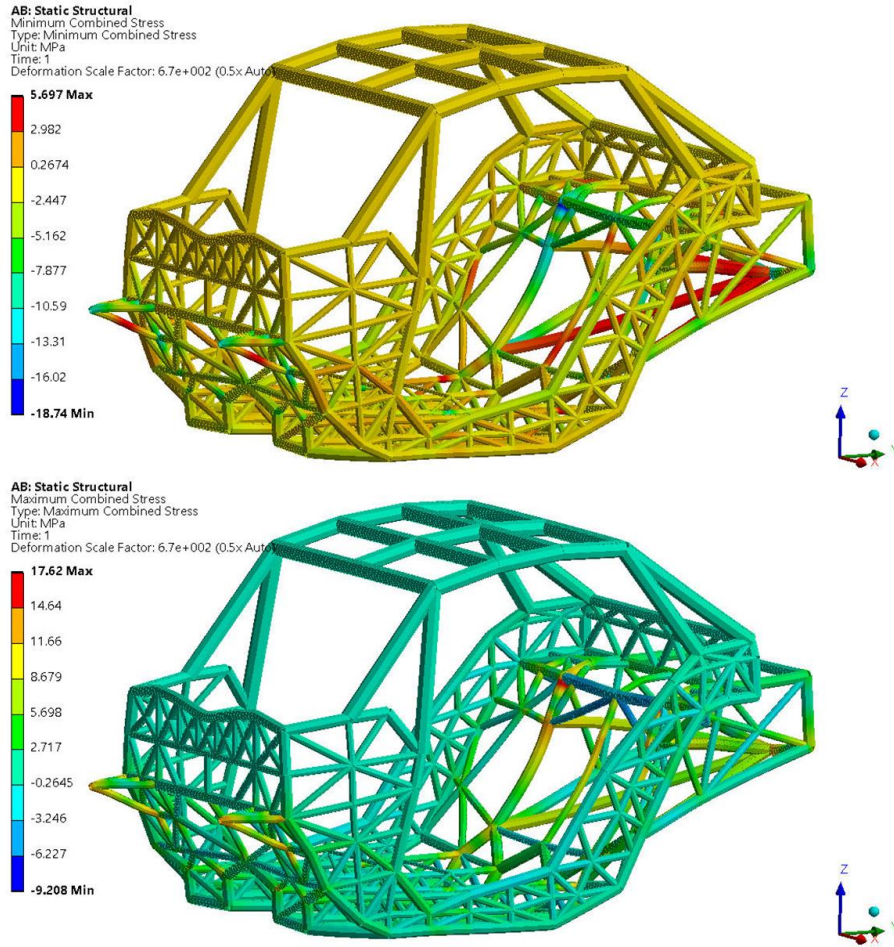


Ilustración 8-17- Gráfico de contornos de los esfuerzos mínimos (arriba) y máximos (abajo) resultantes en el bastidor tras la aplicación de cargas estáticas

9 CONCLUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Este ejercicio de diseño ha sido integral, en el sentido de que se han considerado las etapas previas que arrojaron especificaciones objetivo a cumplir. En algunos ámbitos, como la industria, es común que los diseñadores reciben esta lista de especificaciones pues los productos tienen cierta estandarización. Sin embargo, en este proyecto se ha tenido que realizar un ejercicio de benchmarking y acercamiento con usuarios para definir las especificaciones, además de la revisión de normativa. Esto ha permitido tener mayor control en las decisiones de diseño, recurriendo a herramientas como tablas de decisión para mantener la objetividad.

De los once conceptos de bastidor evaluados, cuatro de ellos muestran un buen desempeño ante el caso de carga de mayor demanda estructural (evaluación de la ROPS: carga lateral / energía lateral), sin embargo, el denominado como V10, además de tener un buen desempeño, también es el de menor peso; por esta razón se seleccionó como diseño definido. Este concepto se muestra en la Ilustración 9-1.

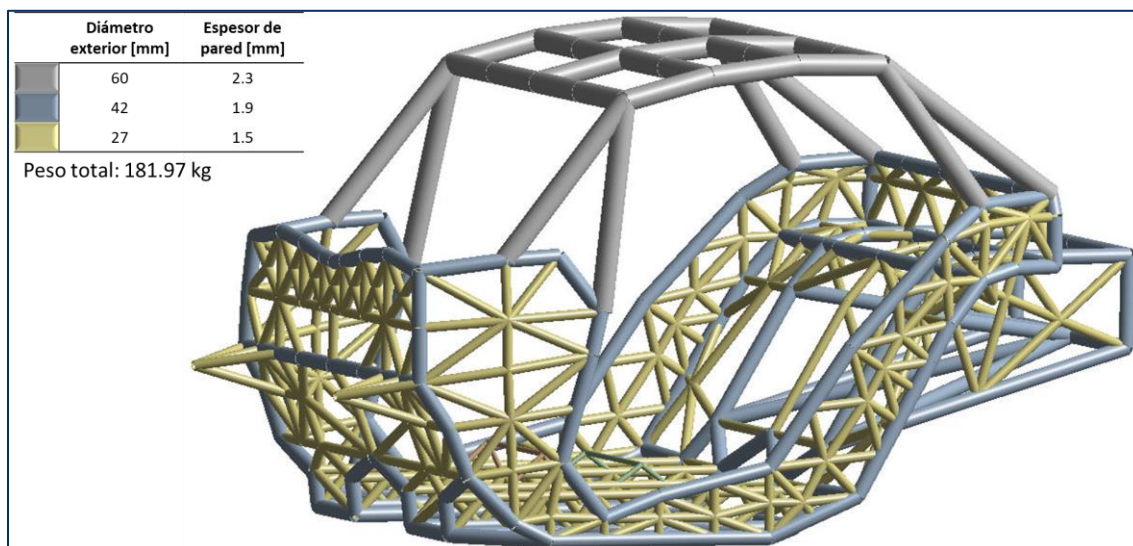


Ilustración 9-1- Propuesta de diseño con mejor desempeño estructural

El diseño elegido, tuvo un buen cumplimiento en la evaluación de ROPS. Si bien la estructura presenta una deformación permanente de aproximadamente 2.5 mm al final de la prueba, el nivel de esfuerzo en la estructura no superó el esfuerzo último del material en ningún momento a lo largo de la prueba. Por otro lado, en el momento de deformación máxima (19.3 mm), no se observa que los elementos de la estructura invadan el DLV de los ocupantes.

El siguiente análisis realizado fue la evaluación de cargas estáticas. Los resultados de esta simulación arrojaron un factor de seguridad mayor a 15, se podría inferir un sobrediseño de la estructura, sin embargo, se debe recordar que las cargas se consideraron estáticas y que al evaluarlas en un análisis multicuerpo, las

implicaciones en la estructura podrían ser de mayor demanda estructural, por lo que, en esta etapa del diseño, el factor de seguridad obtenido se considera adecuado.

Respecto a las especificaciones objetivo, la Tabla 9-1 muestra una relación de cumplimiento del diseño de bastidor. Es notable que se cumplen la mayoría de las especificaciones, a excepción de las dimensiones del compartimento de carga. No obstante, estas podrían ser ajustadas en el diseño del vehículo para alcanzar los valores especificados.

Tabla 9-1- Cumplimiento del bastidor con las especificaciones objetivo

Característica	Métrica	Valor ideal	Valor marginal	Valor alcanzado	Cumplimiento del bastidor
Longitud del vehículo	[cm]	247	298	283	Si
Ancho del vehículo	[cm]	130	175	150	Si
Altura del vehículo	[cm]	156	193	157	Si
Altura libre al suelo	[cm]	30	25	27	Si
Peso del vehículo	[kg]	<240	241	182	Si
Número de pasajeros	[numero]	4	2	2	Si
Longitud del compartimento de carga	[cm]	89	58	≥34	No
Ancho del compartimento de carga	[cm]	116	114	114	Si
Altura del compartimento de carga	[cm]	33	26	NA	NA
Capacidad del compartimento de carga	[kg]	>100	70	≥100	Si
Capacidad de arrastre	[kg]	>500	225	≥500	Si
Consumo de combustible	[km/tanque]	>100	50	NA	NA
Velocidad máxima	[km/h]	120	80	NA	NA

En general, el diseño conseguido muestra un buen desempeño ante las evaluaciones realizadas y un cumplimiento aceptable de las especificaciones objetivo del vehículo.

Recomendaciones para las siguientes etapas del proyecto

A continuación, se enumeran algunos comentarios/recomendaciones que el autor considera para las siguientes etapas de diseño del vehículo y sus diferentes sistemas:

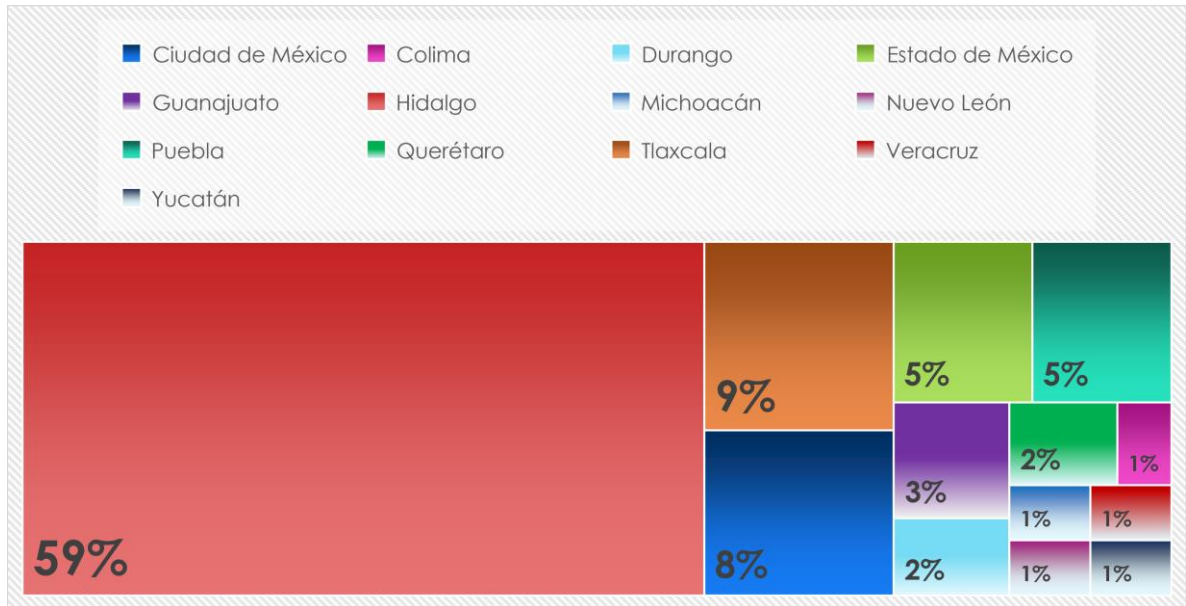
1. En este punto, no se ha definido una especificación para el diseño de las uniones soldadas del bastidor, es importante que en al momento de definirla el diseñador encargado tome en cuenta los resultados obtenidos en la

evaluación de la ROPS para que el tipo/proceso de soldadura que se elija sea acorde con los esfuerzos presentes en la estructura.

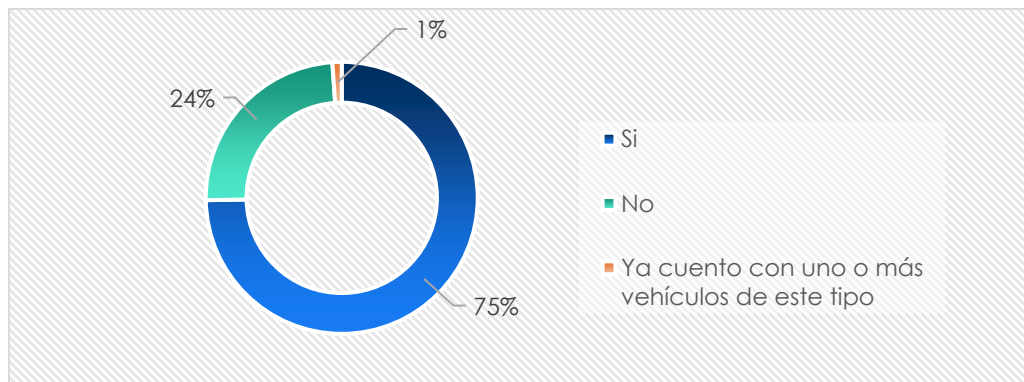
2. El estándar indica que los sistemas de ORS pueden estar integrados en la estructura del vehículo. Si se decide hacerlo así, deben integrarse y verificar su cumplimiento
3. Considerar lo especificado en el estándar ANSI/ROHVA-1 en el diseño de los sistemas restantes del vehículo.
4. Al integrarse los demás sistemas del vehículo, puede requerirse la modificación del bastidor, esto es totalmente válido
5. Realizar un análisis de dinámica multicuerpo para verificar la correcta integración de todos los sistemas del automóvil y su desempeño como conjunto, verificando la integridad de todos los elementos que conforman el vehículo
6. Vale la pena no hacer modificaciones en el bastidor para optimizar peso hasta no realizar un estudio indicado en el punto 5.
7. Realizar las modificaciones necesarias en la ROPS pero siempre verificar el cumplimiento de carga/energía lateral.
8. No olvidarse de la propuesta original de mantener un peso reducido para incrementar la autonomía

ANEXO A

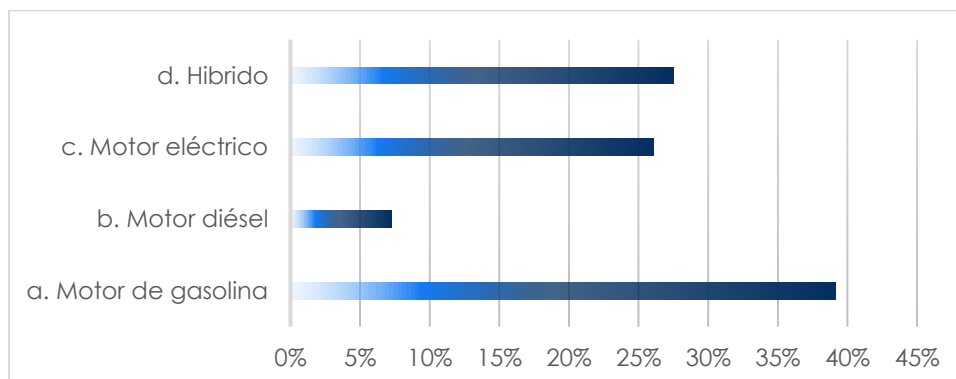
1. ¿En qué estado de la República Mexicana radicas?



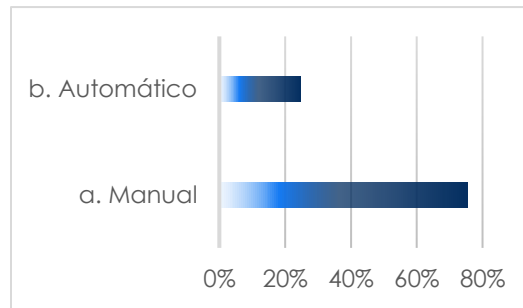
2. ¿Te sería útil contar con tu propio vehículo recreativo todoterreno?



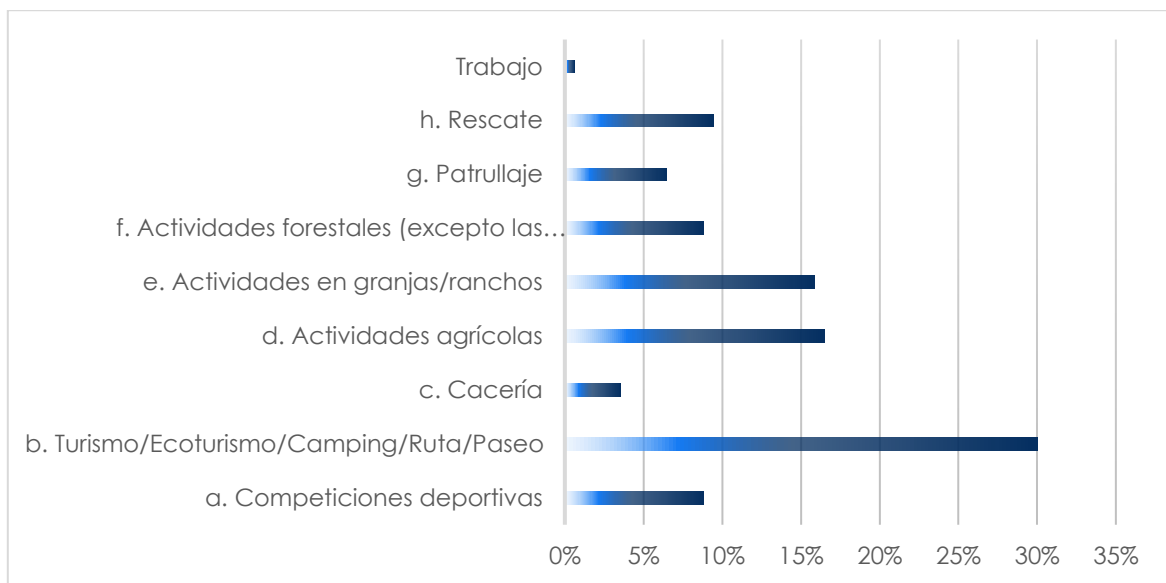
3. ¿Qué tipo de motor elegirías para tu vehículo recreativo?



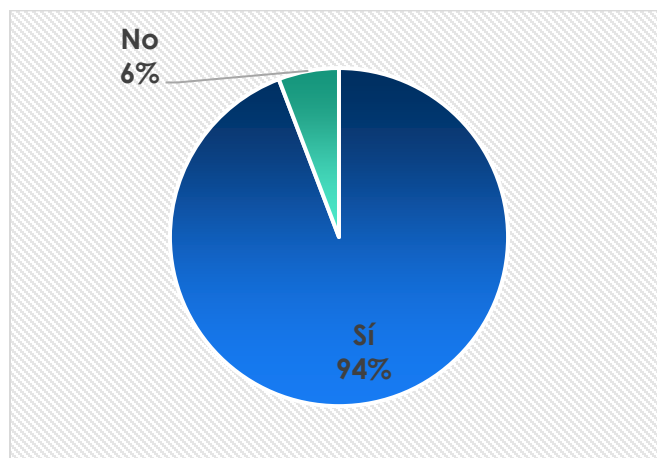
4. ¿Qué tipo de transmisión elegirías para tu vehículo recreativo?



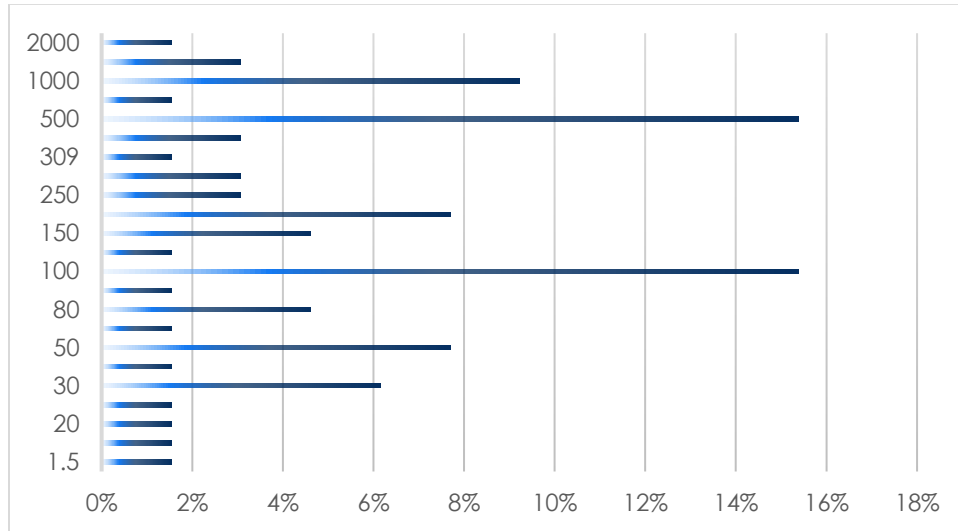
5. Dado que un vehículo recreativo puede utilizarse en distintas actividades ¿Que usos darías tu al vehículo? Puedes marcar más de una opción.



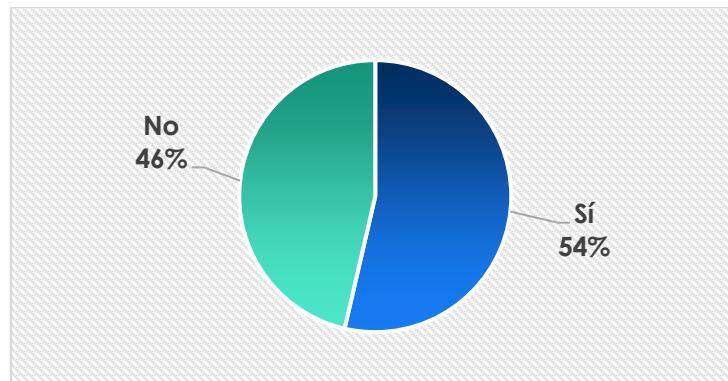
6. ¿Requieres que el vehículo recreativo cuente con un compartimento de carga?



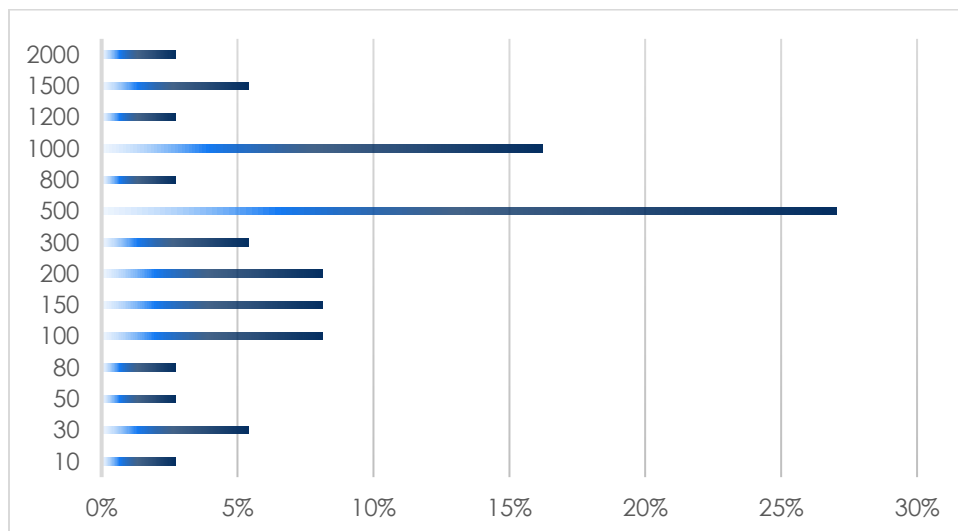
7. ¿Qué capacidad en kg debe tener el compartimento de acuerdo a tus necesidades?



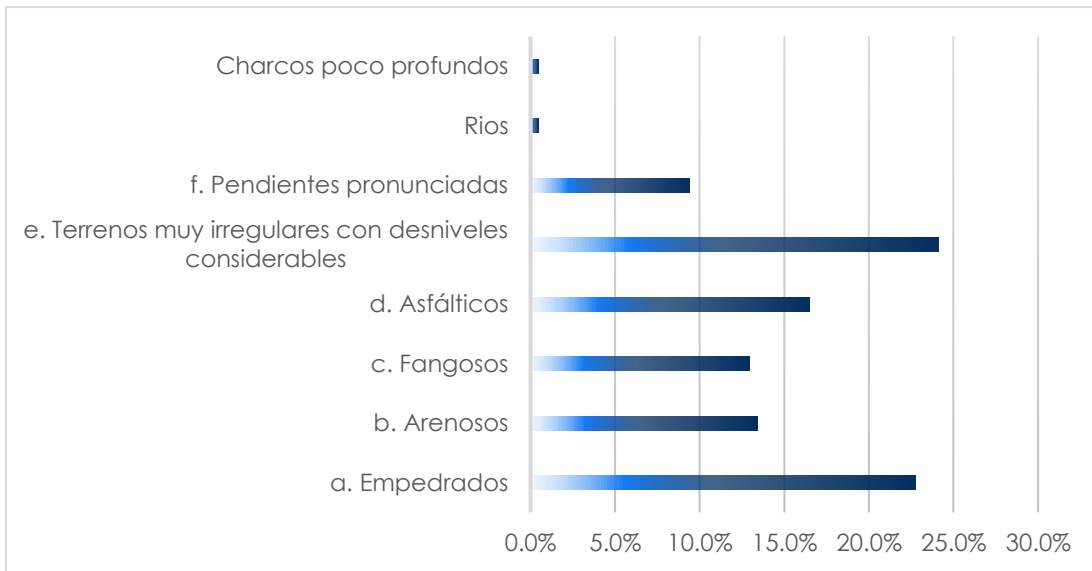
8. ¿Requieres remolcar cargas con el vehículo recreativo?



