



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**DISEÑO DE UNA JAULA DE SEGURIDAD PARA UN VEHÍCULO
CHEVROLET VITARA CATEGORÍA TODOTERRENO BAJO LA NORMATIVA
DE LA FEDAK.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Automotriz

AUTOR: LUIS JAVIER ANDRANGO PAUCAR

TUTOR: PAÚL ANDRÉS MOLINA CAMPOVERDE

Quito - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Luis Javier Andrango Paucar con documento de identificación no 1726702556 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 30 de julio del año 2024

Atentamente,



Luis Javier Andrango Paucar
1726702556

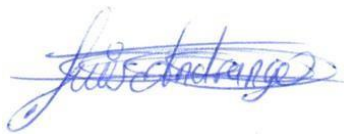
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo Luis Javier Andrango Paucar con documento de identificación No. 1726702556 expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Diseño De Una Jaula De Seguridad Para Un Vehículo Chevrolet Vitara categoría Todoterreno bajo la normativa de la FEDAK”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Automotriz en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 30 de julio del año 2024

Atentamente,



Luis Javier Andrango Paucar

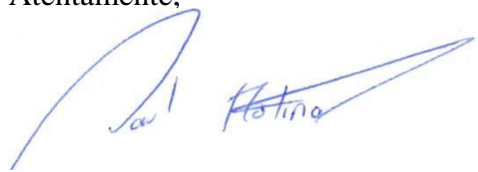
1726702556

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Paúl Andrés Molina Campoverde con documento de identificación N° 0104948104, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA JAULA DE SEGURIDAD PARA UN VEHICULO CHEVROLET VITARA CATEGORIA TODOTERRENO BAJO LA NORMATIVA DE LA FEDAK, realizado por Luis Javier Andrango Paucar con documento de identificación N° 1726702556, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 30 de julio del año 2024

Atentamente,



Ing. Paúl Andrés Molina Campoverde MSc.

0104948104

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a los pilares fundamentales de mi vida, mamá todo tu esfuerzo, tiempo y responsabilidad a lo largo de esta carrera dan sus frutos, siento orgullosa tus hijos han cumplido lo que un día te comentaron esos sueños, hoy se hace una realidad.

A mi hermano la persona que estaría detrás de mis objetivos apoyándome con las herramientas que él hubiese querido cuando estuvo en esta querida universidad, pues bien, merecido Dios te mando para que seas mi hermanito mayor, tu hermanito el pequeño, el que te comentaba el millón de planes que tiene para comerse la vida, cumplió aquel sueño y hoy puedes verme culminar esta bonita carrera.

A mi abuelito por ser la persona que nunca decía no y me decías vamos mijo, yo te ayudo vamos mijo yo te apoyo aun sin saber de qué se trataba.

A mi abuelita a mi Mijita la que me llevaba como llaverito a todos lados, a ti te debo el trabajar en lo que sea y a la hora que sea inclusive descuidando tu salud para que tu nieto al que cuando le pasaba algo tú lo atendías, al que cuando algo quería y él no tenía tú me patrocinabas con las palabras “¡mijito si no tienes! cogerás de donde ya sabes, pero no dirás a nadie”.

Dios siempre me ha dado lo que le he pedido, en su tiempo todo se ha dado, muestra de su generosidad me dio a una compañera fiel un poco distantes por nuestras carreras, pero ahí estabas recordándome el potencial para hacer posible y superar cada obstáculo que presentaba, a ti por ser cómplice de mis proyectos, fuiste y siempre serás mi amor eterno.

Con lágrimas en los ojos escribo esta dedicatoria a mi papá, la persona por la cual me enamore de esta linda carrera, la cual me enseñó que a pesar de los tropiezos te levantabas nuevamente como si nada y lo vuelves a intentar, tu pequeño hijo todos los días cuando amanece pide por su padre al que siempre le hace falta los 365 días, pues tu trabajo siempre te ha mantenido lejos, recuerdas la última vez que te pedí algo.? No verdad.! Pues sabias el día exacto que lo necesitaba y me llamabas diciéndome mi hijo ya está, harás bien las cosas, tú ya sabes que hacer.