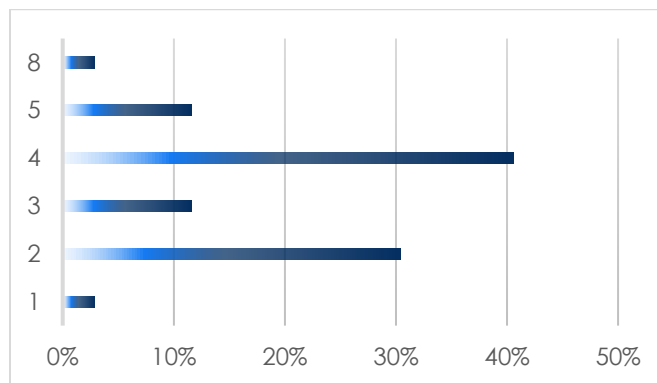
9. ¿Cuántos kg debe ser capaz de remolcar de acuerdo a tus necesidades?



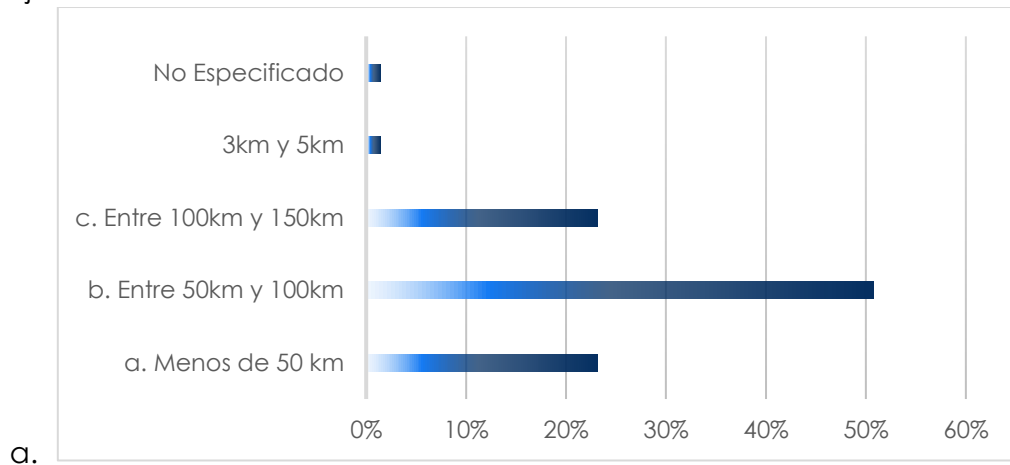
10. ¿En qué tipo de terrenos manejarías tu vehículo recreativo?



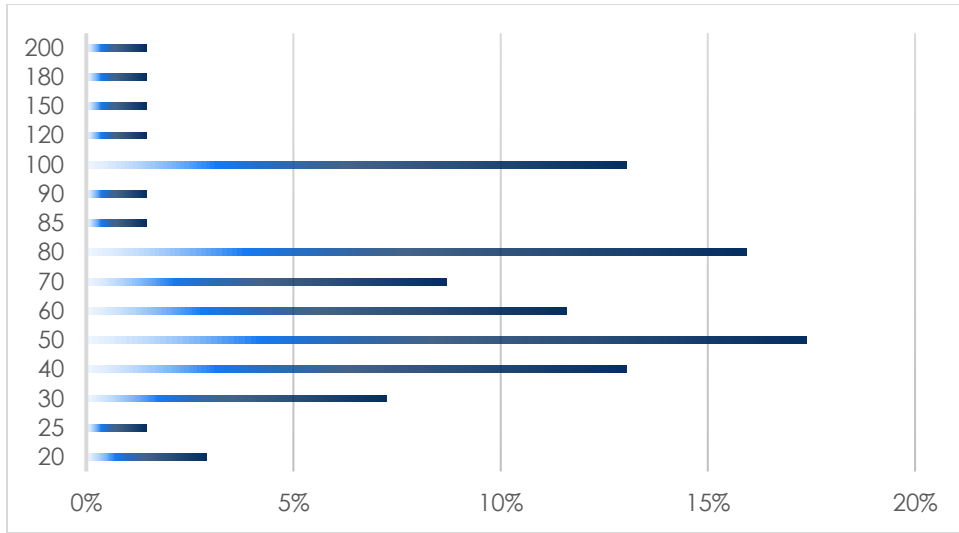
11. ¿Cuántos ocupantes necesitas transportar en tu vehículo recreativo, incluyendo al conductor? _____



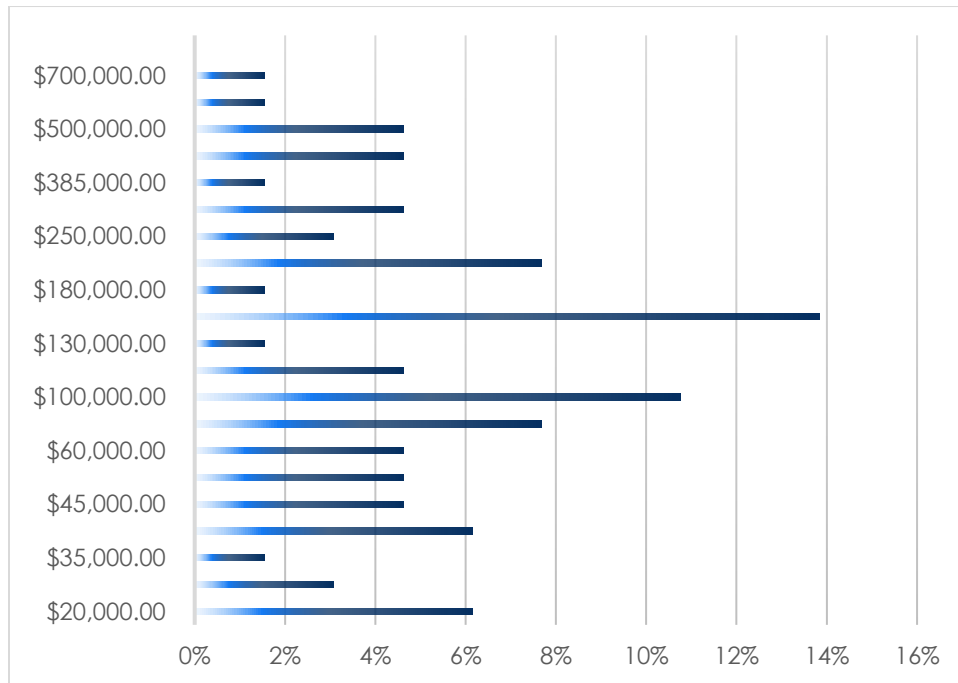
12. ¿Cuál es la distancia máxima que recorrerías en tu vehículo recreativo, en una jornada?



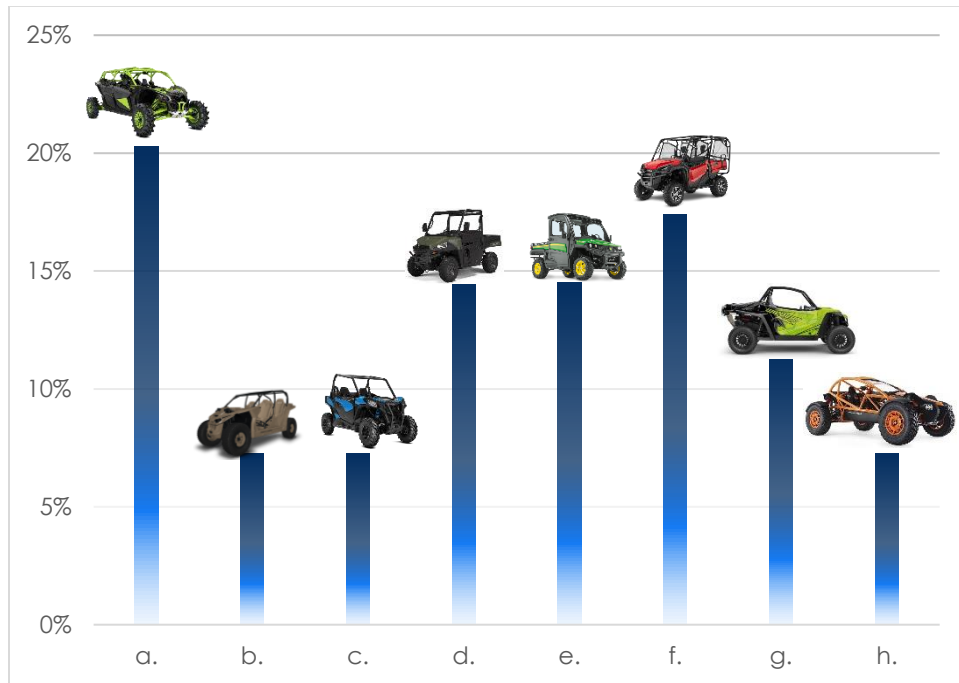
13. Considerando la utilidad que darías al vehículo recreativo, ¿Cuál sería la velocidad promedio a la que conducirías, en km/h?



14. ¿Puedes indicar un rango de precios adecuado para ti, para adquirir un vehículo recreativo todoterreno?



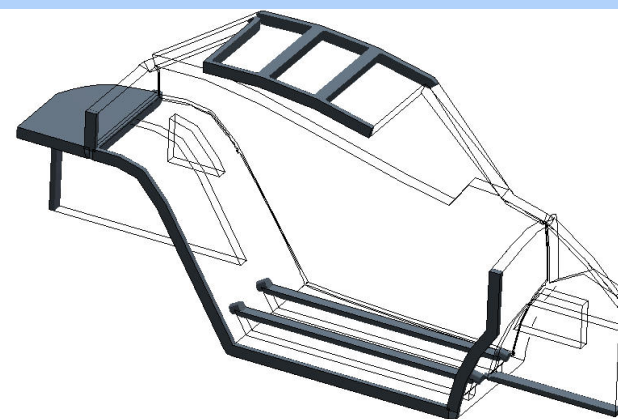
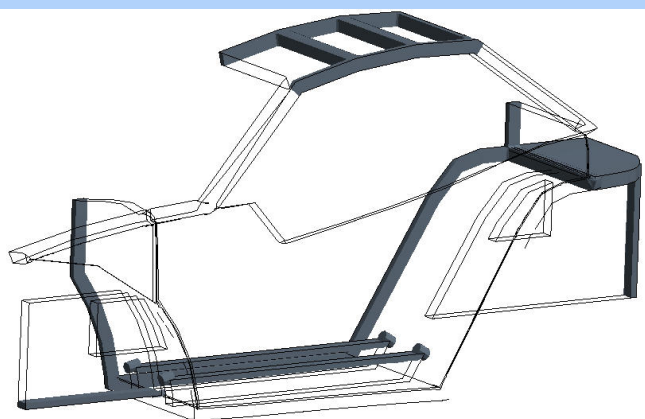
15. De las opciones que actualmente existen en el mercado, ¿Cuál concepto estético te atrae más?



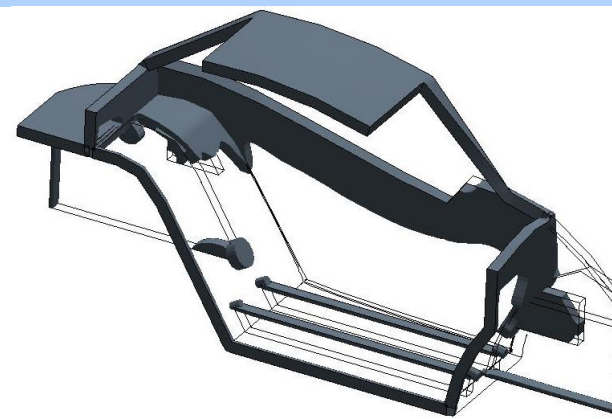
ANEXO B

Resultados del análisis de optimización topológica, base para la creación del concepto de bastidor del vehículo recreativo

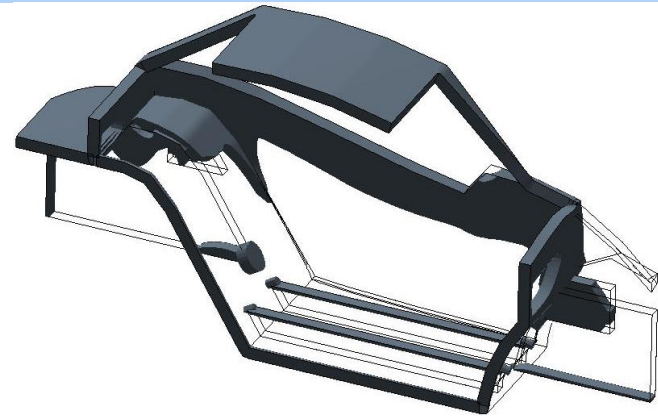
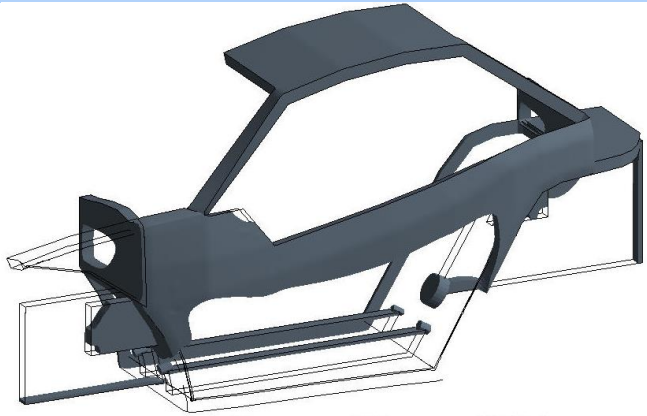
Iteración 1



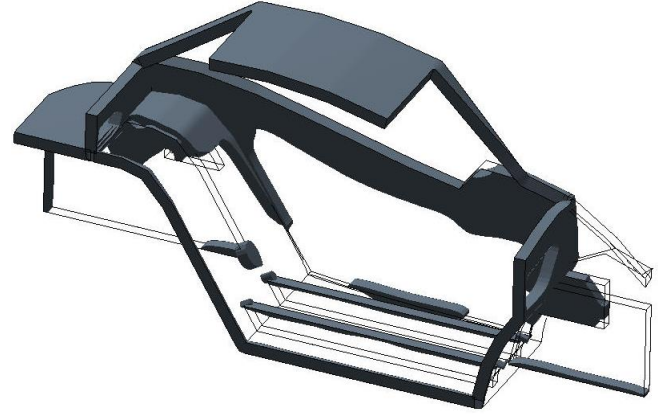
Iteración 2



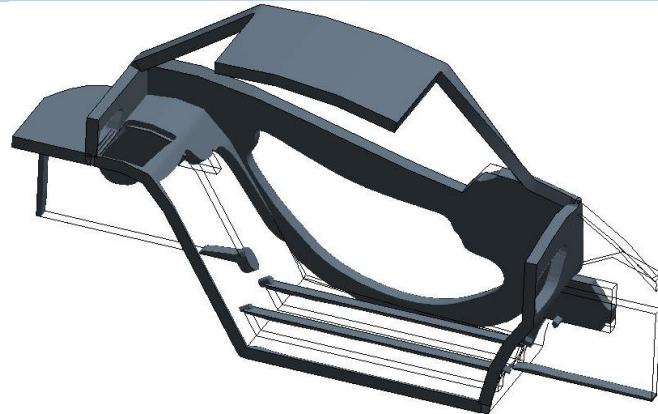
Iteración 3



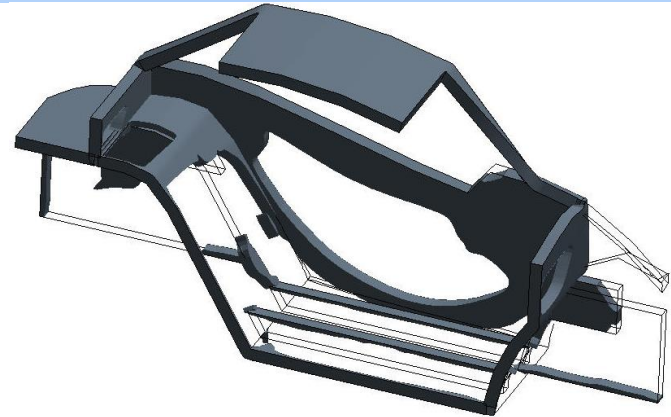
Iteración 4



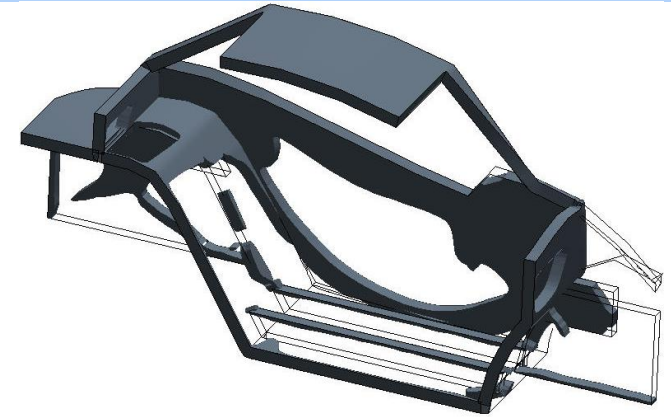
Iteración 5



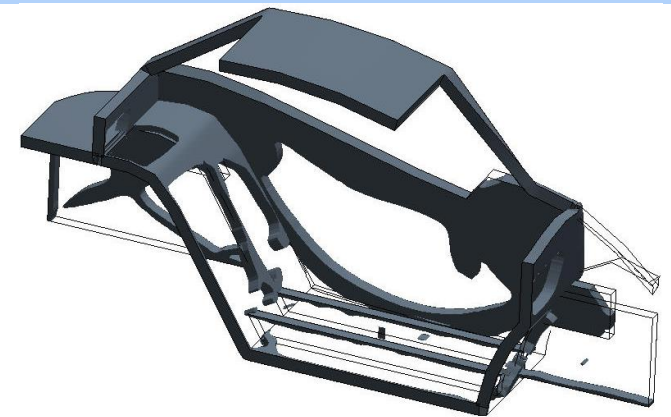
Iteración 6



Iteración 7



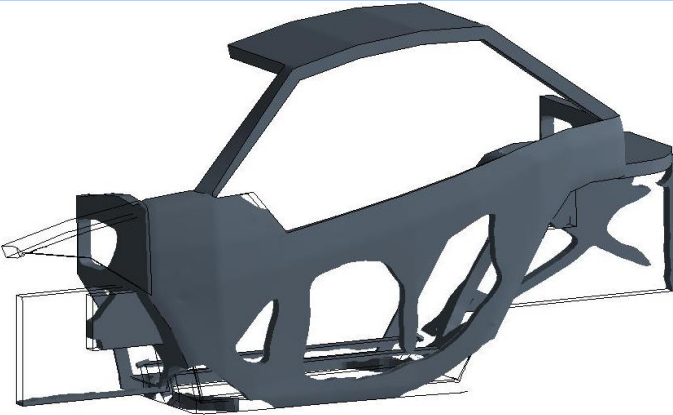
Iteración 8



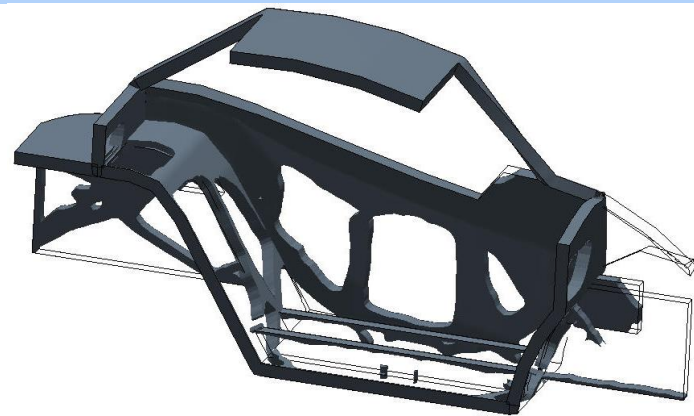
Iteración 9



Iteración 10



Iteración 11



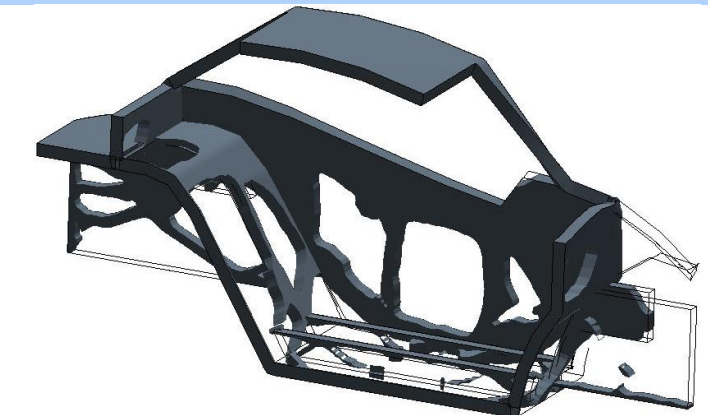
Iteración 12



Iteración 13



Iteración 14



ANEXO C

Tubería Estructural Redondo

Diámetro Nominal	Diámetro Exterior		Espesor	
	pulg	mm	pulg	mm
1/2	0.840	21	0.109	2.8
			0.090	2.3
			0.075	1.9
			0.060	1.5
3/4	1.050	27	0.113	2.9
			0.095	2.4
			0.075	1.9
			0.060	1.5
1	1.315	33	0.133	3.4
			0.104	2.6
			0.075	1.9
			0.060	1.5
1 1/4	1.660	42	0.140	3.6
			0.110	2.8
			0.090	2.3
			0.075	1.9
1 1/2	1.900	48	0.145	3.7
			0.114	2.9
			0.090	2.3
			0.075	1.9
2	2.375	60	0.154	3.9
			0.120	3.1
			0.105	2.7
			0.090	2.3
2 1/2	2.875	73	0.203	5.2
			0.145	3.7
			0.125	3.2
			0.105	2.7
3	3.500	89	0.216	5.5
			0.150	3.8
			0.120	3.1
			0.105	2.7
4	4.500	114	0.237	6.0
			0.156	4.0
			0.120	3.1
			0.105	2.7
5	5.000	127	0.120	3.0
			0.156	4.0
	5.563	141	0.188	4.8
0.219	5.6			
6	6.625	168	0.280	7.1
			0.250	6.4
			0.188	4.8

Norma

ASTM A500
TER A500

Acabados

Negro
Galvanizado

Grados

Grado A (Comercial)
Grado B (Estructural)
Grado C (Alta Resistencia)

Largo Estándar

6.00 mts

ANEXO D

ID	Nombre de la prueba	Descripción	Criterio de cumplimiento	Condiciones de frontera	Condiciones para la aplicación de la carga
1	Análisis de estructura de protección contra volcaduras (ROPS)	Se evalúan los requerimientos establecidos por el estándar ANSI/ROHVA-1. Los casos de carga en esta sección deben aplicarse seguidamente uno detrás del otro, dentro de una misma simulación. La secuencia de aplicación de carga deberá ser carga lateral, carga vertical y carga longitudinal.	Los resultados deben evaluarse al concluir la aplicación del último caso de carga. La ROPS del vehículo deberá cumplir o exceder los requerimientos de energía y fuerza lateral, longitudinal y vertical establecidos en el estándar ANSI/ROHVA-1.		
1a	Carga lateral / Energía lateral	La aplicación de carga debe ser continua hasta que se alcancen los niveles de fuerza de 4,200 N y energía de 468.08 J de acuerdo con lo establecido en la Tabla 6-3. No es necesario que estos valores se cumplan de manera simultánea. La aplicación de carga puede ser considerada estática si la tasa de deflexión en el LAP no es mayor a 5mm/s. Los valores de fuerza y deflexión en el LAP, deberán ser registrados en incrementos de deflexión no mayores a 15mm. La energía debe ser calculada con el método establecido en la Ilustración 6-1. La deflexión medida utilizada para calcular la energía es la de la ROPS a lo largo de la línea de fuerza aplicada.	No es necesario que los requerimientos de fuerza y energía bajo carga lateral sean cumplidos simultáneamente. Ninguna parte de la ROPS debe invadir el volumen de deflexión límite (DLV) en ningún momento durante las fases de la prueba. El plano de tierra lateral simulado (LSGP) no debe invadir el DLV en ningún momento durante la fase de aplicación de carga lateral. La ROPS no deberá separarse del vehículo debido a su sistema de montaje.	La fijación será en los puntos donde el sistema de suspensión se conecta al bastidor.	El punto de aplicación de carga (LAP) deberá ubicarse sobre el mismo plano del miembro transversal más alto. El LAP deberá localizarse entre la proyección vertical de los planos de contorno (BP) frontal y trasero del DLV. Cuando el (los) asiento(s) del operador/ocupantes estén fuera de la línea central longitudinal de la máquina, la carga deberá ser contra el lado externo del miembro estructural lateral más cercano a cualquiera de los asientos. Cuando el asiento del operador este sobre la línea central longitudinal de la máquina, si la ROPS y su montaje son tales que se produzcan diferentes resultados de fuerza-deflexión al cargar por el lado izquierdo o derecho, el lado de aplicación de carga deberá ser aquel que represente los requerimientos de carga más severos. La dirección inicial de la carga deberá ser horizontal y perpendicular al plano vertical a través de la línea central longitudinal de la máquina. A medida que la aplicación de carga continúe, se pueden presentar deformaciones representativas que provoquen un cambio en la dirección de aplicación de la fuerza. Esto es permitido.

1b Carga vertical

Después de completar la aplicación de carga lateral, se aplicará una carga vertical en la parte alta de la ROPS. La aplicación de carga es continua hasta alcanzar el nivel de fuerza de 13727 N según lo especificado en la Tabla 6-3. La tasa de deflexión no deberá ser mayor a 5mm/s tal que la aplicación de carga sea considerada estática. La estructura deberá soportar esta carga por un periodo de 5 minutos o hasta que la deformación cese, lo que ocurra primero.

La carga vertical deberá ser aplicada en el mismo plano vertical, perpendicular a la línea central longitudinal de la ROPS, definido sobre la estructura antes de la deformación causada por la carga lateral. La carga sobre la ROPS es aplicada sin limitaciones sobre la distribución, siempre que se aplique simétricamente con la línea central longitudinal de la ROPS deformada.

1c Carga longitudinal

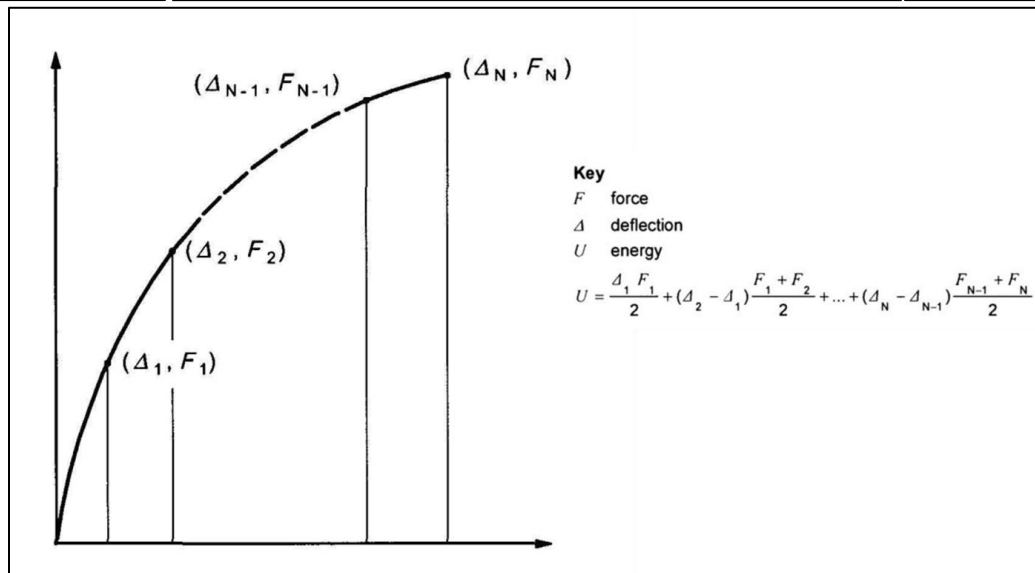
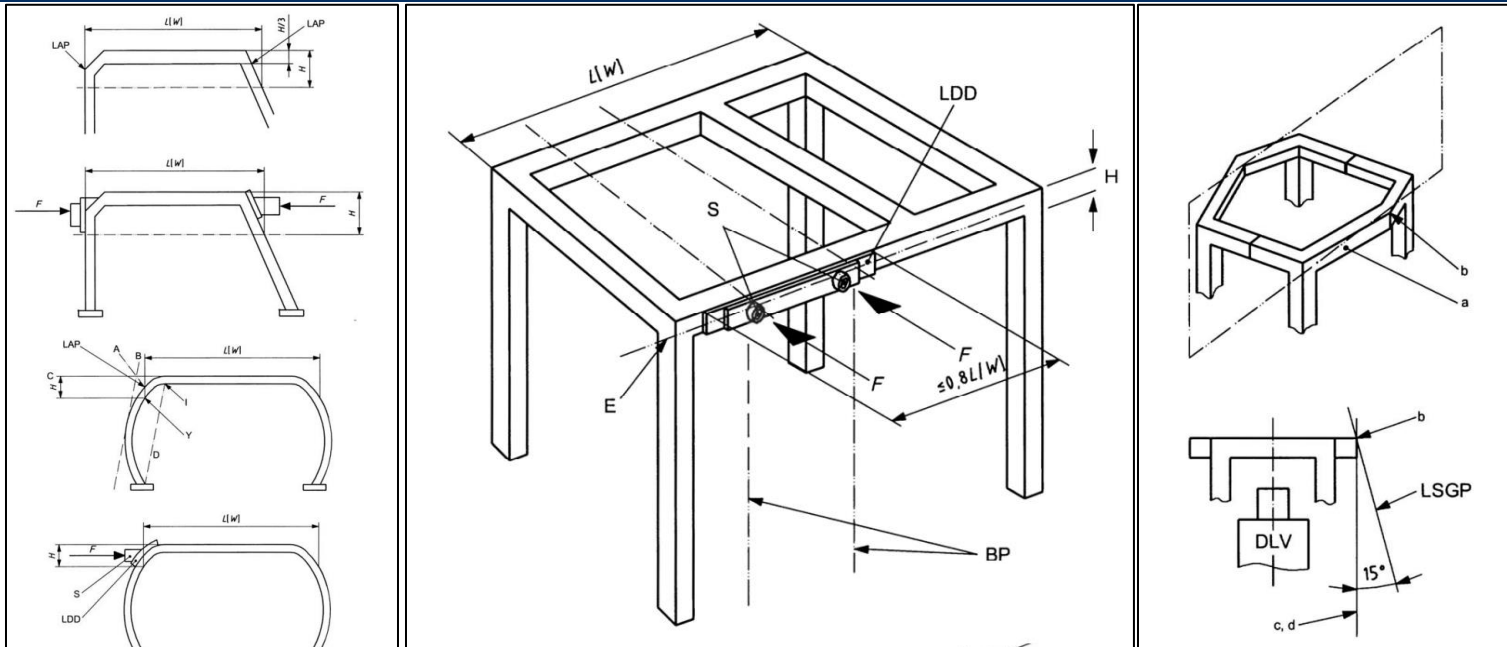
Después de completar la aplicación de carga vertical, una carga longitudinal deberá aplicarse a la ROPS. La aplicación de carga es continua hasta alcanzar el nivel de fuerza de 3360 N según lo especificado en la Tabla 6-3.

La carga longitudinal deberá aplicarse a los miembros estructurales superiores de la ROPS a lo largo de la línea central longitudinal de la ROPS. El LAP se determina utilizando la intersección de los planos de las superficies frontal y superior. Si las superficies son curvas, determinar el plano de intersección utilizando una línea tangente en el punto medio del segmento de arco del miembro superior o frontal. La dirección de aplicación de carga (hacia el frente o hacia atrás) deberá elegirse de manera que se representen los requerimientos más severos. La dirección inicial de aplicación de carga deberá ser horizontal y paralela a la línea central longitudinal original de la máquina. Algunos factores a considerar en la elección de la dirección para aplicar la carga longitudinal son los siguientes:

- a. Ubicación de la ROPS relativa al DLV y el efecto que tendría la deflexión longitudinal de la ROPS en la protección del operador contra el aplastamiento.
- b. Características de la máquina, por ejemplo, otros miembros estructurales de la máquina que pudieran resistir la deflexión longitudinal de la ROPS.

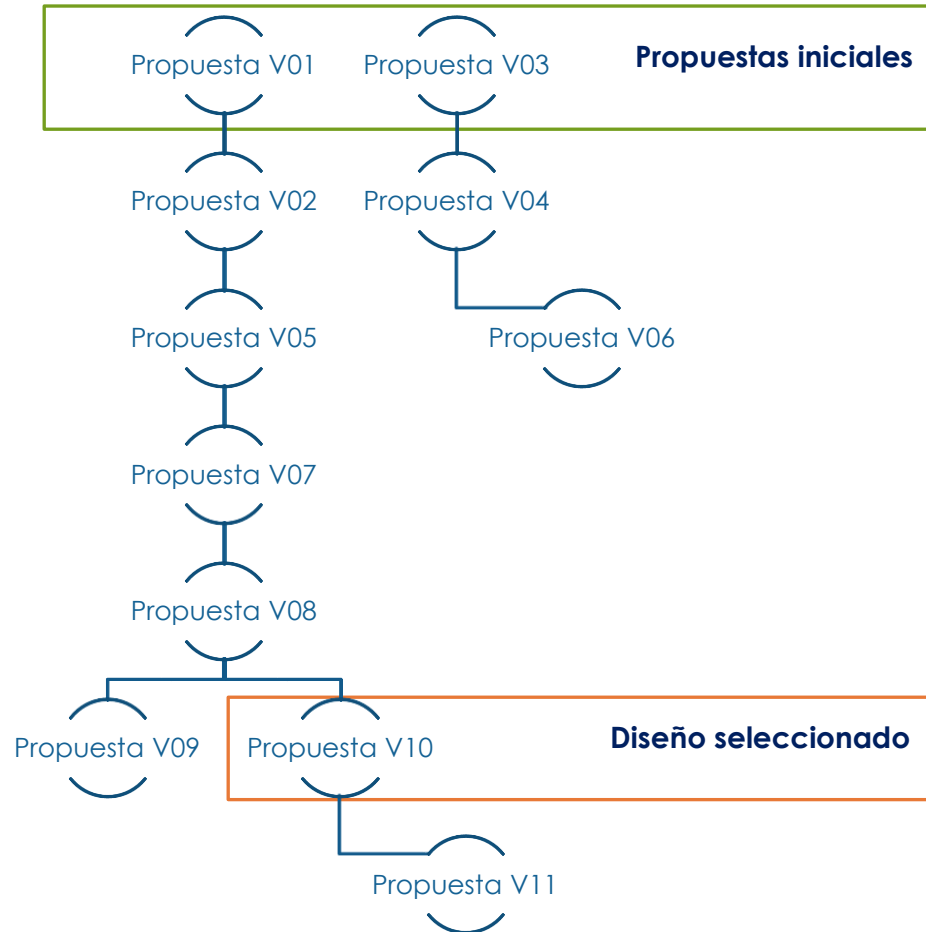
2	Cargas estáticas	Los casos de carga en esta sección pueden ser estudiados en conjunto o de manera separada.		El analista debe decidir si trabajará con el dato de fuerza o su equivalente de presión. En ambos casos la dirección de la carga debe ser hacia abajo. Si se trabaja con el dato de fuerza, esta debe aplicarse de manera distribuida en un total de cuatro puntos en ambos rieles de fijación del asiento, dos puntos por cada riel. Los puntos de un mismo riel deben tener una separación entre 30 y 35 cm. En caso de que se opte por el dato de presión, se debe integrar en el modelo la superficie para aplicar la carga. Dicha superficie debe estar conectada a los rieles de montaje de cada asiento en cuatro puntos, dos por cada riel. Los puntos de un mismo riel deben tener una separación entre 30 y 35 cm. La presión debe definirse como uniformemente distribuida.
2a	Peso de los ocupantes	Se considera un peso de 981 N por cada ocupante localizada en la posición del asiento. Se debe calcular la presión generada por la carga antes mencionada si se aplicara en una superficie cuadrada plana de 40cm, es decir 6131.25 MPa.	Los esfuerzos resultantes no deben sobrepasar el límite elástico del material considerado para los miembros de la estructura del bastidor. En todos los casos, la fijación será en los puntos donde el sistema de suspensión se conecta al bastidor.	El analista debe decidir si trabajará con el dato de fuerza o su equivalente de presión. En ambos casos la dirección de la carga debe ser hacia abajo. Si se trabaja con el dato de fuerza, esta debe aplicarse de manera distribuida sobre puntos en los miembros de la estructura que soportan el compartimento de carga. En cada miembro deben colocarse dos puntos separados entre ellos por una distancia de 0.5L a 0.75L, siendo L la longitud del miembro en cuestión. En caso de que se opte por el dato de presión, se debe integrar en el modelo la superficie para aplicar la carga. Dicha superficie debe estar conectada a los miembros de soporte del compartimento de carga en dos puntos por cada miembro, los puntos de un mismo miembro deben estar separados entre ellos por una distancia de 0.5L a 0.75L, siendo L la longitud del miembro en cuestión. La presión debe definirse como uniformemente distribuida.
2b	Peso en el compartimento de carga	Se considera un peso de 981 N. Se debe calcular la presión generada por la carga antes mencionada si se aplicara en una superficie plana de 115 cm x 60 cm, es decir 1421.74 MPa.		La carga debe aplicarse sobre un punto ubicado en el plano medio del elemento transversal de arrastre del bastidor. La dirección de la carga debe ser hacia la parte posterior del vehículo.
2c	Peso remolcado	Se considera un peso de 4905 N.		

Ayuda visual



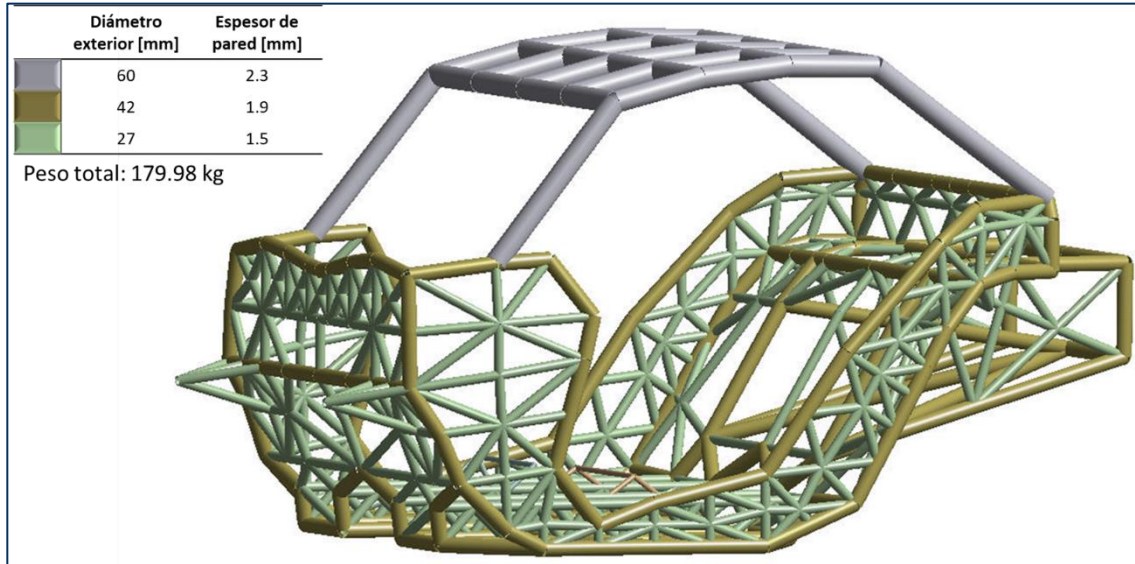
ANEXO E

Esquema general de iteraciones:

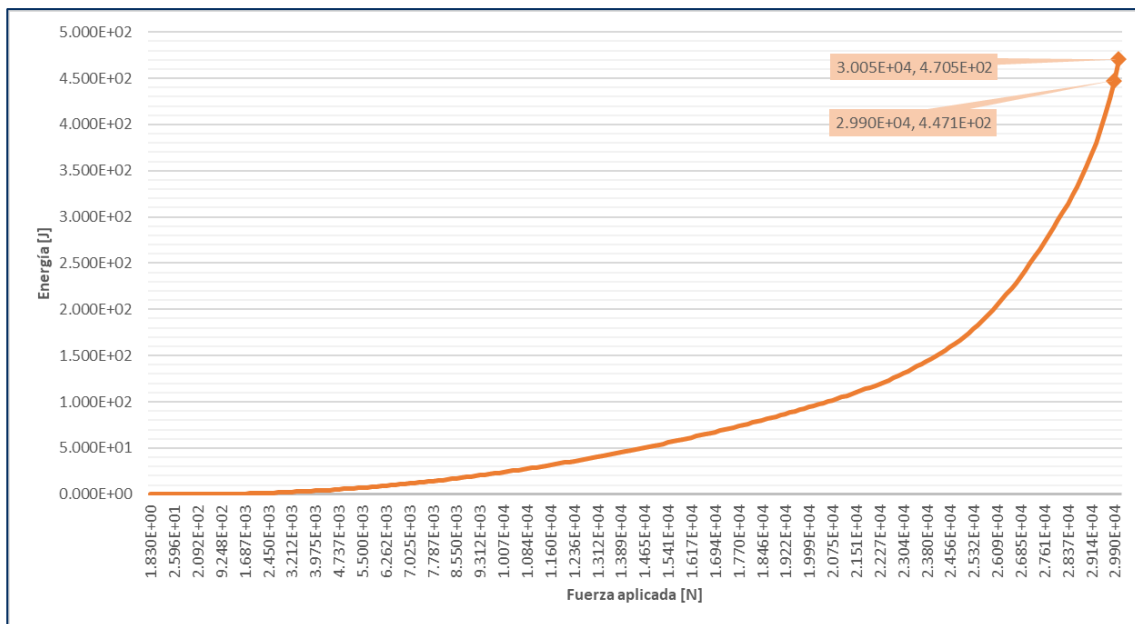


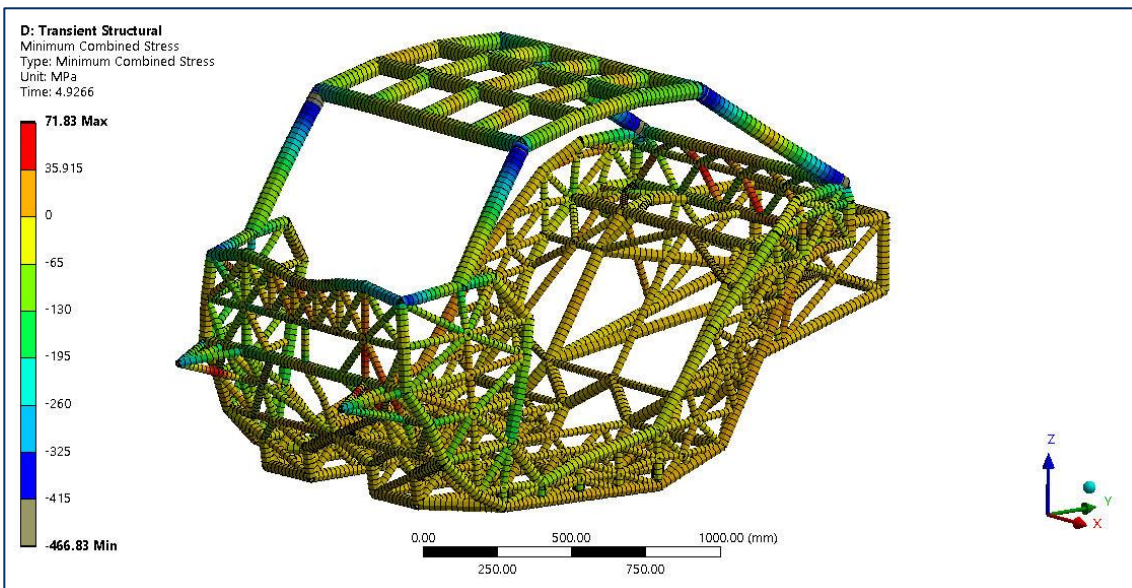
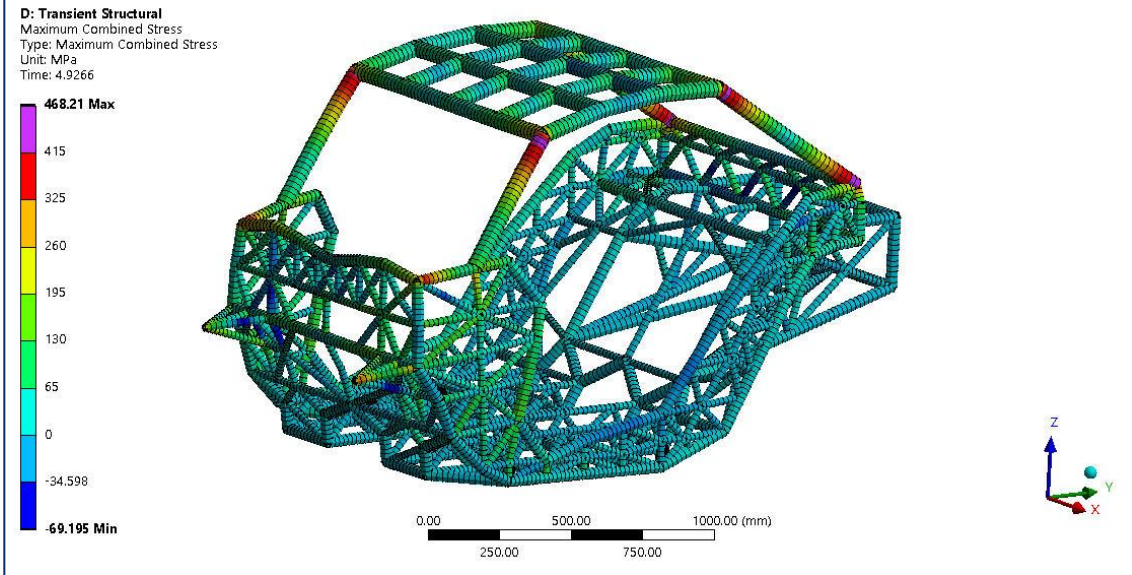
Propuesta V01

Geometría del bastidor y dimensiones de los elementos tubulares

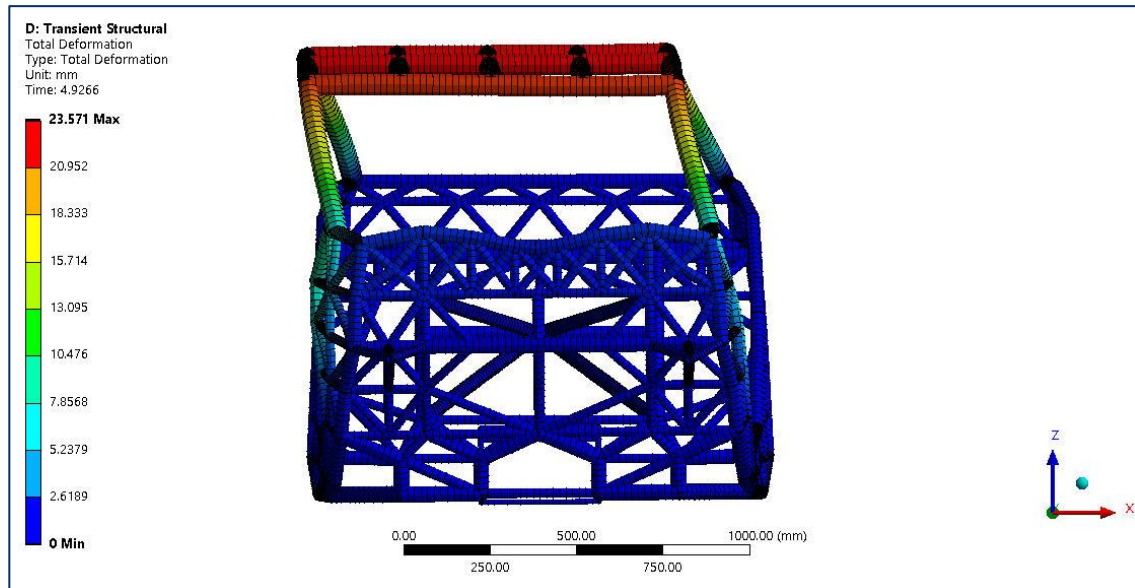


Niveles de carga y energía alcanzados





Deformación



Comentarios

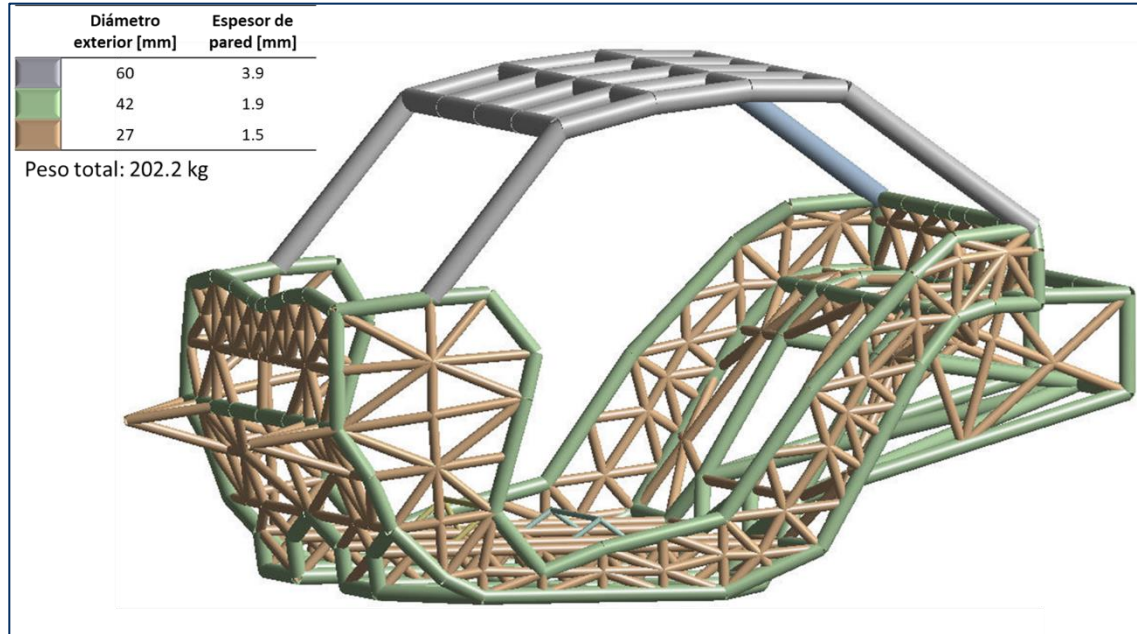
Se puede observar que algunas zonas del bastidor están sometidas a un nivel de esfuerzo superior al límite elástico (315 MPa) del acero ASTM A500C, pero también por encima del esfuerzo último (425 MPa), lo que significa que la estructura presentaría deformación permanente (lo cual es permitido siempre que no se invada el espacio del DLV) y falla por fractura, razón por la cual se determina que la propuesta de bastidor V01 no cumple el criterio de aceptación y se debe trabajar en el diseño para mejorar el desempeño estructural.