Llevo tu nombre y apellido como nuestro angelito “abuelito papa lucho” sé que desde arriba estará feliz de que su hijo a cumplido, pues el día de hoy gracias a tu trabajo de padre responsable puedo darte esa alegría, esa satisfacción, esa felicidad pues tu hijo la plantita que hace 26 años sembraste hoy empieza florecer, quiero que sepas papá que esto lo hice solo por ti y para ti, este título es una prueba más que solo se llega rápido y acompañado de todos ustedes, en conjunto de mis distinguidos maestros se llega muy lejos.

Todos me han dado tanto que me siento la persona más afortunada de este mundo, sin duda hoy soy el hombre más feliz de la vida por tener a todas estas personas tan maravillosas, que Dios y la Virgencita María Auxiliadora les dé con creces lo que usted me han brindado.

Luis Javier

AGRADECIMIENTO

Mis eternos agradecimientos a mi tutor por haberme guiado en este camino universitario, por sus consejos que me han ayudado a seguir adelante en especial desde mi primer tropiezo, creyendo siempre en mí, agradecido por todas las enseñanzas que ahora dan sus frutos con este último paso, por confiar desde el primer día su fiel estudiante, compañero y amigo...

Luis Javier

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
PROBLEMA	3
OBJETIVOS.....	6
Objetivo General	6
Objetivos Específicos	6
CAPITULO I.....	7
MARCO TEÓRICO	7
1.1. Análisis del diseño de jaulas de seguridad.....	7
1.2. Estructura de una jaula de seguridad	9
1.3. Normativas de seguridad	17
1.3.1. Normativa FIA.....	17
1.3.2. Normativa FEDAK.....	19
1.4. Comparativas de jaulas de seguridad según sus anclajes.....	20
1.5. Tipos de refuerzo lateral	22
CAPÍTULO II.....	25
ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES MATERIALES DISPONIBLES LOCALMENTE.....	25
2.1. Restricciones de construcción.....	25
2.1. Materiales.....	25
2.1.1. Acero E 255.....	26
2.1.2. Acero SAE 1040.....	27
2.1.3. Acero AISI 4130.....	28
2.1.3.1. Acero al carbono A36	29
2.1.4. Acero SAE 1008.....	30
2.5.1. Configuración de la etapa	41
CAPÍTULO III	46

3.1.	Diseño preliminar de la estructura tubular.....	46
3.2.	Dimensionamiento de la estructura.....	46
3.3.	Configuración geométrica.....	48
3.3.1.	Diseño con refuerzos en V.....	50
3.3.2.	Diseño con refuerzos en X.....	50
3.4.	Análisis de costos.....	51
3.4.1.	<i>Costos de materiales directos</i>	52
CAPITULO IV		55
4.1.	Condiciones de contorno.....	55
4.2.	Modelo con refuerzos en X bajo simulación estática	55
4.3.	Modelo con refuerzos en V bajo simulación estática	59
4.4.	Comparación de resultados.....	63
CONCLUSIONES.....		68
RECOMENDACIONES		69
BIBLIOGRAFÍA		70
ANEXOS Planos		72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Vitara en Rally Nacional 2023.....	1
Figura 2: Jaulas antivuelco	2
Figura 3: Estructura de una jaula de seguridad	8
Figura 4: Jaula de seguridad usada actualmente	9
Figura 5: Arco principal	10
Figura 6: Arco delantero	11
Figura 7: Arco lateral	11
Figura 8: Semi arco lateral	12
Figura 9: Tirante longitudinal	12
Figura 10: Tirante diagonal fijo	13
Figura 11: Tirante desmontable de la parte frontal	13
Figura 12: Refuerzos comunes en una jaula de seguridad de un vehículo de rally.....	14
Figura 13: Refuerzo más utilizado en jaulas de seguridad.....	14
Figura 14: Pie de anclaje de tirante trasero	15
Figura 15: Placa de refuerzo fijada a la carrocería.....	15
Figura 16: Cartela en refuerzos laterales.....	16
Figura 17: Refuerzo para ángulos, dibujo 253-34.....	16
Figura 18: Estructura básica opcion1 de una jaula de seguridad	17
Figura 19: Estructura básica opción 2 de jaula de seguridad	18
Figura 20: Estructura básica opción 3 de jaula de seguridad	18

Figura 21: Miembros diagonales según su disposición.....	19
Figura 22: Jaula de seguridad con 6 puntos de anclaje	21
Figura 23: Jaula de seguridad de 8 puntos de anclaje	21
Figura 24: Tipo de jaula más utilizada	22
Figura 25: Refuerzos laterales más utilizados	23
Figura 26: Conexión desmontable fijada a carrocería.....	24
Figura 27: Tubo redondo 1½ de acero E255	26
Figura 28: Jaula de seguridad hecha con tubos de Acero 1040	27
Figura 29: Tubo de acero 1008	30
Figura 30: Software de selección de materiales Ansys Granta EduPack.....	32
Figura 31: Data bases nivel avanzado Granta	32
Figura 32: Gráfica de materiales disponibles en el software.....	33
Figura 33: Niveles de materiales	34
Figura 34: Descripción de etapas de selección.....	35
Figura 35: Descripción de etapas de selección.....	35
Figura 36: Etapa Pasa/ No pasa.....	36
Figura 37: Selección de materiales.....	36
Figura 38: Resultado de materiales coincidentes	37
Figura 39: Materiales que han llevado a la etapa final para ser seleccionados	40
Figura 40: Configuración de las etapas para registro de materiales.....	41
Figura 41: Registro de materiales.....	41

Figura 42: Composición de aceros seleccionados	41
Figura 43: Definición de propiedades de ejes	42
Figura 44: Materiales seleccionados para la simulación	42
Figura 45: Material ASTM A36	43
Figura 46: Material AISI 4130 annealed	44
Figura 47: Gráfica descriptiva de materiales en relación con el módulo de Young y la densidad del material	44
Figura 48: Vista isométrica de modelo base de Jaula de seguridad	46
Figura 49: Vista superior	47
Figura 50: Vista Frontal	47
Figura 51: Vista Lateral	48
Figura 52: Configuración geométrica	48
Figura 53: Dimensionamiento vista frontal	49
Figura 54: Dimensionamiento vista lateral	49
Figura 55: Dimensionamiento vista superior	49
Figura 56: Partes de la estructura con refuerzos en V	50
Figura 57: Partes de la estructura con refuerzos en X	50
Figura 58: Parámetros de simulación de peso de estructura calculados por el software....	51
Figura 59: Condiciones de contorno de jaula de seguridad según refuerzos	55
Figura 60: Disposición de plancha, inclinación y altura	57
Figura 61: Condiciones de contorno de jaula de seguridad según refuerzos	59
Figura 62: Jaula de seguridad con refuerzos en V	59

Figura 63: Simulación en arco principal de jaula de seguridad con refuerzos en V	60
Figura 64: Simulación en tubo lateral superior de la jaula de seguridad con refuerzos en V.	61
Figura 65: Simulación en arco posterior de la jaula de seguridad con refuerzos en V	62
Figura 66: Simulación en parante lateral del arco posterior de la jaula de seguridad con refuerzos en V.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Materiales estipulados en la normativa FIA.....	25
Tabla 2: Propiedades químicas del acero E255	26
Tabla 3: Propiedades mecánicas del acero E255.....	26
Tabla 4: Propiedades químicas del acero SAE 1040	27
Tabla 5: Composición mecánica del material SAE 1040.....	28
Tabla 6: Propiedades químicas del acero AISI 4130.....	28
Tabla 7: Propiedades mecánica del material AISI 4130.....	29
Tabla 8: Propiedades químicas del acero ASTM A36.....	29
Tabla 9: Propiedades mecánicas del acero ASTM A36	30
Tabla 10: Propiedades químicas del acero SAE 1008.....	31
Tabla 11: Propiedades mecánicas del acero SAE 1008.....	31
Tabla 12: Porcentajes de aceros finalistas	39
Tabla 13: Índices y requerimientos de los materiales especificados bajo Norma	40
Tabla 14: Datos de tubo utilizado A36.....	52
Tabla 15: Datos de costos de tubo utilizado	52
Tabla 16: Datos de tubo utilizado AISI 4130.....	52
Tabla 17: Datos de costos de tubo utilizado	53
Tabla 18: Costos de corte de tubería redondo en acero negro.....	53
Tabla 19: Costos de soldadura de estructura	54
Tabla 20: Comparación de resultados	66

RESUMEN

Una jaula de seguridad de un vehículo es el sistema más importante ya que salvaguardara la integridad de todos sus ocupantes ante un accidente dentro de las competencias para la cual estos vehículos fueron desarrollados, como tal la correcta selección del vehículo con un dimensionando estructural adecuado el cual permita hacer modificaciones en su carrocería para el aligeramiento de este y garantice un correcto espacio para el montaje e instalación de este sistema.