Por otro lado, el nivel de deformación alcanzado (23.6 mm) es un valor más bien ilustrativo pues la condición real sería un desprendimiento de la ROPS.

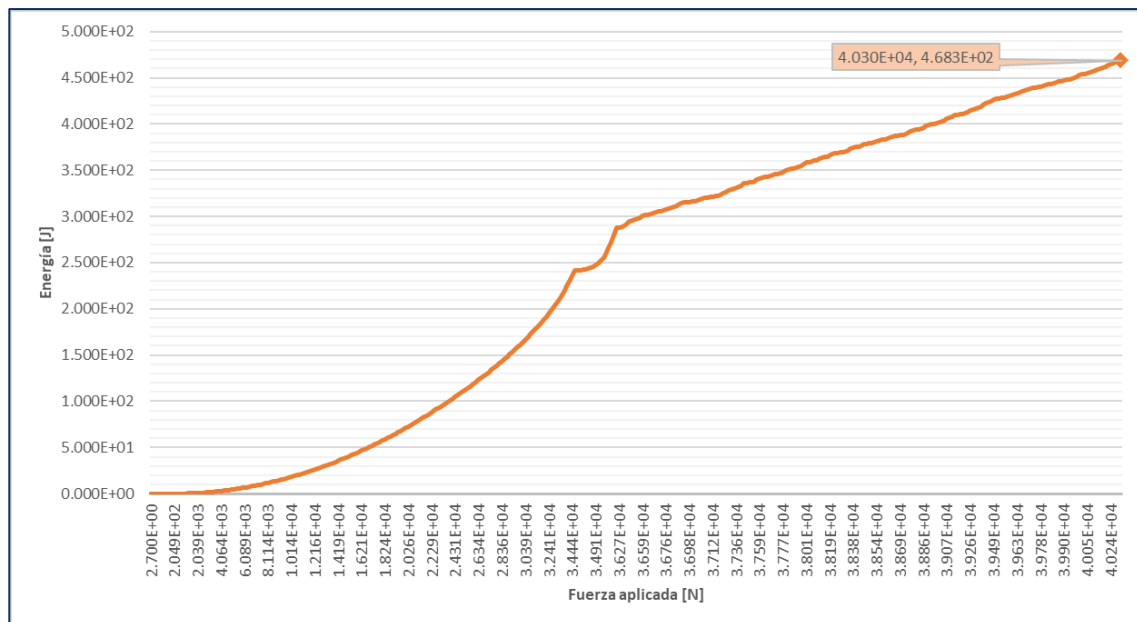
Se propone evaluar elementos tubulares con un espesor de pared mayor en la zona de la ROPS.

Propuesta V02

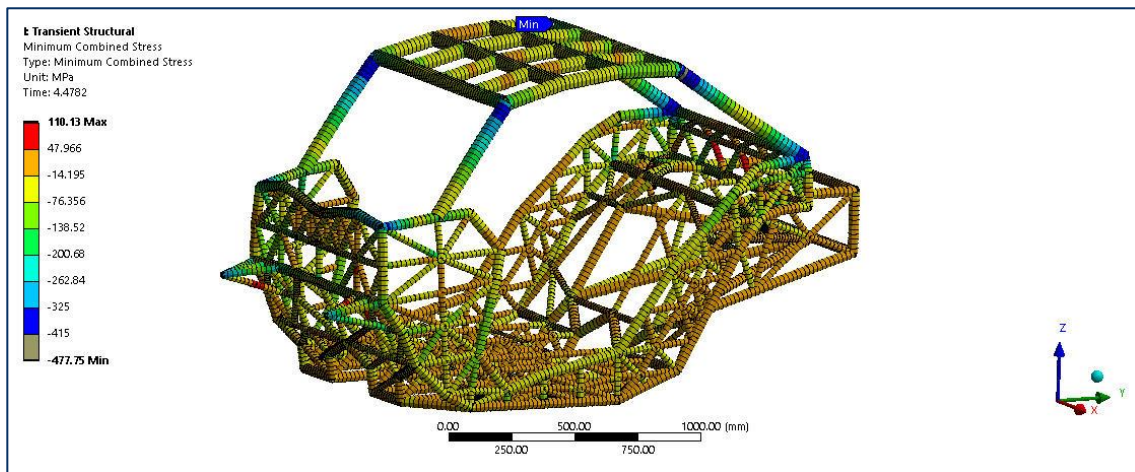
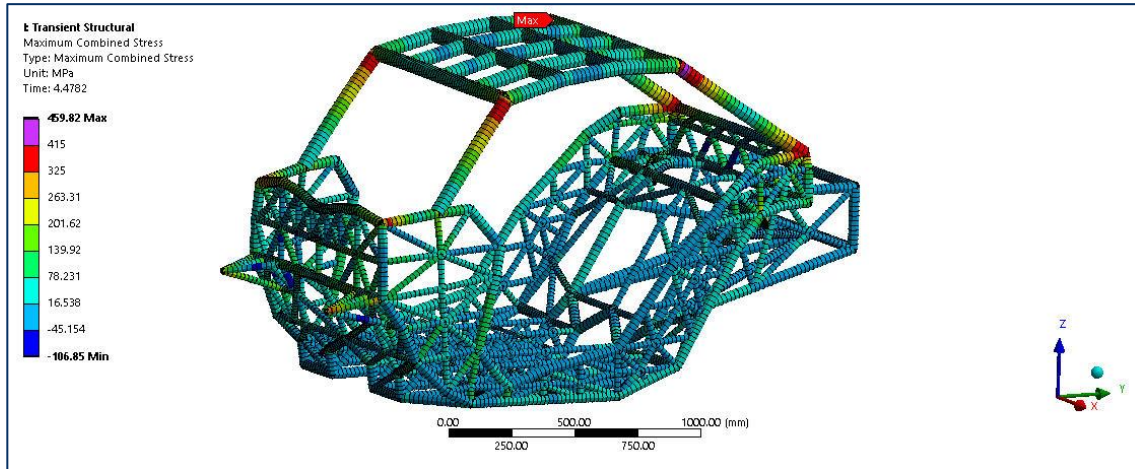
Geometría del bastidor y dimensiones de los elementos tubulares



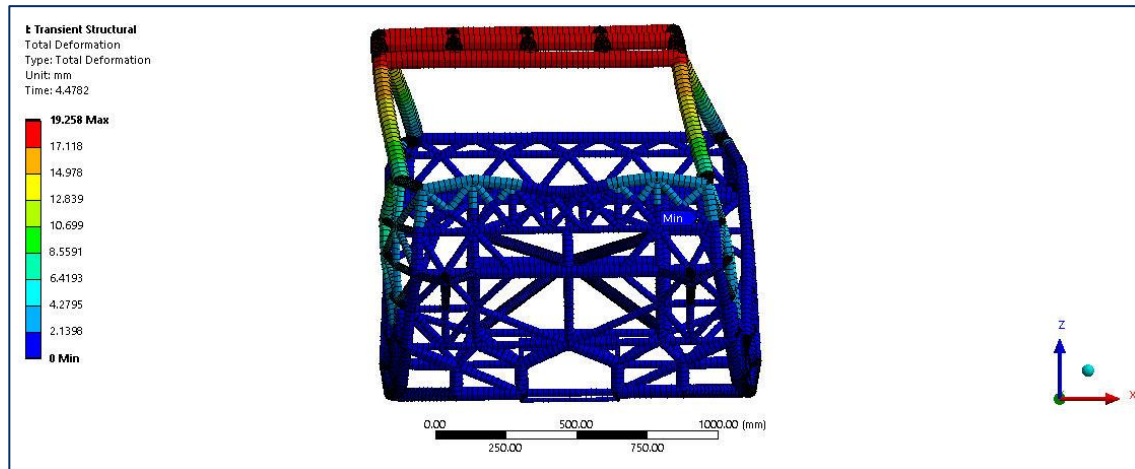
Niveles de carga y energía alcanzados



Esfuerzos máximos y mínimos



Deformación

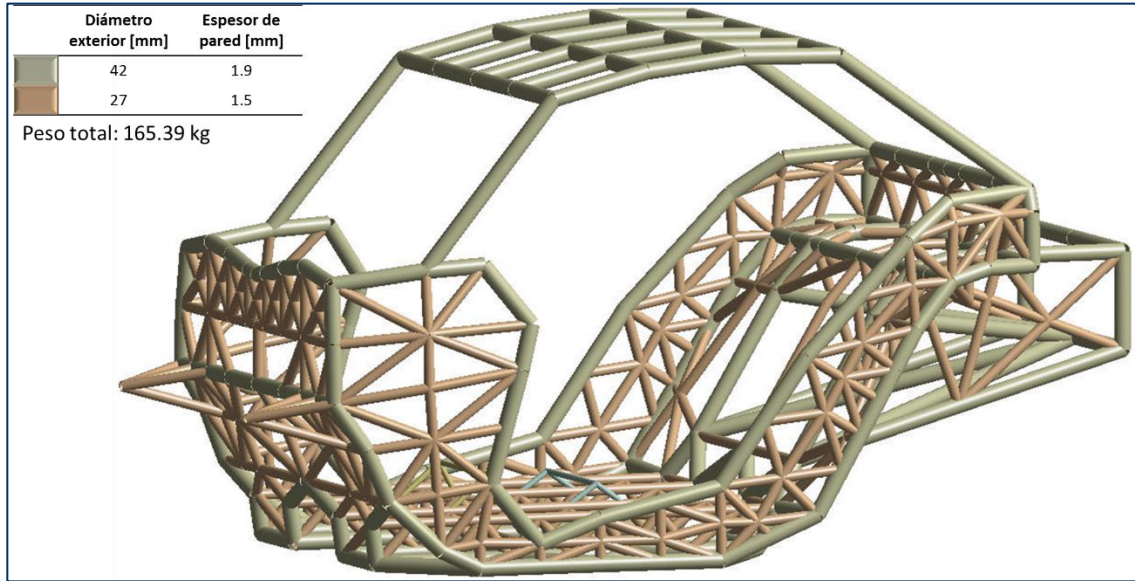


Comentarios

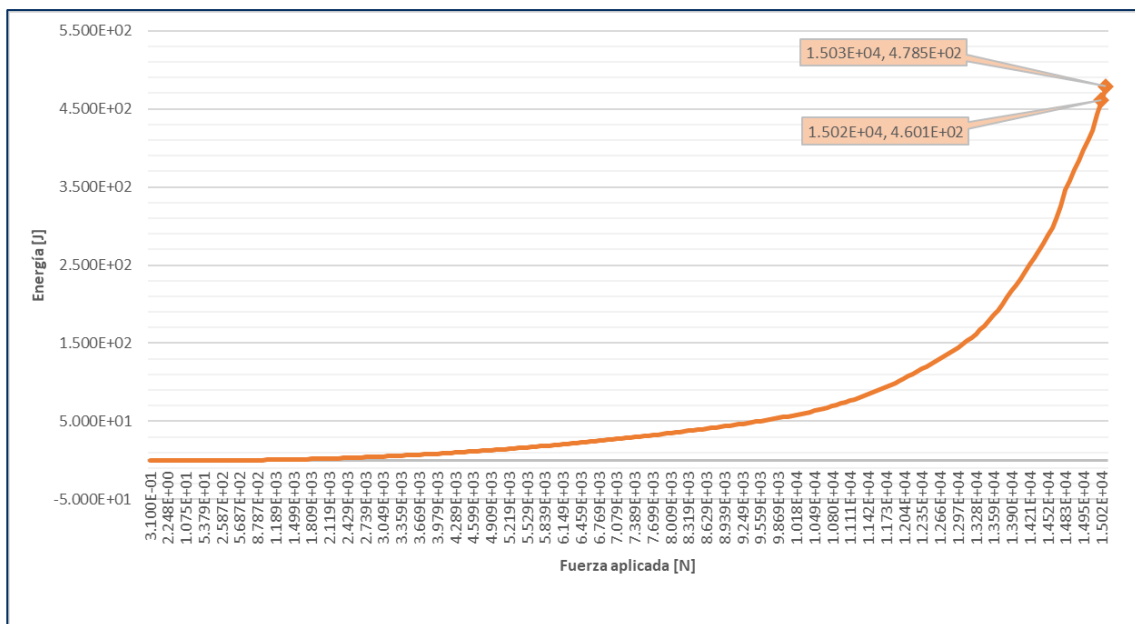
Se puede observar que algunas zonas del bastidor están sometidas a un nivel de esfuerzo superior al límite elástico (315 MPa) del acero ASTM A500C, pero también por encima del esfuerzo último (425 MPa), lo que significa que la estructura presentaría deformación permanente (lo cual es permitido siempre que no se invada el espacio del DLV) y falla por fractura, razón por la cual se determina que la propuesta de bastidor V02 no cumple el criterio de aceptación y se debe trabajar en el diseño para mejorar el desempeño estructural. Por otro lado, el nivel de deformación alcanzado (19.3 mm) es un valor más bien ilustrativo pues la condición real sería un desprendimiento de la parte superior de la ROPS. Se propone evaluar la estructura utilizando en la ROPS las dimensiones de los elementos tubulares que conforman la estructura principal del vehículo. Esto permitirá reducir el peso del bastidor. La propuesta de diseño V05 mantendrá las dimensiones de los elementos tubulares utilizadas en la V01, sin embargo se agregarán elementos de refuerzo en los postes traseros de la ROPS, esto con la intención de rigidizar un poco la estructura, pero permitiendo cierto nivel de deformación.

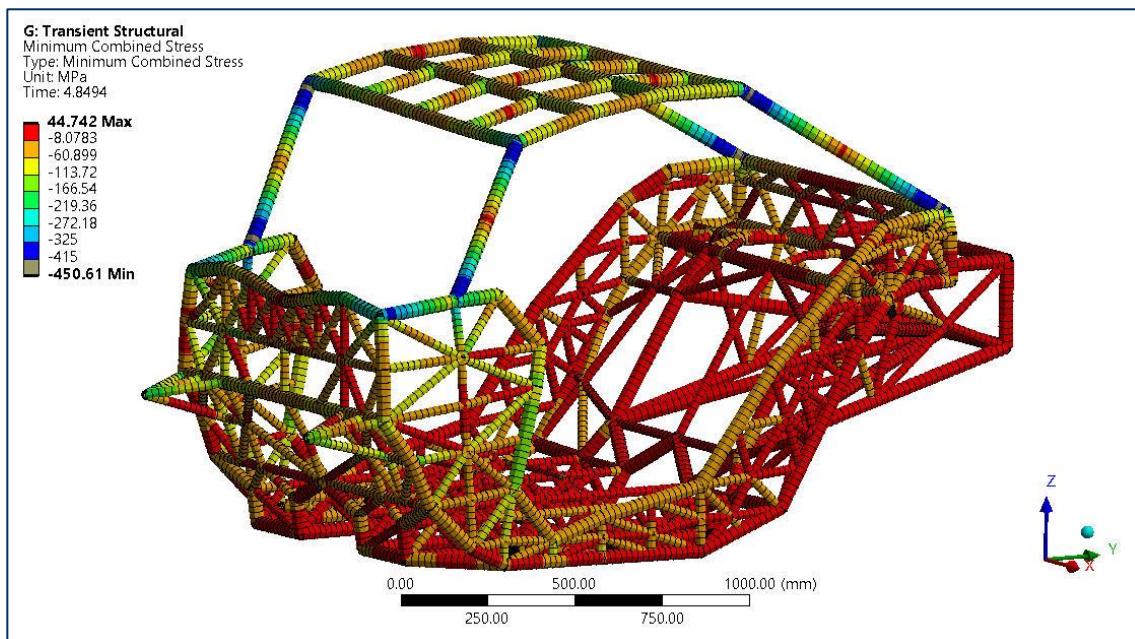
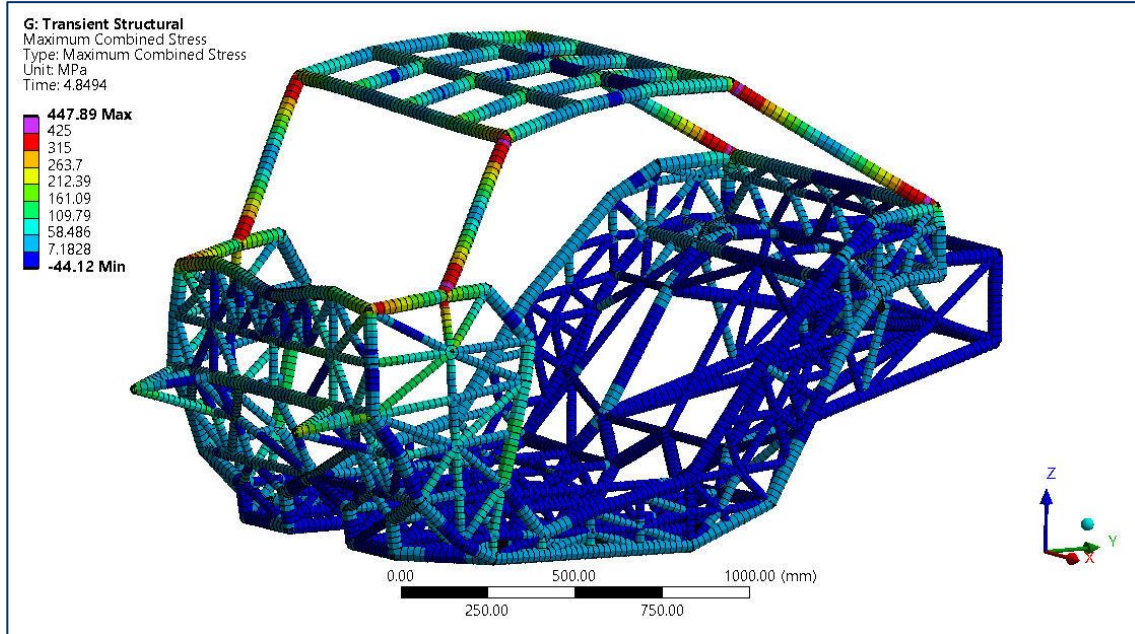
Propuesta V03

Geometría del bastidor y dimensiones de los elementos tubulares

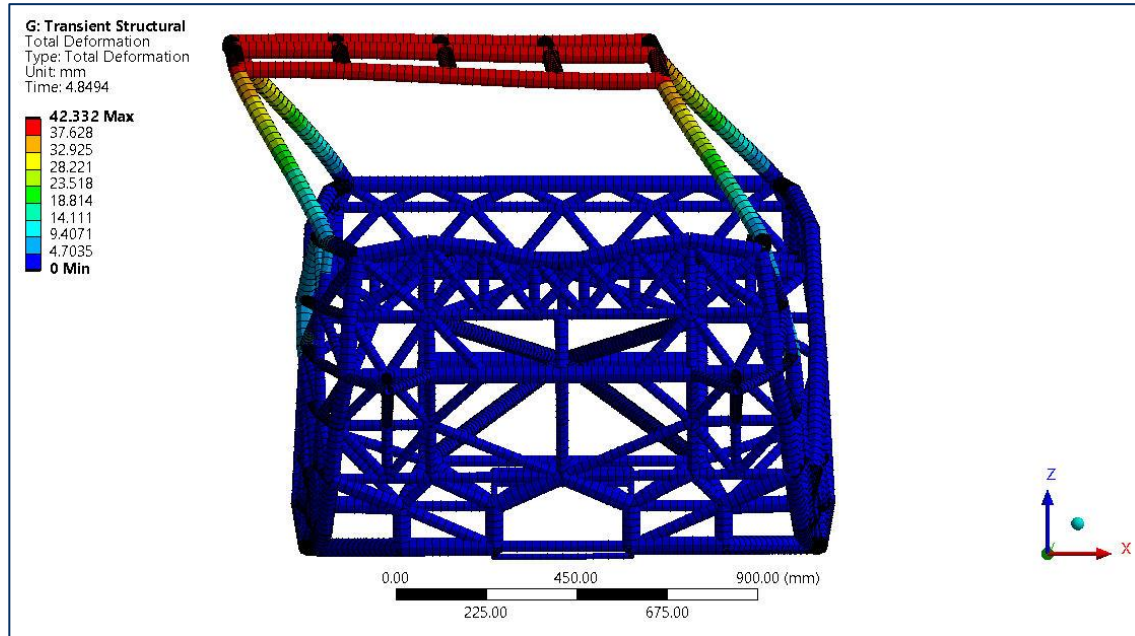


Niveles de carga y energía alcanzados





Deformación



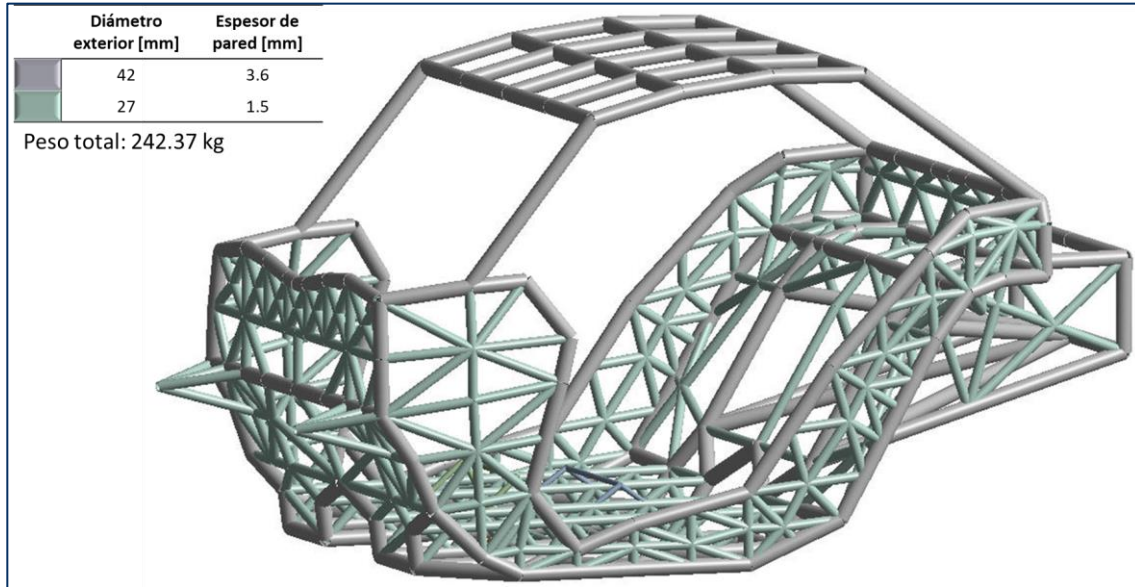
Comentarios

Se puede observar que algunas zonas del bastidor están sometidas a un nivel de esfuerzo superior al límite elástico (315 MPa) del acero ASTM A500C, pero también por encima del esfuerzo último (425 MPa), lo que significa que la estructura presentaría deformación permanente (lo cual es permitido siempre que no se invada el espacio del DLV) y falla por fractura, razón por la cual se determina que la propuesta de bastidor V03 no cumple el criterio de aceptación y se debe trabajar en el diseño para mejorar el desempeño estructural. Por otro lado, el nivel de deformación alcanzado (42.3 mm) es un valor más bien ilustrativo pues la condición real sería un desprendimiento de la ROPS.

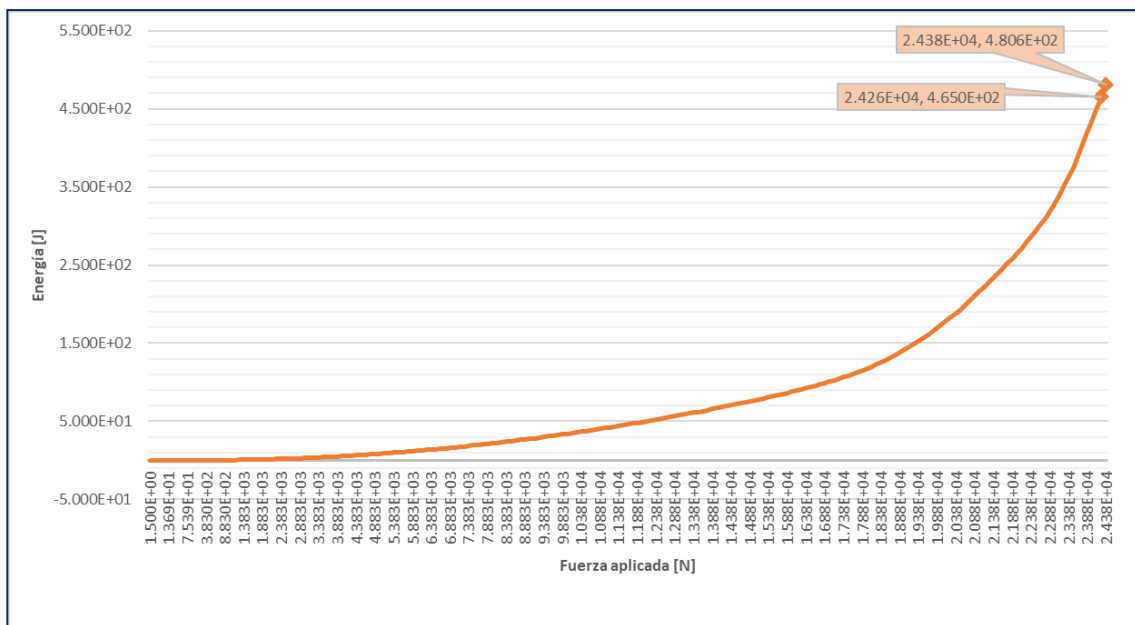
Se propone evaluar elementos tubulares con un espesor de pared mayor en la zona de la ROPS y estructura principal del vehículo.

Propuesta V04

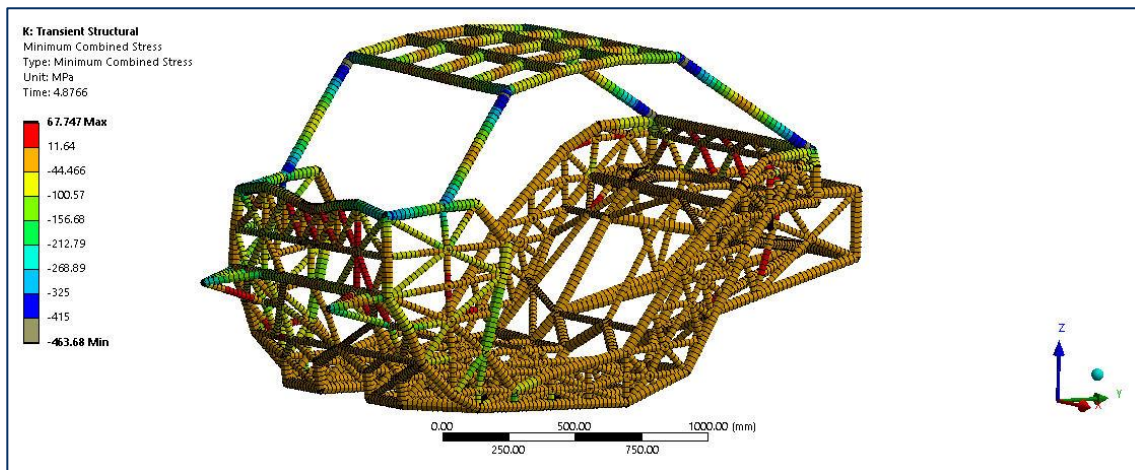
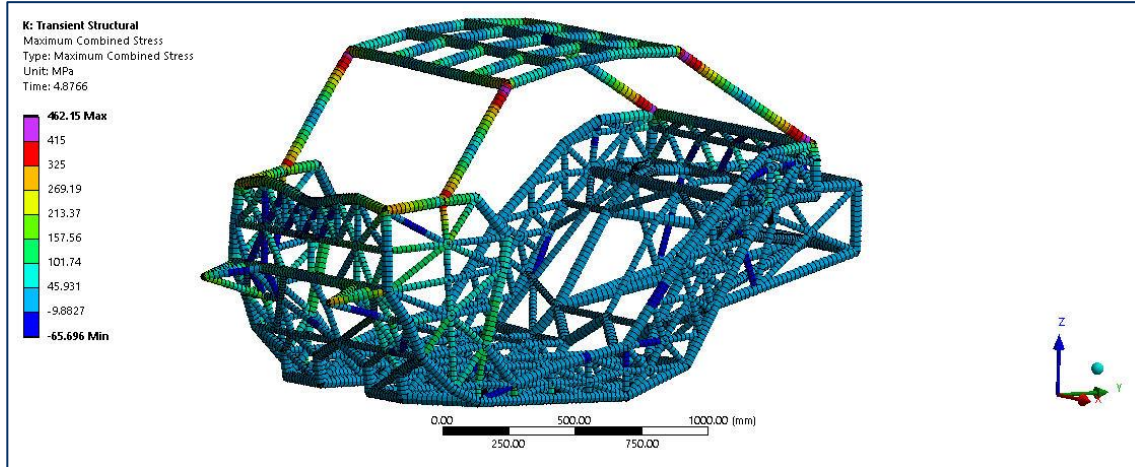
Geometría del bastidor y dimensiones de los elementos tubulares



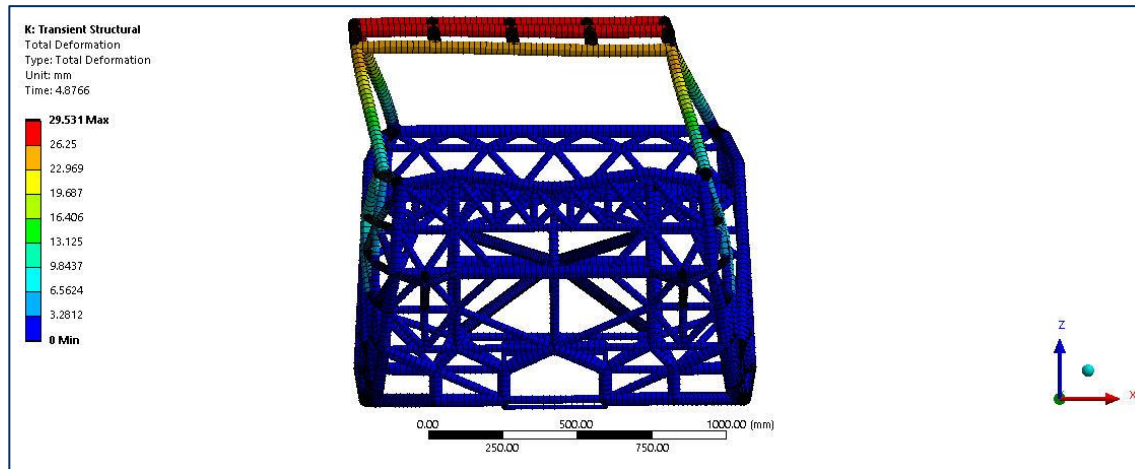
Niveles de carga y energía alcanzados



Esfuerzos máximos y mínimos



Deformación



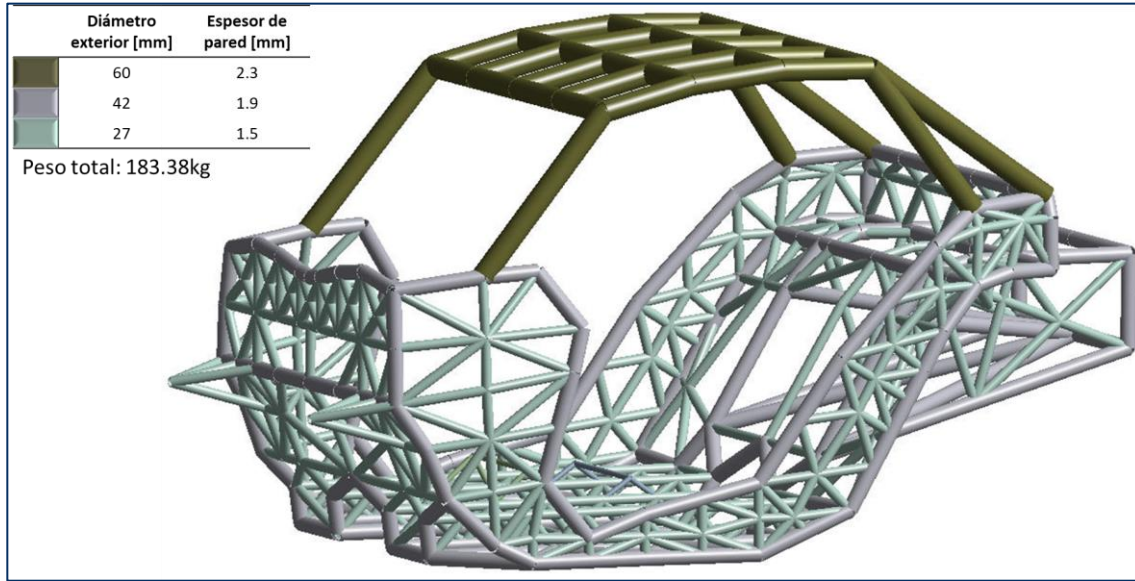
Comentarios

Se puede observar que algunas zonas del bastidor están sometidas a un nivel de esfuerzo superior al límite elástico (315 MPa) del acero ASTM A500C, pero también por encima del esfuerzo último (425 MPa), lo que significa que la estructura presentaría deformación permanente (lo cual es permitido siempre que no se invada el espacio del DLV) y falla por fractura, razón por la cual se determina que la propuesta de bastidor V04 no cumple el criterio de aceptación y se debe trabajar en el diseño para mejorar el desempeño estructural. Por otro lado, el nivel de deformación alcanzado (29.5 mm) es un valor más bien ilustrativo pues la condición real sería un desprendimiento de la ROPS.

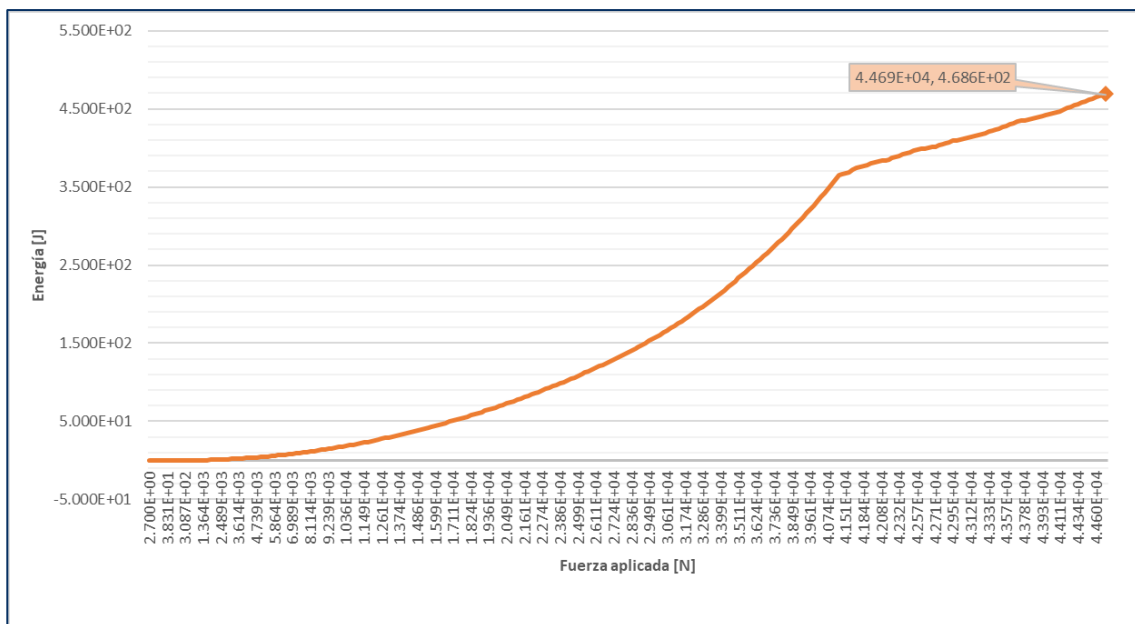
La propuesta de diseño V06 mantendrá las dimensiones de los elementos tubulares utilizadas en la V03, sin embargo, se agregarán elementos de refuerzo en los postes traseros de la ROPS, esto con la intención de rigidizar un poco la estructura, pero permitiendo cierto nivel de deformación.

Propuesta V05

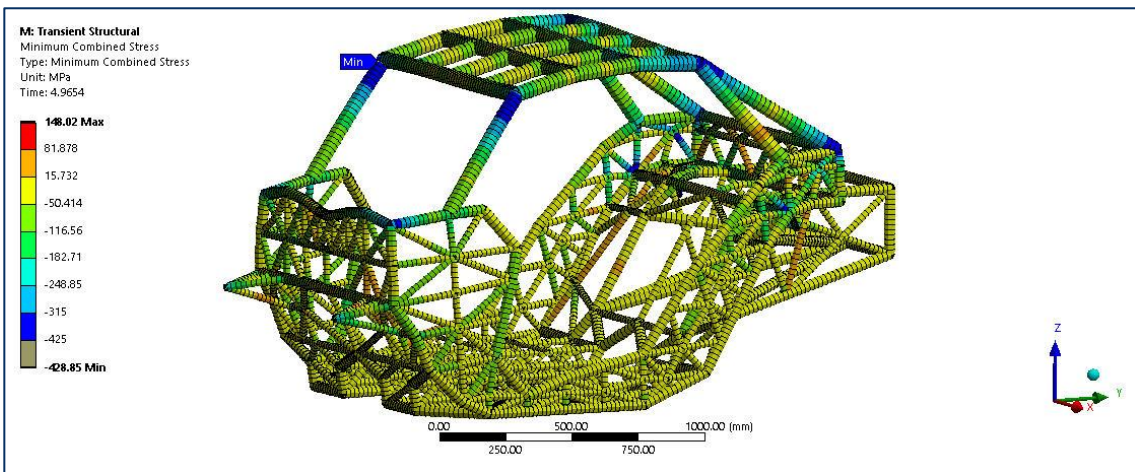
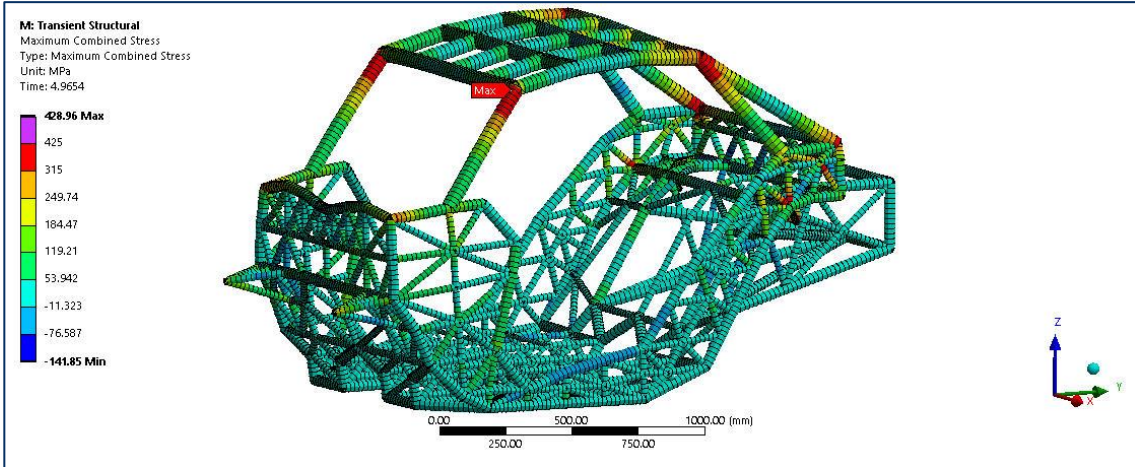
Geometría del bastidor y dimensiones de los elementos tubulares



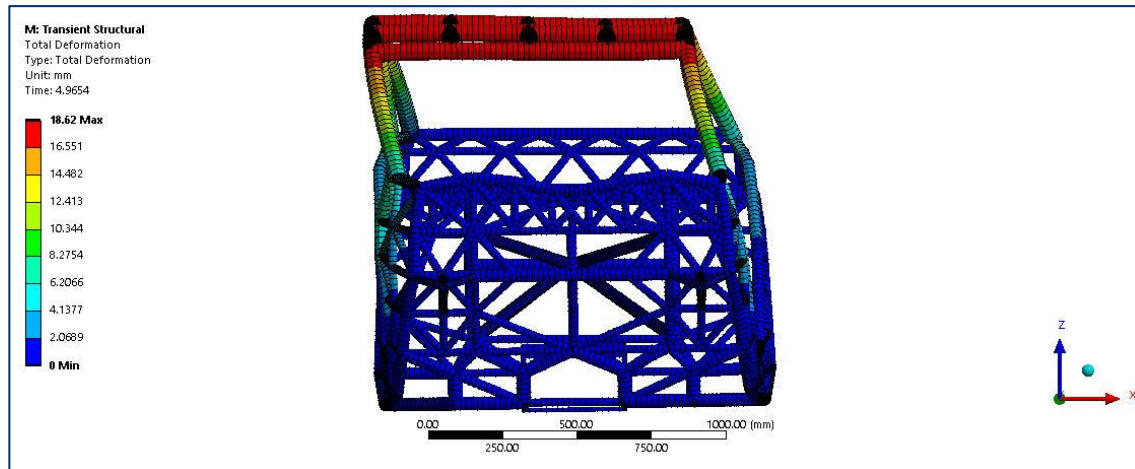
Niveles de carga y energía alcanzados



Esfuerzos máximos y mínimos



Deformación



Comentarios

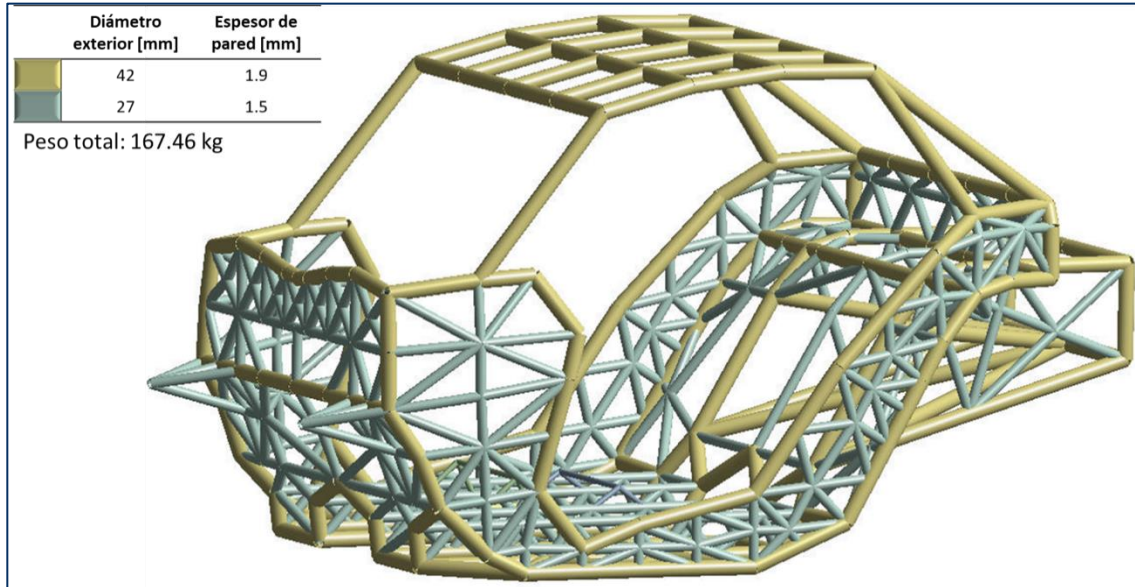
Se puede observar que, a causa del reforzamiento en los postes traseros de la ROPS, el nivel de esfuerzo en la estructura se redujo significativamente, no obstante, los valores máximos aun se encuentran por encima del límite elástico (315 MPa) y del esfuerzo último (425 MPa) del acero ASTM A500C, lo que significa que la estructura presentaría deformación permanente (lo cual es permitido siempre que no se invada el espacio del DLV) y existe una alta probabilidad de que presente falla por fractura, razón por la cual se determina que la propuesta de bastidor V05, aun no cumple el criterio de aceptación y se debe trabajar en el diseño para mejorar el desempeño estructural.

Por otro lado, el nivel de deformación alcanzado (18.6 mm) es un valor más bien ilustrativo pues la condición real sería un desprendimiento de la parte superior de la ROPS.

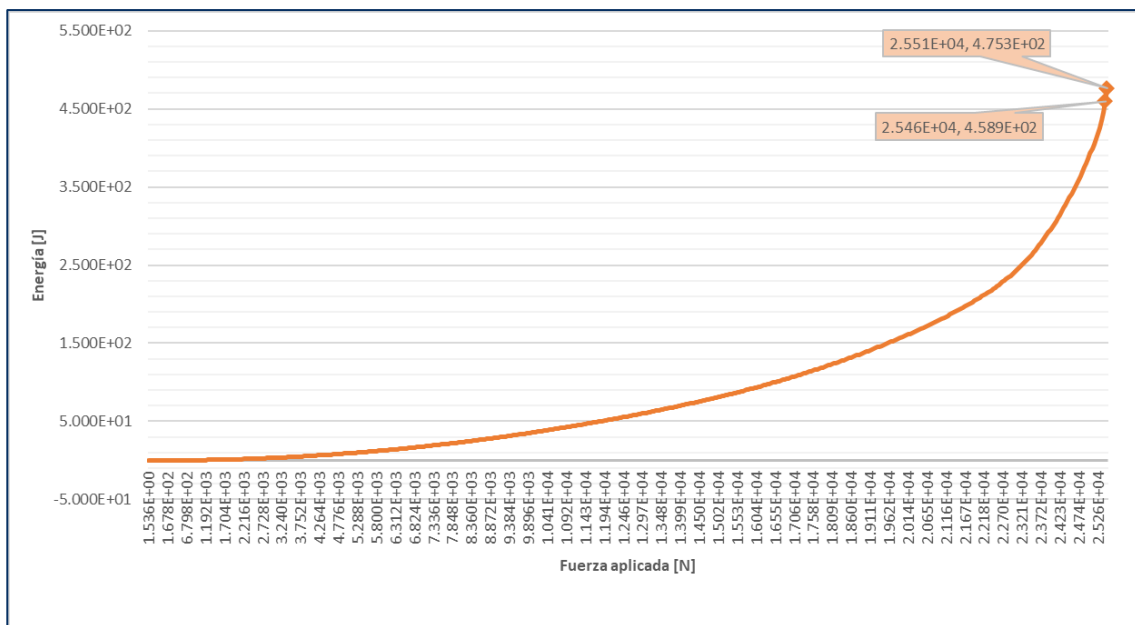
En la propuesta de diseño V07 se eliminarán algunos elementos tubulares ubicados en la parte alta de la ROPS con la intención de permitir mayor deformabilidad.

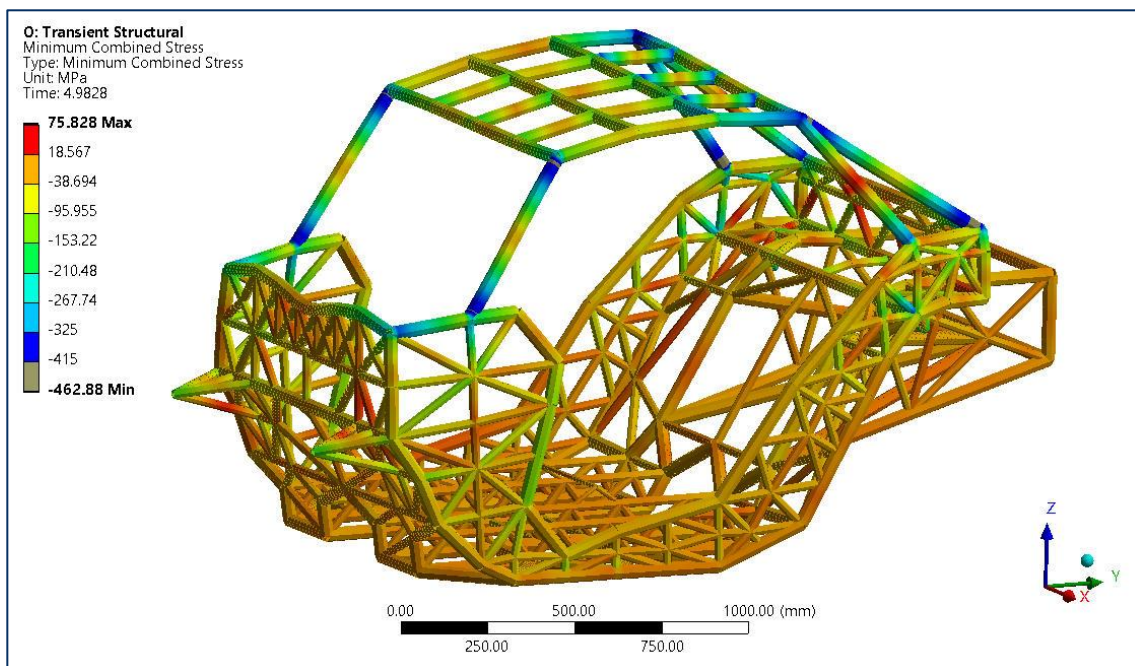
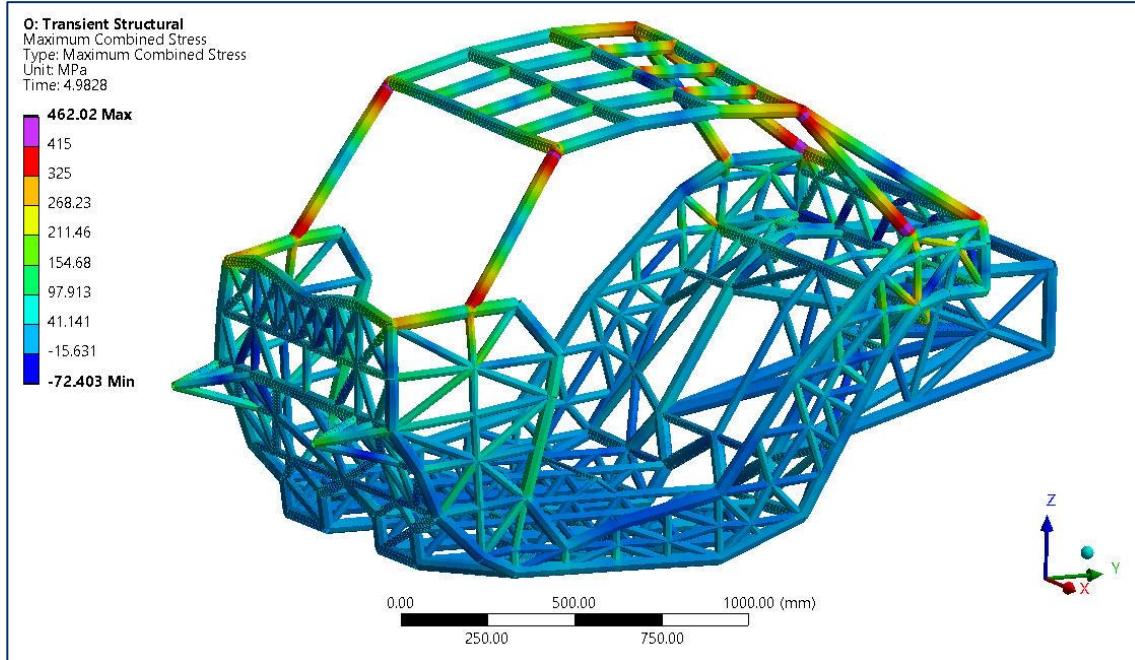
Propuesta V06

Geometría del bastidor y dimensiones de los elementos tubulares

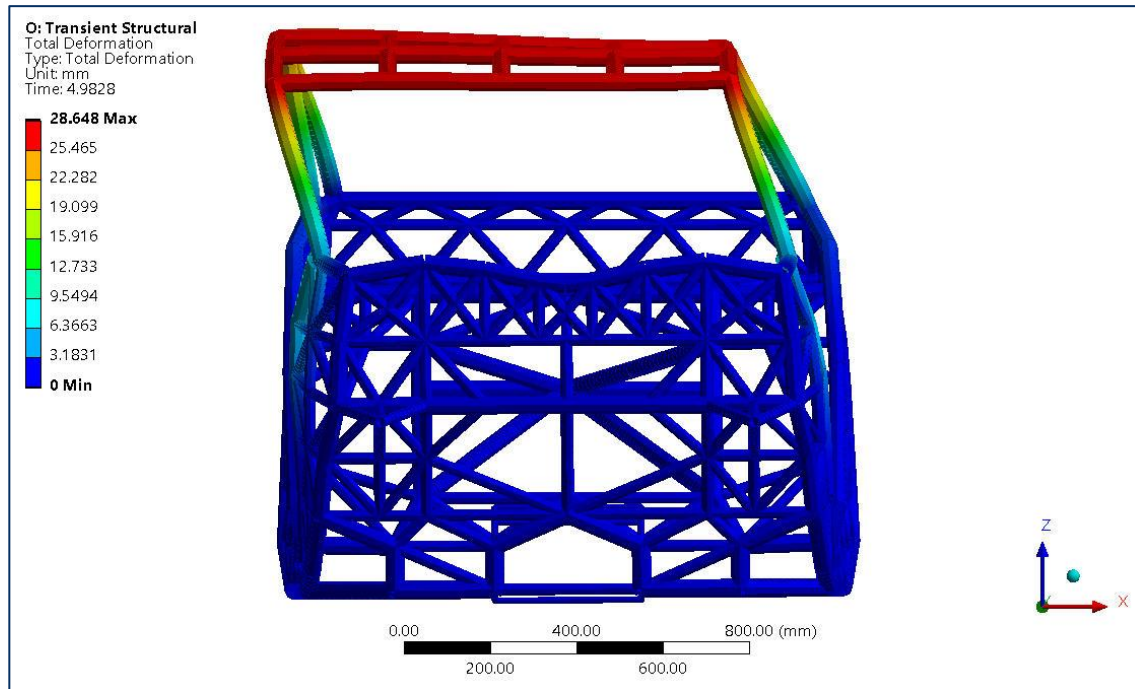


Niveles de carga y energía alcanzados





Deformación



Comentarios

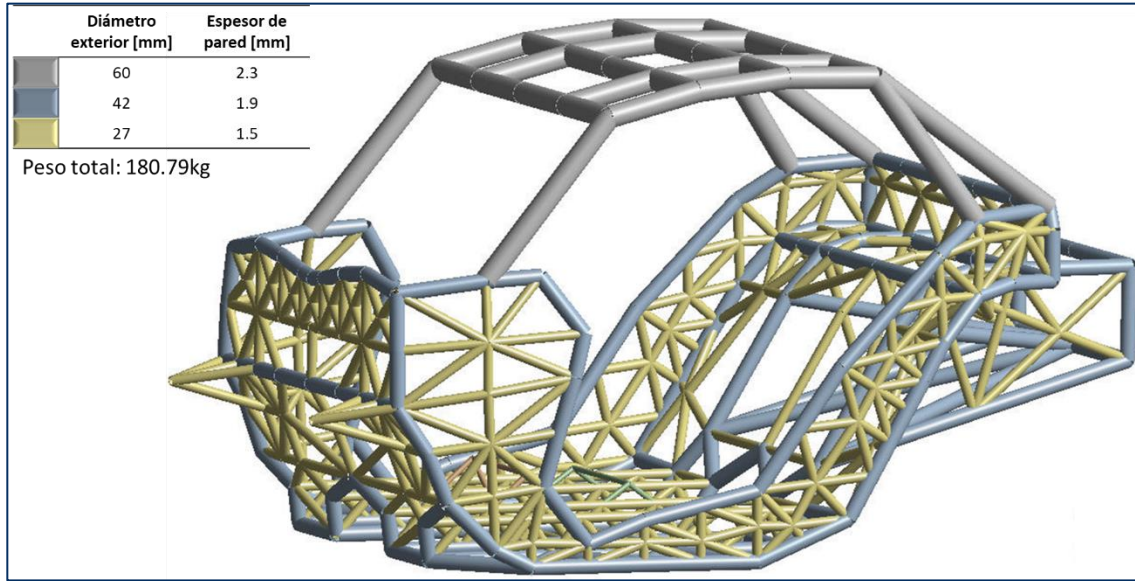
Con este diseño no se observa una reducción en el nivel de esfuerzos a los que se somete la estructura, los valores máximos permanecen por encima del límite elástico (315 MPa) y del esfuerzo último (425 MPa) del acero ASTM A500C, lo que significa que la estructura presentaría deformación permanente (lo cual es permitido siempre que no se invada el espacio del DLV) y falla por fractura, razón por la cual se determina que la propuesta de bastidor V06, aun no cumple el criterio de aceptación.

Por otro lado, el nivel de deformación alcanzado (28.6 mm) es un valor más bien ilustrativo pues la condición real sería un desprendimiento de la ROPS.

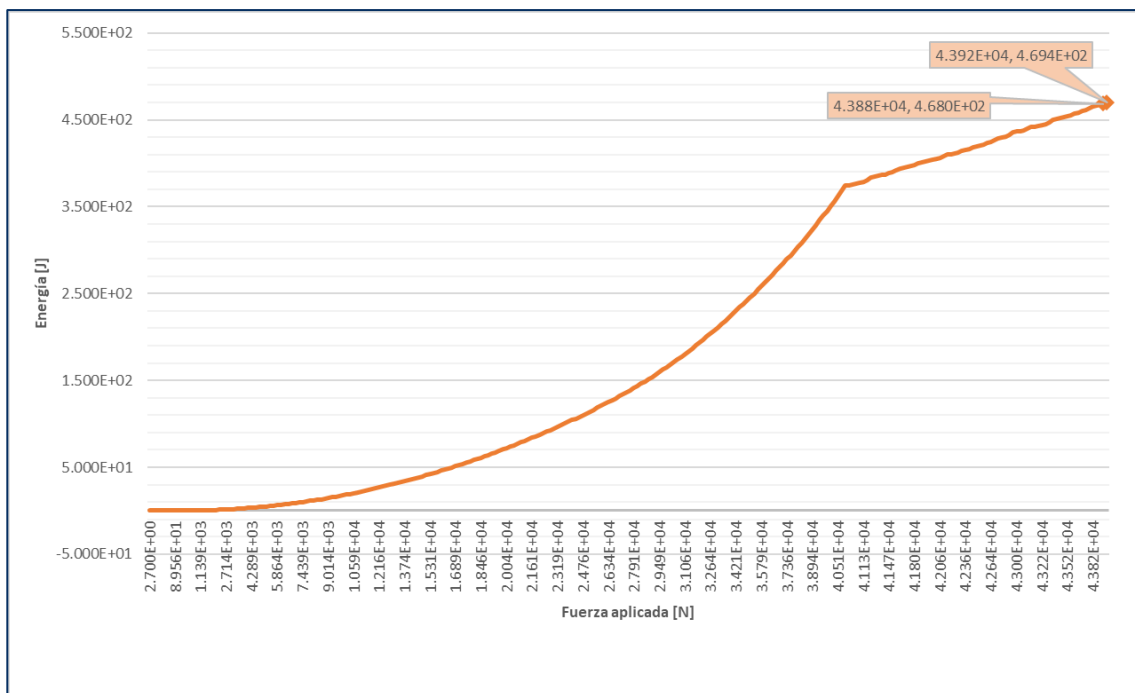
No se seguirá con el estudio de esta línea de diseño.

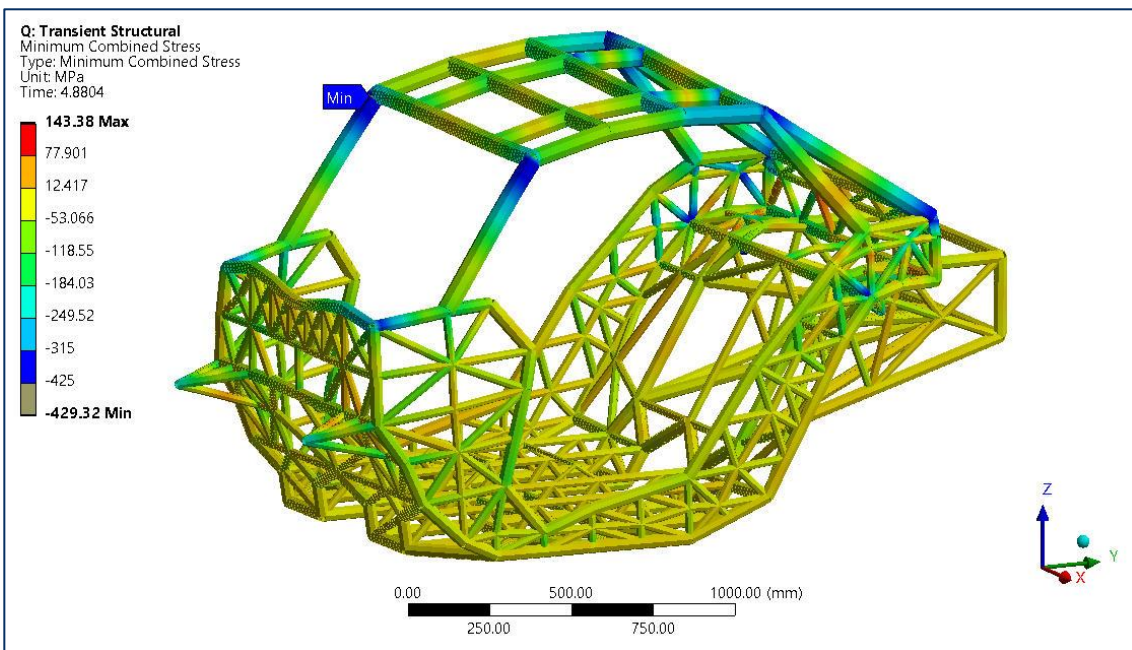
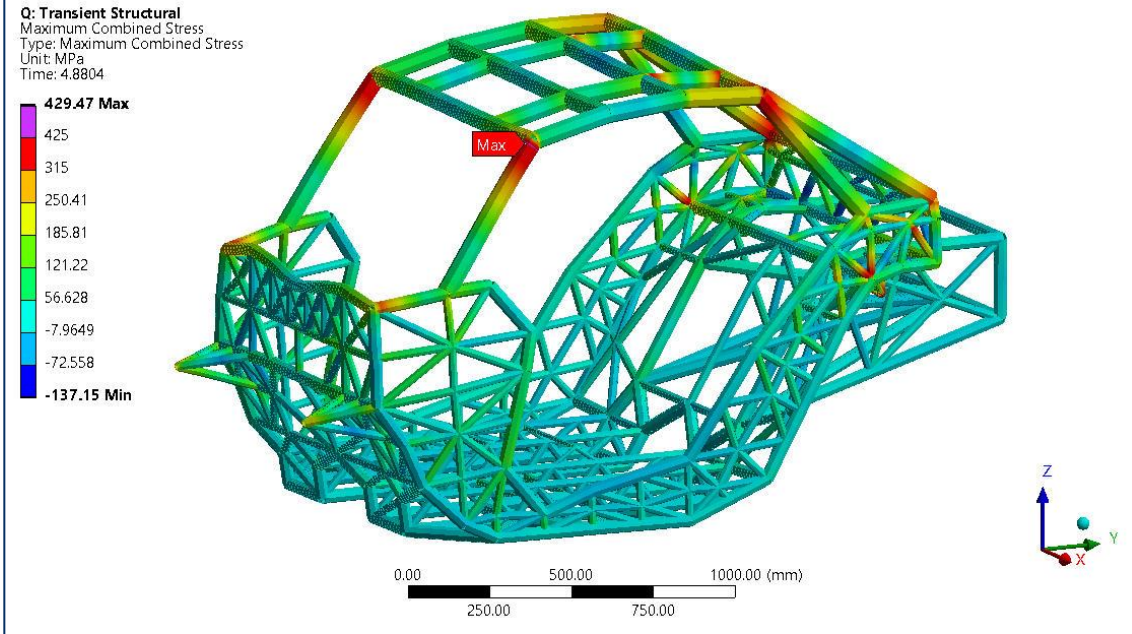
Propuesta V07

Geometría del bastidor y dimensiones de los elementos tubulares

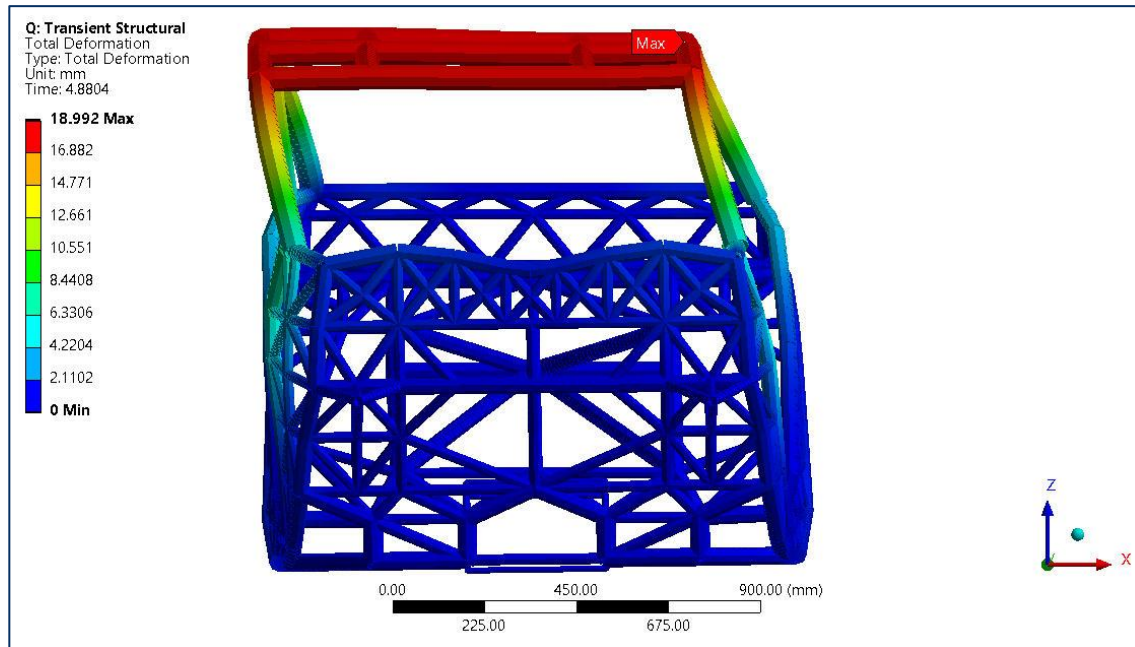


Niveles de carga y energía alcanzados





Deformación



Comentarios

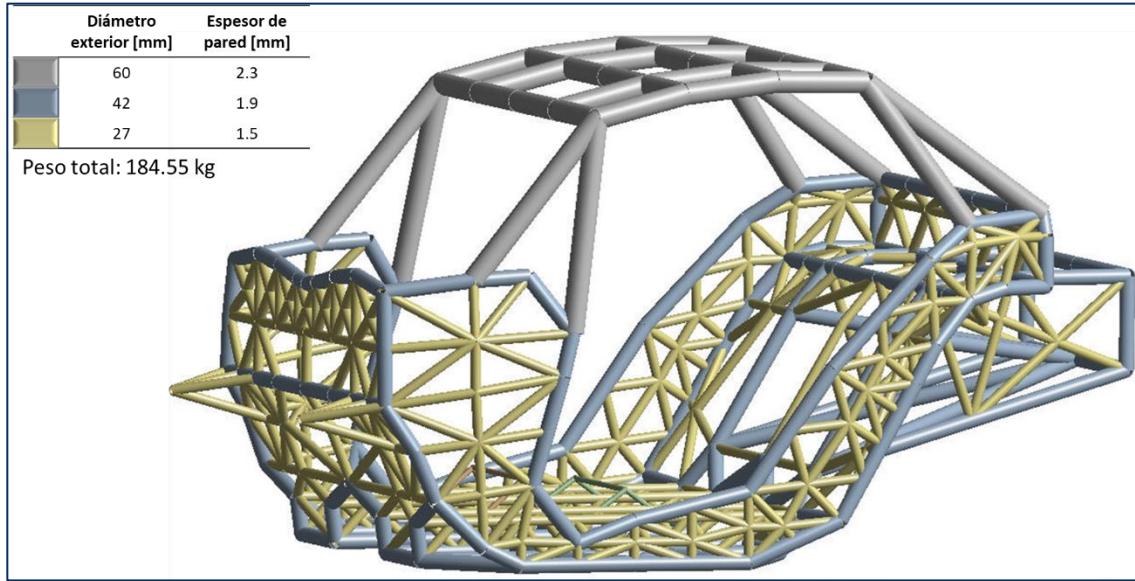
No se observa un cambio significativo comparado con la propuesta de diseño V05 en cuanto al nivel de esfuerzo, los valores máximos aún se encuentran por encima del límite elástico (315 MPa) y del esfuerzo último (425 MPa) del acero ASTM A500C, lo que significa que la estructura presentaría deformación permanente (lo cual es permitido siempre que no se invada el espacio del DLV) y existe una alta probabilidad de que presente falla por fractura, razón por la cual se determina que la propuesta de bastidor V05, aun no cumple el criterio de aceptación y se debe trabajar en el diseño para mejorar el desempeño estructural.

Por otro lado, el nivel de deformación alcanzado (18.9 mm) es un valor más bien ilustrativo pues la condición real sería un desprendimiento de la parte superior de la ROPS.

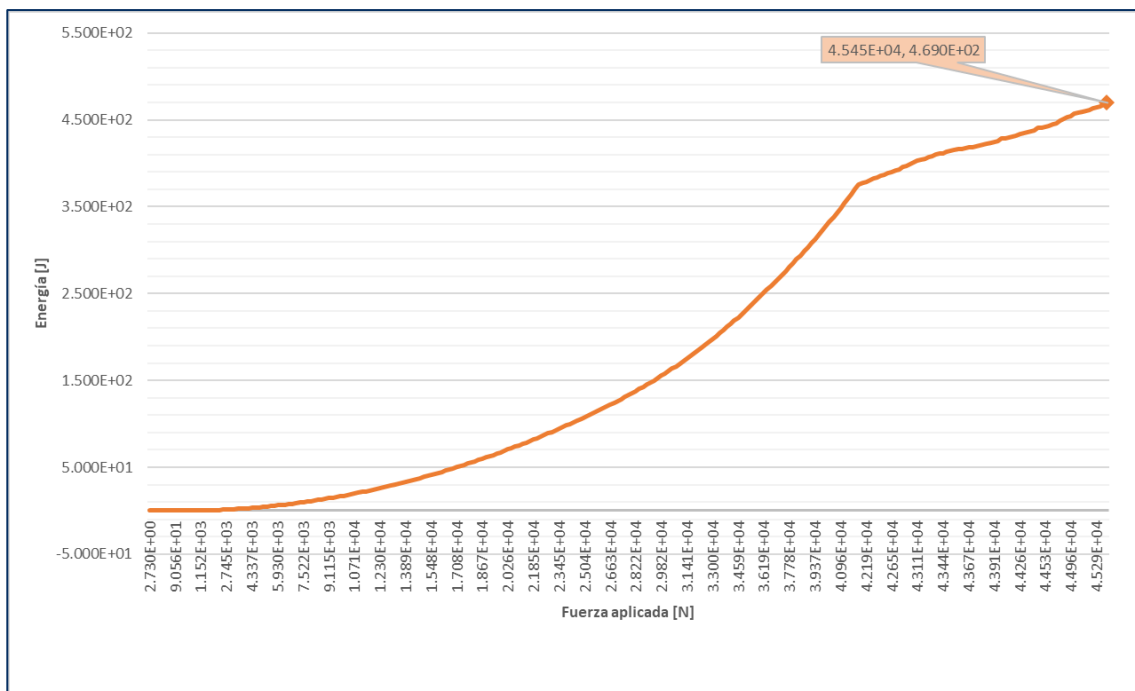
En la propuesta de diseño V08 se agregarán refuerzos a los postes frontales de la ROPS, buscando llevar el nivel de esfuerzos por debajo del esfuerzo último del material.

Propuesta V08

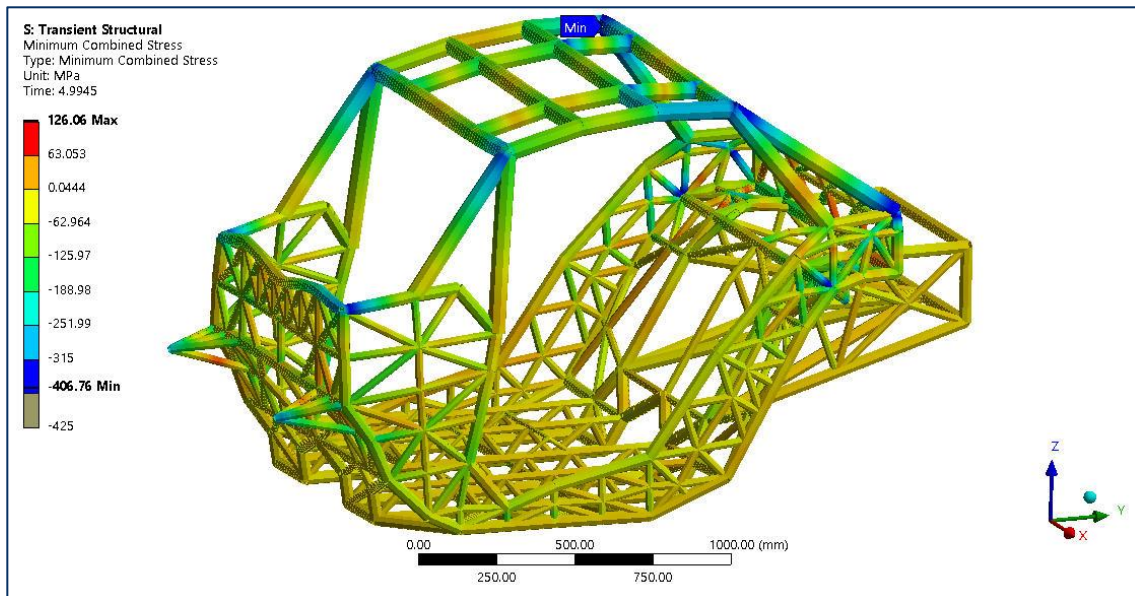
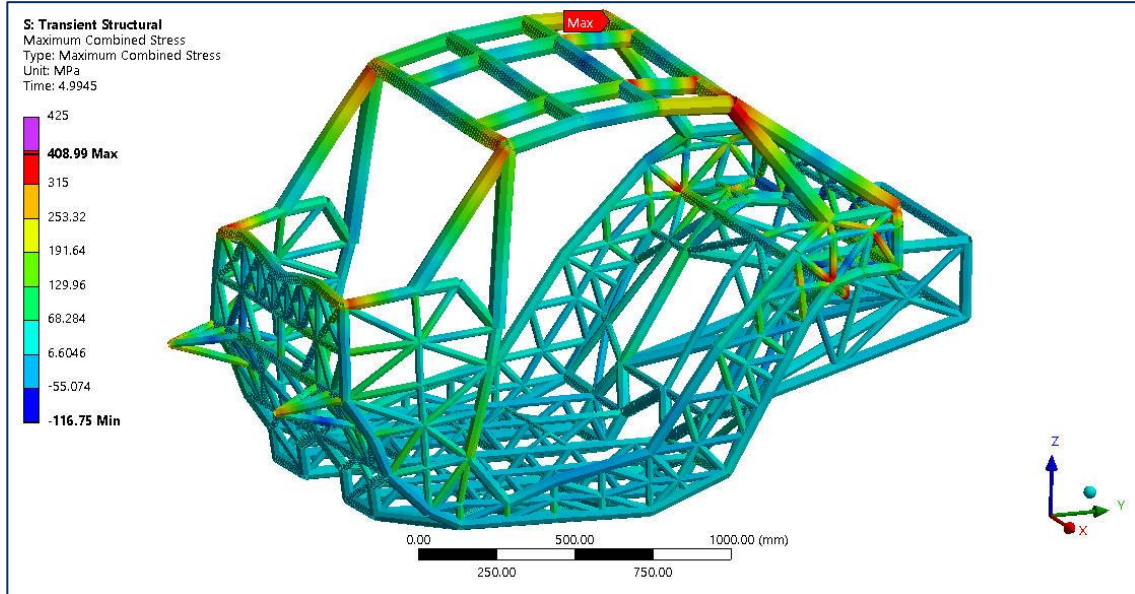
Geometría del bastidor y dimensiones de los elementos tubulares



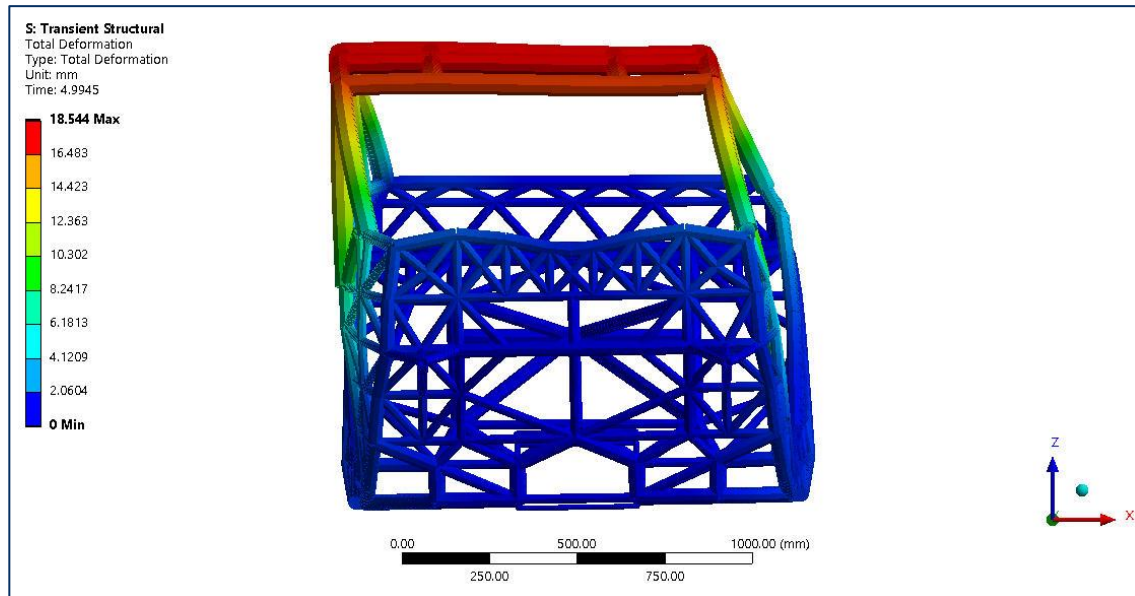
Niveles de carga y energía alcanzados



Esfuerzos máximos y mínimos



Deformación



Comentarios

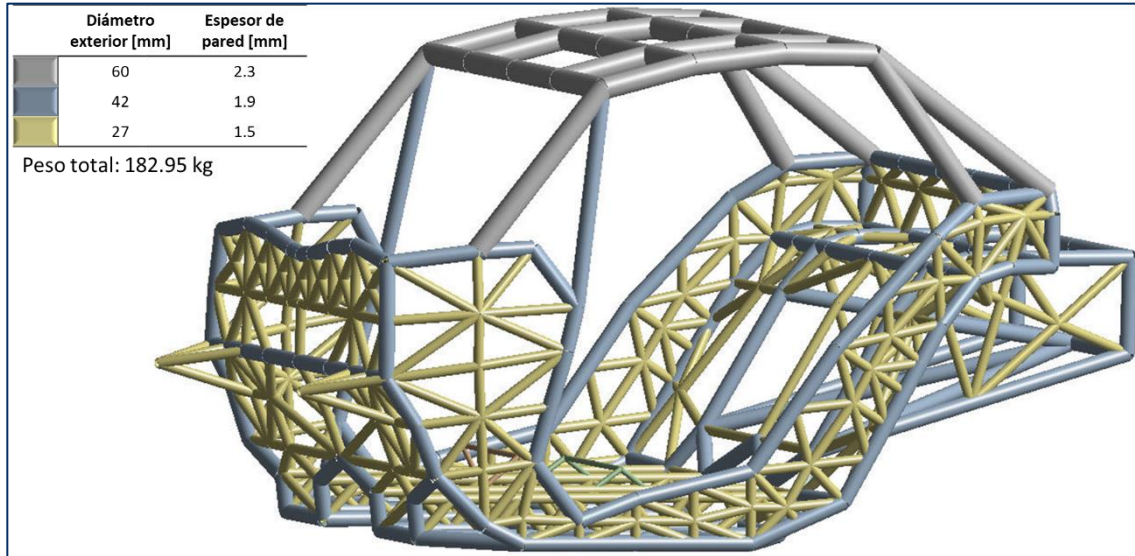
Los valores máximos de esfuerzo se mantienen por encima del límite elástico (315 MPa) pero sin llegar a valores tan cercanos al esfuerzo último (425 MPa) del acero ASTM A500C, esto quiere decir que la estructura presentaría deformación permanente (lo cual es permitido siempre que no se invada el espacio del DLV) sin presentar falla por fractura. Esta propuesta se califica como un diseño válido para seguir trabajando, sin embargo, se tratará de reducir un poco más los esfuerzos.

Por otro lado, se observa un nivel de deformación de 18.5 mm, lo cual parece ser realista tomando en consideración la geometría del bastidor.

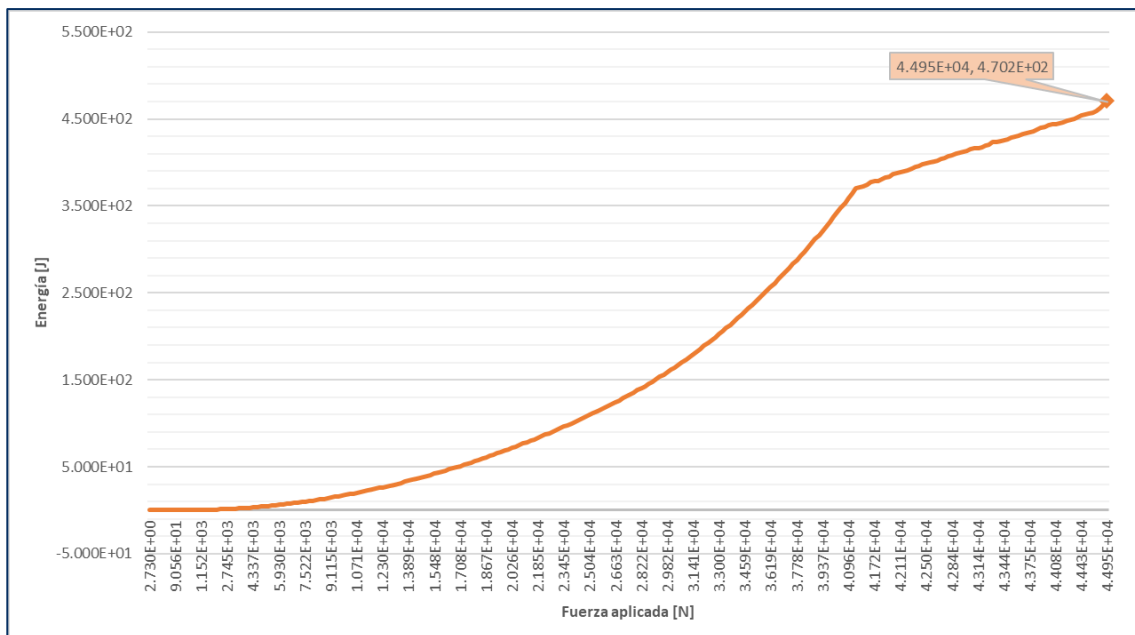
En la propuesta de diseño V09 se buscará reducir el peso de la estructura sin comprometer los resultados logrados.

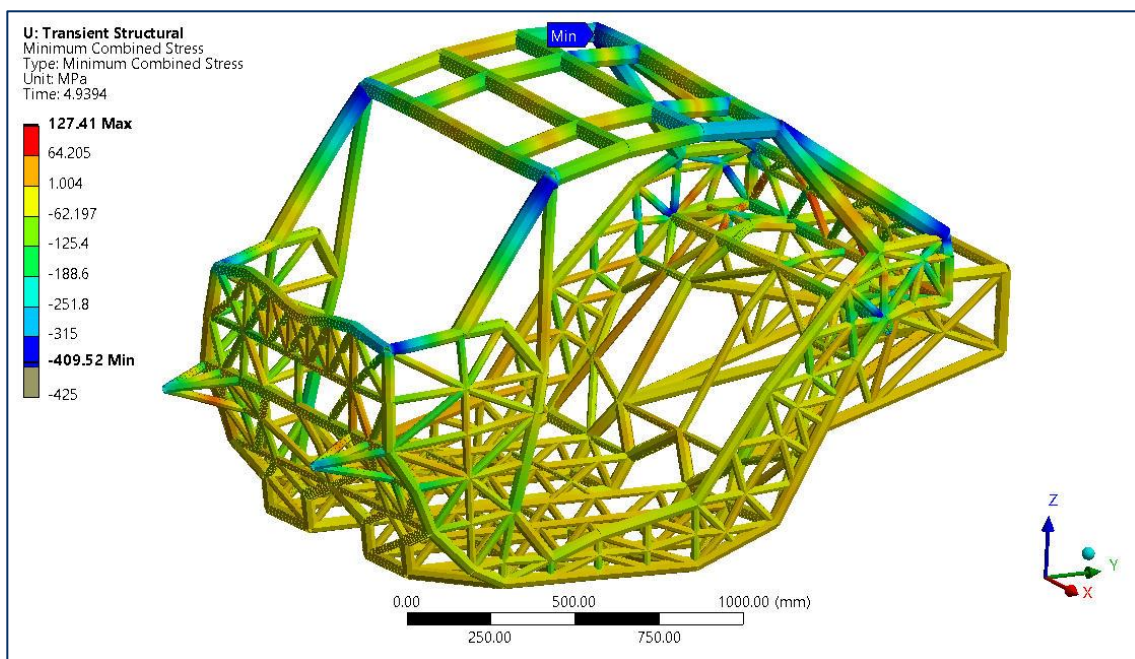
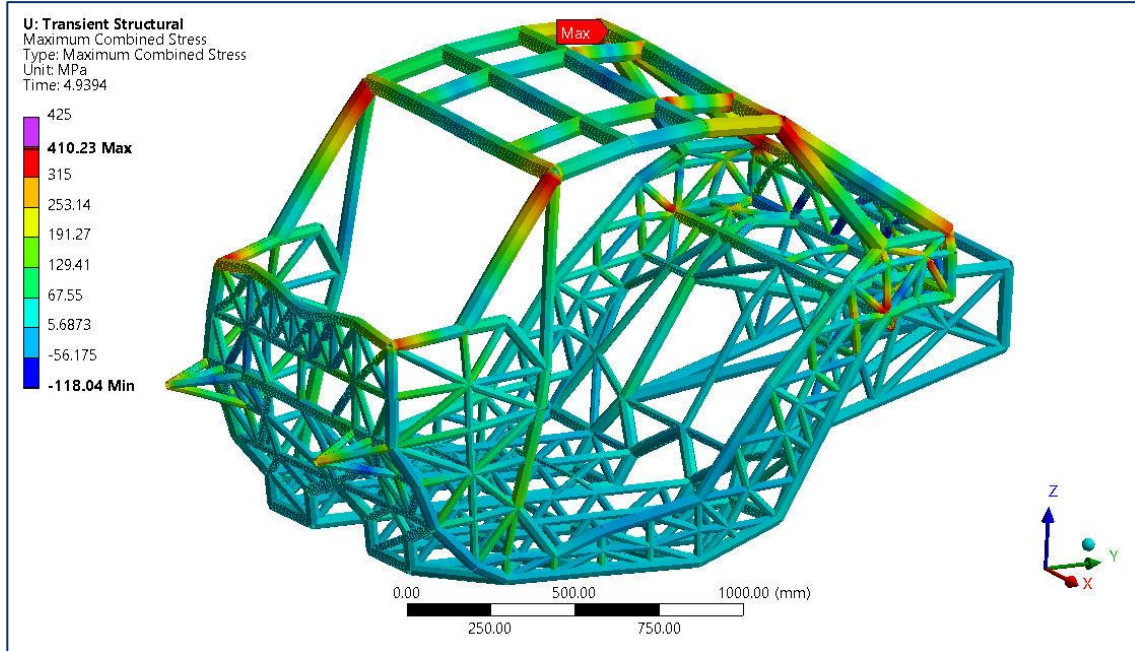
Propuesta V09

Geometría del bastidor y dimensiones de los elementos tubulares

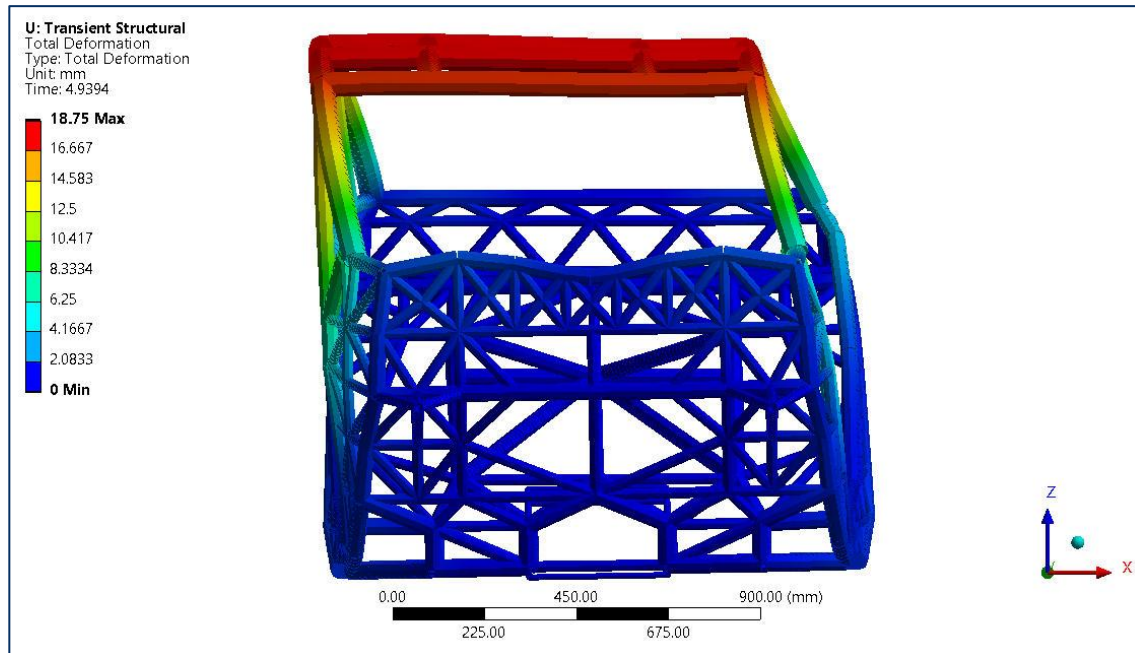


Niveles de carga y energía alcanzados





Deformación



Comentarios

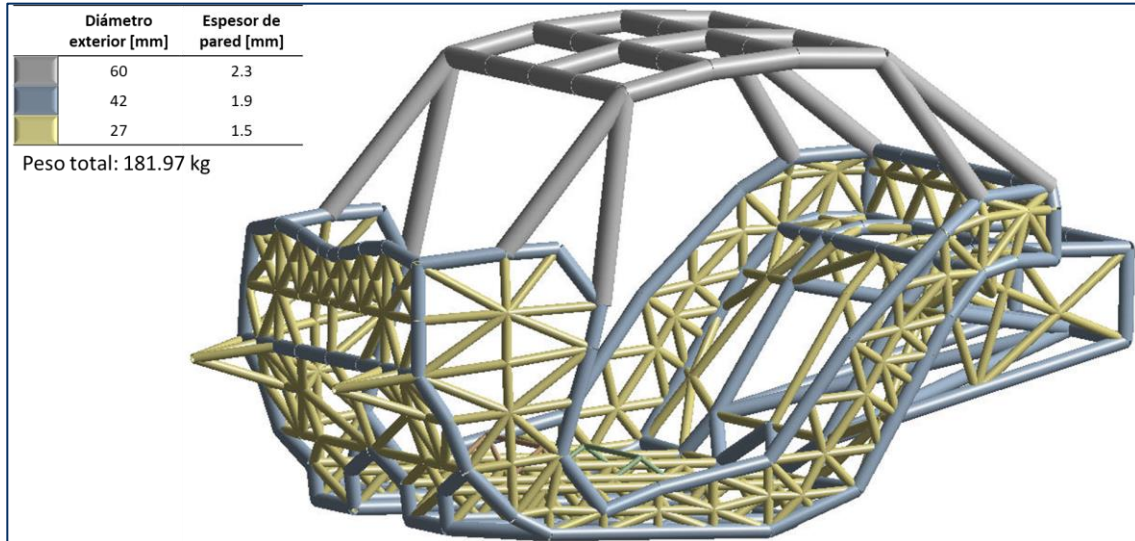
Los valores máximos de esfuerzo se mantienen por encima del límite elástico (315 MPa) pero sin llegar a valores tan cercanos al esfuerzo último (425 MPa) del acero ASTM A500C, esto quiere decir que la estructura presentaría deformación permanente (lo cual es permitido siempre que no se invada el espacio del DLV) sin presentar falla por fractura. Esta propuesta podría calificarse como un diseño válido para seguir trabajando, sin embargo, la reducción de peso no es significativa, por lo que no se seguirá explorando esta opción de diseño.

Por otro lado, se observa un nivel de deformación de 18.75 mm, lo cual parece ser realista tomando en consideración la geometría del bastidor.

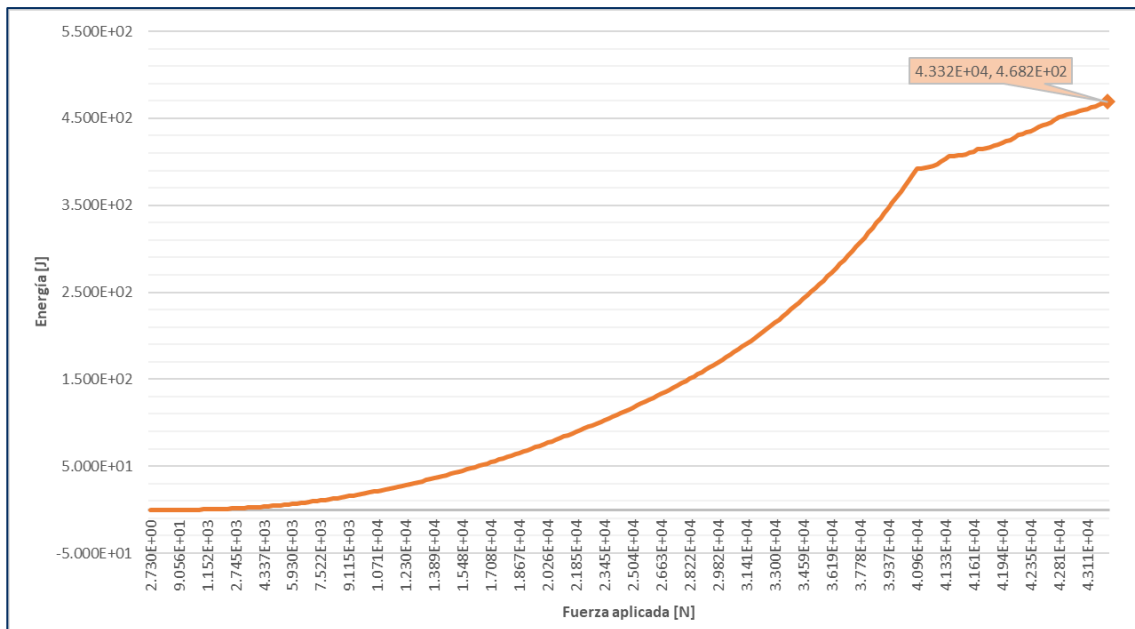
En la propuesta de diseño V10 se intentará otra estrategia de reducción de peso y nivel de esfuerzos: se eliminarán otros elementos de la parte superior de la ROPS.

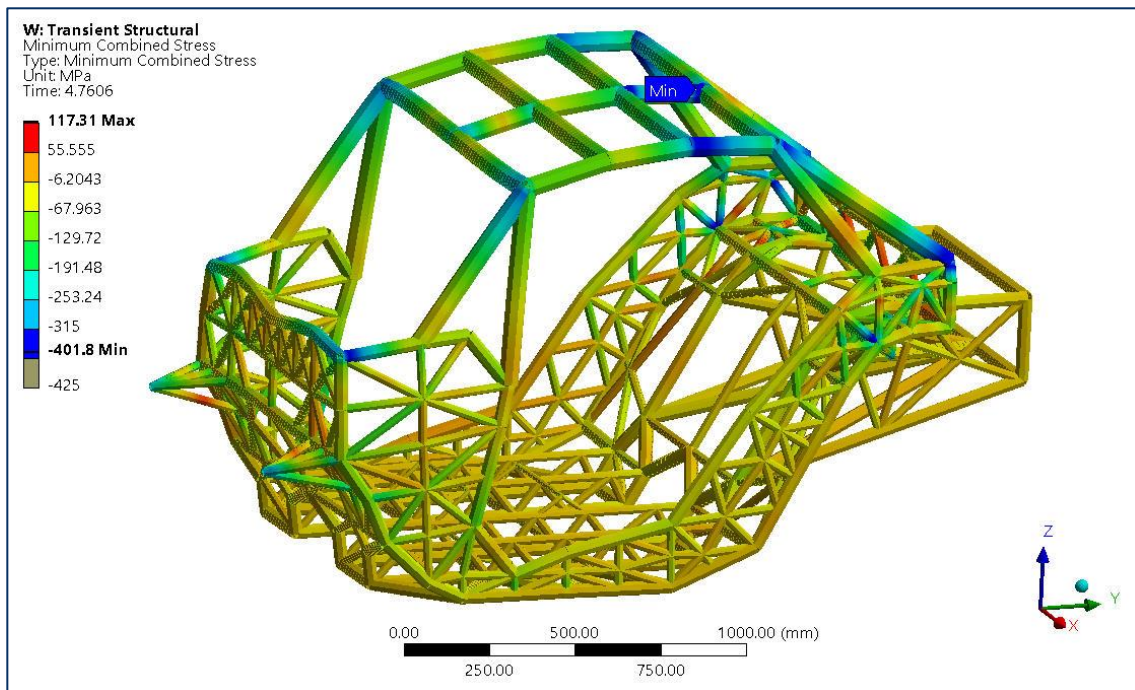
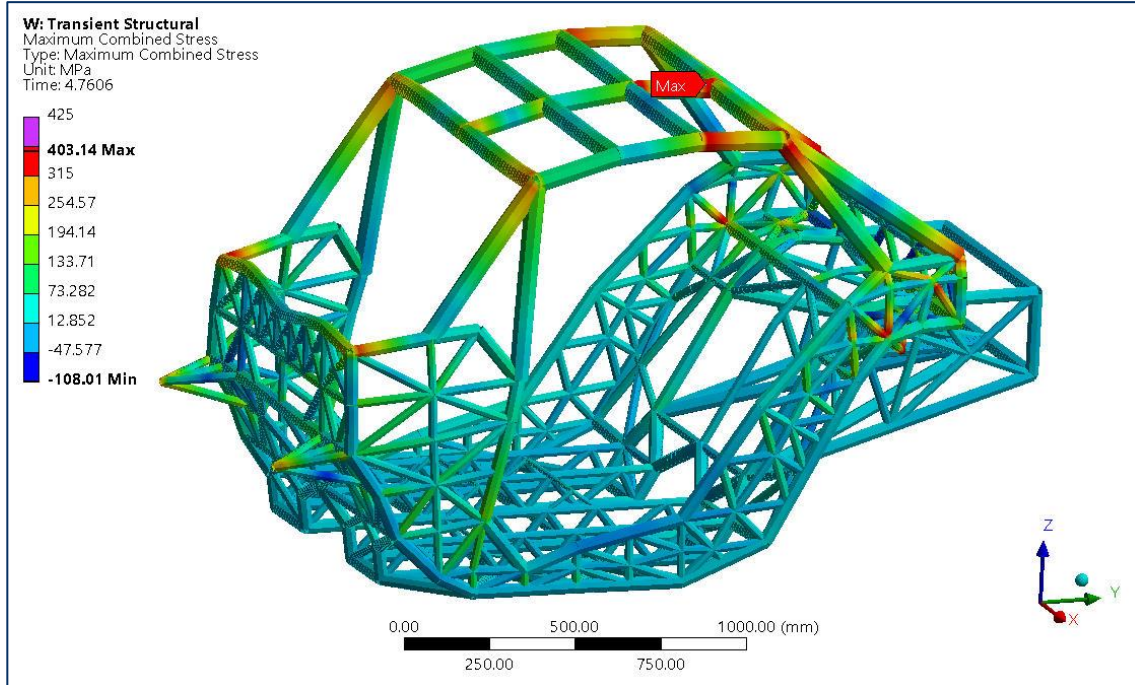
Propuesta V10

Geometría del bastidor y dimensiones de los elementos tubulares

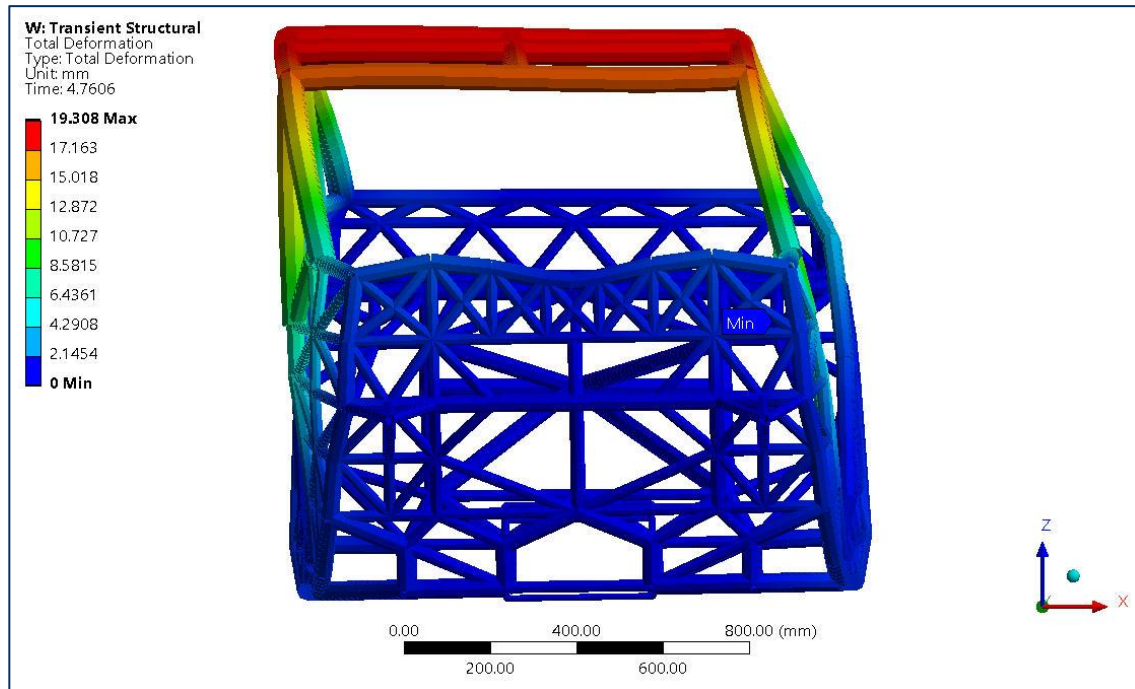


Niveles de carga y energía alcanzados





Deformación



Comentarios

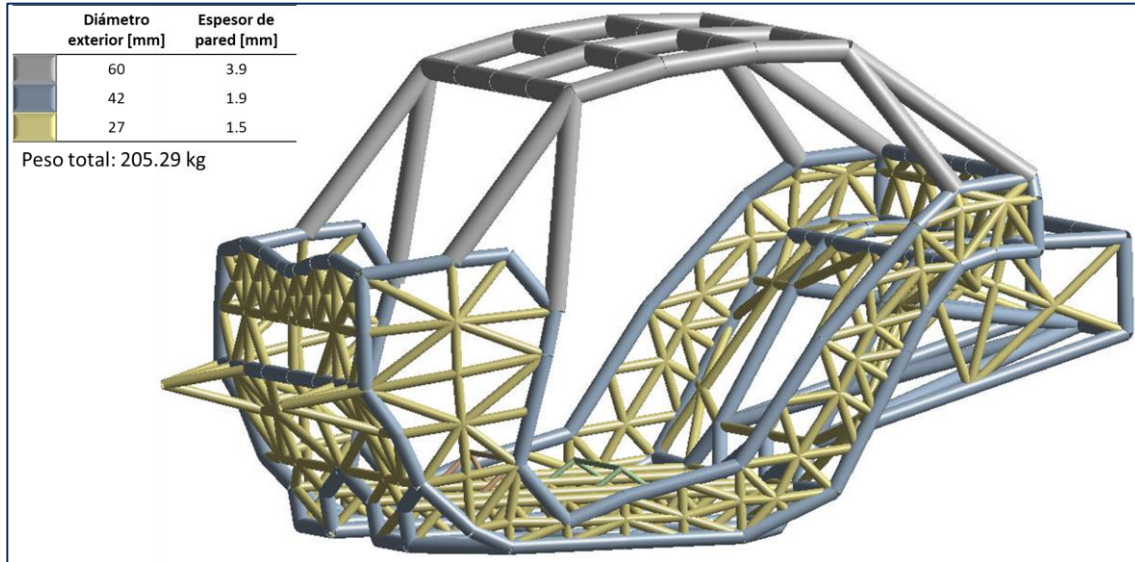
Los valores máximos de esfuerzo se mantienen por encima del límite elástico (315 MPa) pero sin llegar a valores tan cercanos al esfuerzo último (425 MPa) del acero ASTM A500C, esto quiere decir que la estructura presentaría deformación permanente (lo cual es permitido siempre que no se invada el espacio del DLV) sin presentar falla por fractura. Esta propuesta se califica como un diseño válido para seguir trabajando, sin embargo, se realizará una última iteración con la intención de reducir un poco más el nivel de esfuerzos.

Por otro lado, se observa un nivel de deformación de 19.3 mm, lo cual parece ser realista tomando en consideración la geometría del bastidor.

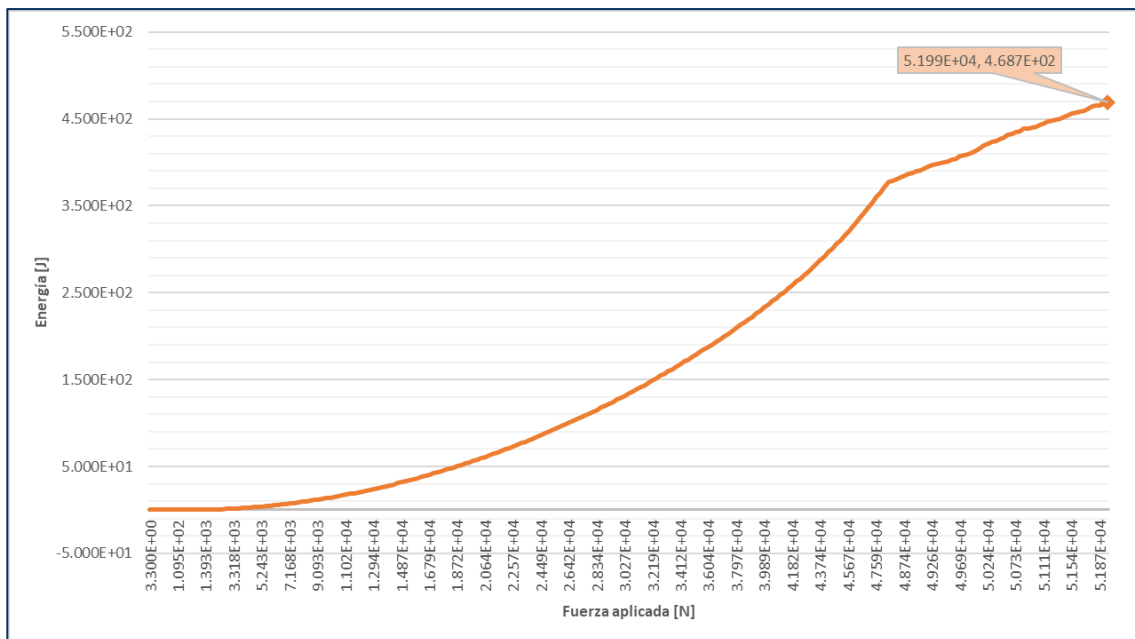
En la propuesta de diseño V11 se trabajará con esta misma geometría, pero se dará mayor espesor a los elementos tubulares de la ROPS buscando reducir el nivel de esfuerzos.

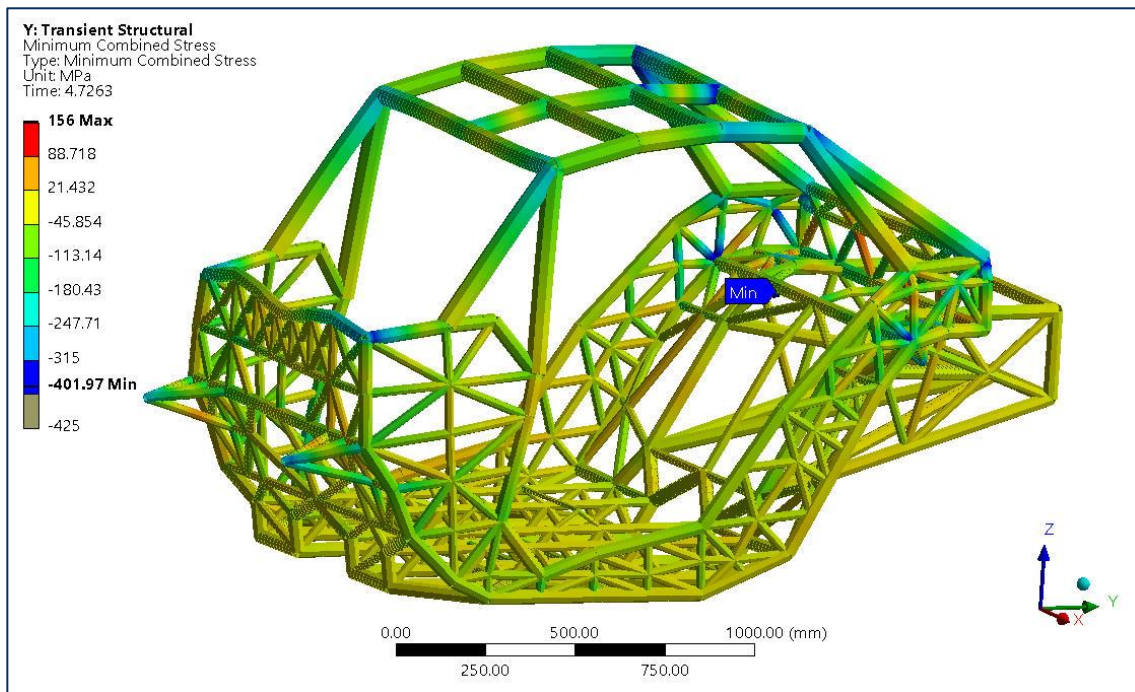
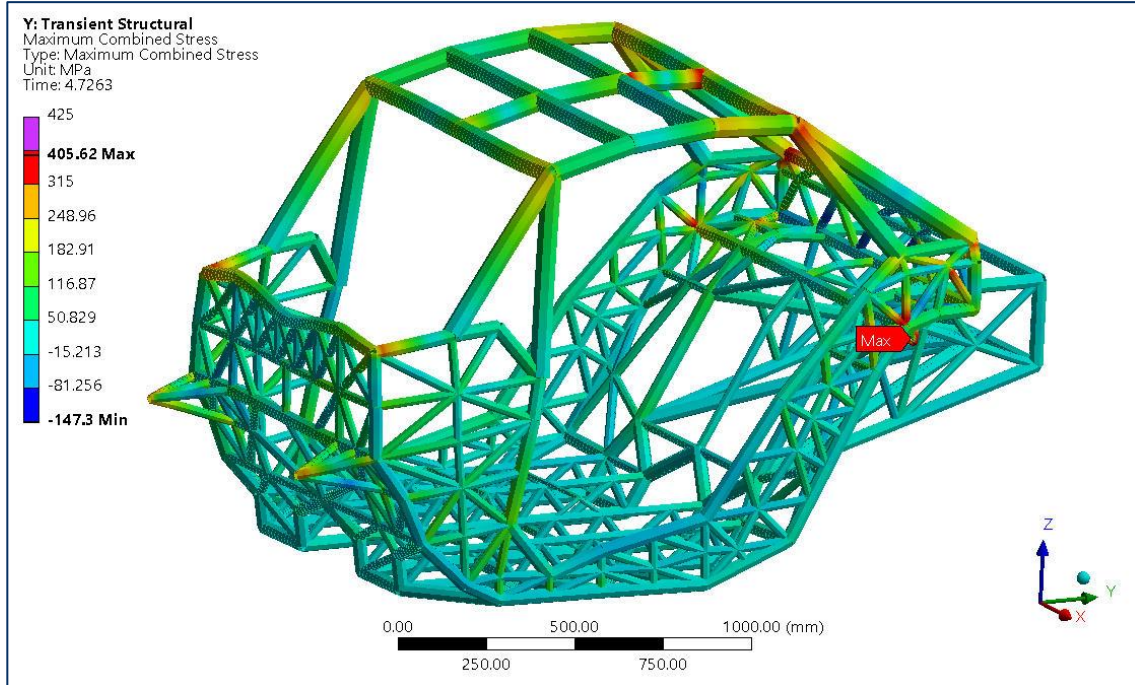
Propuesta V11

Geometría del bastidor y dimensiones de los elementos tubulares

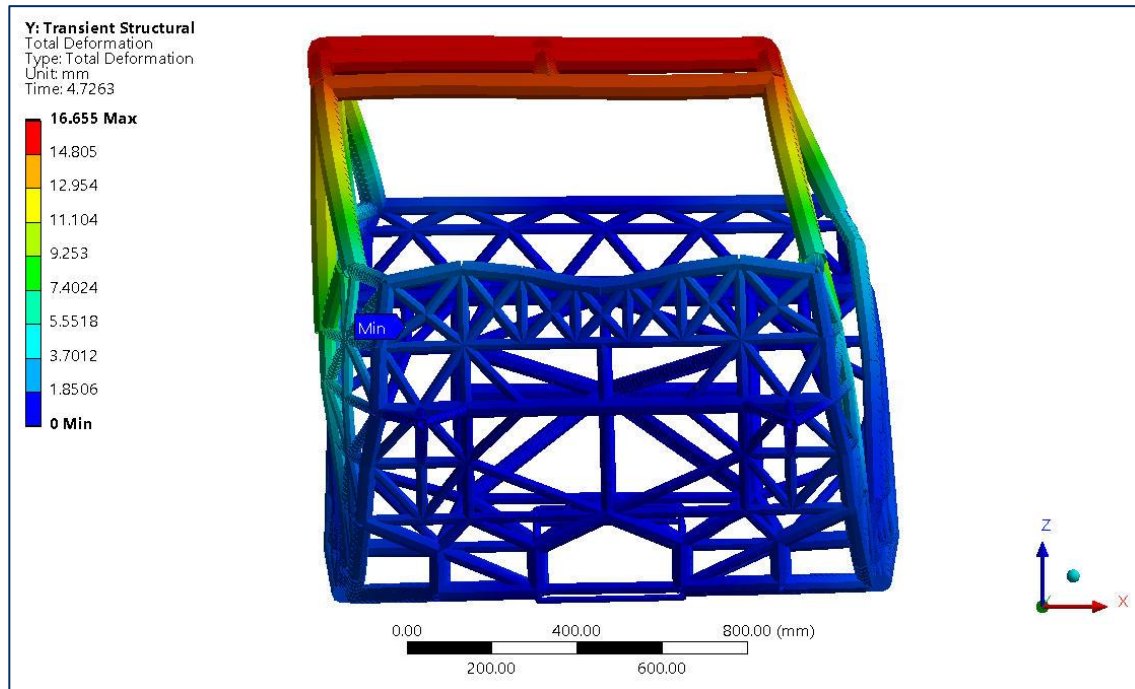


Niveles de carga y energía alcanzados





Deformación



Comentarios

Los valores máximos de esfuerzo se mantienen por encima del límite elástico (315 MPa) pero sin llegar a valores tan cercanos al esfuerzo último (425 MPa) del acero ASTM A500C, esto quiere decir que la estructura presentaría deformación permanente (lo cual es permitido siempre que no se invada el espacio del DLV) sin presentar falla por fractura. Esta propuesta podría considerarse como un diseño válido para seguir trabajando, sin embargo, en comparación con la propuesta V10, representa mayor peso y tiene un desempeño similar.

Por otro lado, se observa un nivel de deformación de 16.6 mm, este valor es menor comparado con la deformación en la propuesta V10.

Se tomará la propuesta V10 como el diseño seleccionado para continuar con este trabajo.

REFERENCIAS

1. *Recreational Off-Highway Vehicle Association/American National Standards Institute*. "ANSI/ROHVA 1".
2. DIFERENCIAS ENTRE ATV Y UTV. Revisado el 24 de marzo de 2021 en <https://vehiculosdetodotipo.es.tl/UTV-Y-ATV.htm#:~:text=Otra%20de%20las%20claras%20diferencias,en%20un%20coche%20o%20cami%C3%B3n>.
3. ¿Cuál es la diferencia entre un ATV y un UTV Side-By-Side? (3 de octubre de 2020). Revisado el 24 de marzo de 2021 en <https://offroad.polaris.com/es-us/articles/atv-vs-sxs-utv/>
4. *Maverick Trail 2021* [Ilustración]. Tomada de <https://can-am.brp.com/off-road/us/es/models/side-by-side-vehicles/maverick-trail.html>
5. *Outlander 2021* [Ilustración]. Tomada de <https://can-am.brp.com/off-road/us/es/models/all-terrain-vehicles/outlander.html>
6. *UTV (Utility Terrain Vehicle) Market Size, Share 2020 By Product Types & Application, Top Manufacturer, Regional Analysis & Forecasts To 2024 | Says Market Reports World*. (9 de septiembre de 2020). Revisado el 19 de marzo de 2021 en <https://www.thecowboychannel.com/story/42605409/utv-utility-terrain-vehicle-market-size-share-2020-by-product-types-amp-application-top-manufacturer-regional-analysis-amp-forecasts-to-2024-says>
7. *NORTH AMERICA ATV AND UTV MARKET - GROWTH, TRENDS, COVID-19 IMPACT, AND FORECASTS (2021 - 2026)*. Revisado el 19 de marzo de 2021 en <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/north-america-atv-and-utv-market>
8. Adaptado de *ATV and UTV Market, Revenue Share (%), by Country, North America, 2019* [Ilustración]. Tomada de <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/north-america-atv-and-utv-market>
9. Ramos-Rivero, V.L. (15 de noviembre de 2018). *Evolución del Uso de los Materiales Plásticos en la Industria Automotriz*. INNOVA Research Journal 2018, Vol 3, No. 12. (pp 18,19,21,25).
10. Chacón, L. (17 de enero de 2014). *Autos de plástico, fibras y nuevos materiales*. Revisado el 20 de marzo de 2021 en <https://manufactura.mx/automotriz/2014/01/17/autos-de-plastico-fibras-y-nuevos-materiales#:~:text=Asegura%20que%20el%20material%20es,de%20combustible%20y%20menor%20contaminaci%C3%B3n>.
11. *Materials Used Most Commonly for Major Vehicle Structure Components in the Current Fleet* [Ilustración]. Tomada de *Technology Roadmaps: Intelligent Mobility Technology, Materials and Manufacturing Process, and Light Duty Vehicle Propulsion* (p 13) por Center for Automotive Research. Junio de 2017.

12. *Material Distribution in the U.S. Fleet (Body-in-White Plus Cloueseres)*, 2010 to 2040 [Ilustración]. Tomada de Technology Roadmaps: Intelligent Mobility Technology, Materials and Manufacturing Process, and Light Duty Vehicle Propulsion (p 15) por Center for Automotive Research. Junio de 2017.
13. *Plastics and Polymer Composites in Light Vehicles*. (Agosto de 2019). Economics & Statistics Department, American Chemistry Council. (p. 6).
14. Friedrich, K., Almajid, A. A. (10 de febrero de 2012) *Manufacturing Aspects of Advanced Polymer Composites for Automotive Applications*. (pp 113, 115, 120).
15. *Polymer composites structures for safety in racing cars (top) and in the passenger cell of a Porsche Carrera GT (bottom)* [Ilustración]. Tomada de Friedrich, K., Almajid, A. A. (10 de febrero de 2012) *Manufacturing Aspects of Advanced Polymer Composites for Automotive Applications*. (p 124).
16. Mitschang, P., Hildebrandt, K. (2012) *Polymer and composite moulding technologies for automotive applications*. (p 227).
17. Gepner B. D., Cochran J., Foltz P., Roberts C. et al. "Recreational Off-Highway Vehicle Safety: Countermeasures for Ejection Mitigation in Rollover". SAE Technical Paper 2016-01-1513, 2016, doi: 10.4271/2016-01-1513.
18. European Aluminium Association. (2013) *The Aluminium Automotive Manual*. (p. 2, 83).
19. Genta G. and Morello L. (2009) *The Automotive Chassis, Volume 1: Components Design*. Mechanical Engineering Series. Springer Science+Business Media B.V. (p. 351, 364-369, 371-377).
20. *Very simple structural surface composed by a flat rectangular panel*. [Ilustración]. Tomada de Genta G. and Morello L. (2009) *The Automotive Chassis, Volume 1: Components Design*. Mechanical Engineering Series. Springer Science+Business Media B.V. (p. 373).
21. *Examples of panels for a structural surface model: a rectangular panel, b panel with reinforcements grooves, c panel with lighting opening, d door frame panel*. [Ilustración]. Tomada de Genta G. and Morello L. (2009) *The Automotive Chassis, Volume 1: Components Design*. Mechanical Engineering Series. Springer Science+Business Media B.V. (p. 374).
22. *The many kinds of panel, needed for building a model of a hatchback four doors sedan*. [Ilustración]. Tomada de Genta G. and Morello L. (2009) *The Automotive Chassis, Volume 1: Components Design*. Mechanical Engineering Series. Springer Science+Business Media B.V. (p. 374).
23. *Final scheme of a beam model; the shape of the beams is determined by placing them below the styled exterior shape and assigning to them compatible cross sections, scaled from existing data bases*. [Ilustración]. Tomada de Genta G. and Morello L. (2009) *The Automotive Chassis, Volume 1: Components Design*. Mechanical Engineering Series. Springer Science+Business Media B.V. (p. 377).
24. Institution of Professional Engineers New Zealand Incorporated (Juio de 2009) *Practice note 12: Operator Protective Structures*. (p. 2-6).

25. *Force v deflection graph for a rigid and flexible frame*. [Ilustración]. Tomada de Institution of Professional Engineers New Zealand Incorporated (Julio de 2009) Practice note 12: Operator Protective Structures. (p. 4).
26. Crolla, D., Foster, D. E., Kobayashi, T., Vaughan, N. (2015) *Encyclopedia of automotive engineering*. Volume 5. Wiley(p. 2816, 2817).
27. *CFRP cabin and aluminium frame of the Lexus LFA (2010)* (Source: Lexus). [Ilustración]. Tomada de European Aluminium Association. (2013) *The Aluminium Automotive Manual*. (p. 83).
28. *U.S. Utility Terrain Vehicles (UTV) Market Size By Displacement (Below 400 CC, 400-800 CC, Above 800 CC), By Propulsion Type (Gasoline, Diesel, Electric), By Application (Utility, Sports, Recreation, Military), COVID19 Impact Analysis, Regional Outlook, Growth Potential, Price Trends, Competitive Market Share & Forecast, 2021 – 2027*. (mayo de 2021). Revisado el 21 de mayo de 2021 en <https://www.gminsights.com/industry-analysis/us-utility-terrain-vehicle-utv-market>
29. *ATV/UTV Market Overview*. (25 de febrero de 2016). Revisado el 21 de mayo de 2021 en <https://www.motorcyclepowersportsnews.com/atv-utv-overview/>
30. Kinsman, A. et al. (2012) *SIDE-BY-SIDE ALL TERRAIN VEHICLE*. Patente EE.UU. No. 20120223500A1.
31. Riba, C. (2002) *Diseño concurrente*. EDICIONS UPC. (p. 78, 80, 81)
32. Ulrich, K. T. and Eppinger, S. D. (2013) *Diseño y Desarrollo de productos*. McGRAW-HILL. (p. 75, 94, 96, 107, 120, 129, 145).
33. Torres, M., Paz, K., & Salazar, F. (2006). Tamaño de una muestra para una investigación de mercado. *Boletín electrónico*, 2, 1-13.
34. American Society for Testing and Materials. (2010). *Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes* (ASTM A500/A500M).