La importancia del estudio en la selección de materiales para obtener los materiales adecuados para su construcción no puede ser subestimada el cual fue seleccionado bajo el cumplimiento de la normativa para garantizar durabilidad, integridad estructural, optimización de peso, estos factores juntos aseguran el bienestar de los ocupantes el cual mediante el uso del software de diseño se obtiene y se corrobora que cumple con los factores de seguridad para ser utilizado en este proyecto de estudio.

ABSTRACT

A vehicle safety cage is the most important system since it will safeguard the integrity of all its occupants in the event of an accident within the competitions for which these vehicles were developed, as such the correct selection of the vehicle with an adequate structural dimensioning which allows modifications to be made to its bodywork to lighten it and guarantee the correct space for the assembly and installation of this system.

The importance of the study in the selection of materials to obtain the appropriate materials for its construction cannot be underestimated, which was selected under the compliance of the regulations to ensure durability, structural integrity, weight optimization, these factors together ensure the welfare of the occupants which through the use of the design software is obtained and corroborated that meets the safety factors to be used in this study project.

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios del automóvil este siempre estuvo sujeto a cambios los cuales se veían en la mejorado en sus prestaciones, los investigadores de la época enfocaban sus esfuerzos en desarrollar mejoras al vehículo para hacerlo más eficiente cuyas características de mejoras las vemos con los ingenieros en la actualidad donde se dedica gran parte de tiempo y capital económico en desarrollo automotriz y de esta manera sobresalir frente a su competencia.

De esta manera, acorde a lo mencionado en el párrafo anterior, se ha planteado como punto de partida de la investigación el tema de seguridad de los vehículos para un segmento que está cada vez en auge como lo es las competencias de vehículos, donde se ha visto reflejado en las mejoras de este deporte se realizan únicamente cuando algo falla u ocurre un accidente donde hay pérdidas que lamentar, con este estudio de diseño se pretende dejar una base del desarrollo de seguridad en los vehículos de la categoría todo terreno del Ecuador con el fin de que este deporte continúe con su crecimiento y en un futuro más personas se puedan integrar a este gran deporte del automovilismo (Ponce Jaramillo, 2016).

Figura 1: Vitara en Rally Nacional 2023



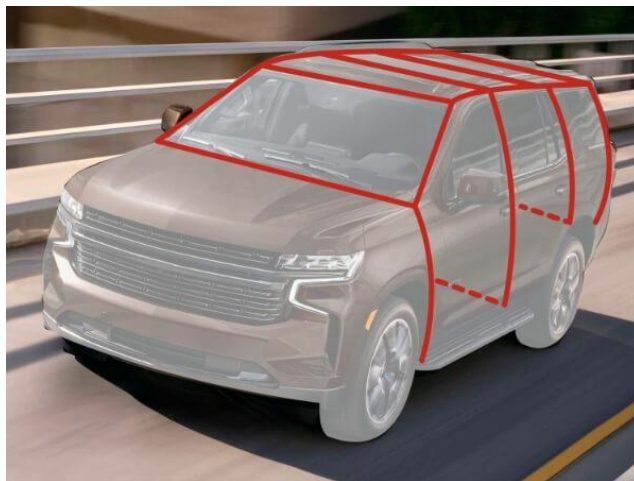
Carro Vitara 4X4 en competencia

Hay que considerar que respecto a las estructuras vehiculares que sirven de protección y seguridad personal ante eventualidades más que todo en carreras de alta exigencia por parte de los automotores ya se ha venido planteando, estableciendo mejoras en ellos a través de normativas internacionales por lo que esto ya ha sido material de estudio durante muchos años. Los aspectos que predominan en este tipo de arreglos automovilísticos es la

funcionalidad y seguridad que bridan evaluando criterios, uno de ellos y el más importante son las cargas de impacto y las fuerzas que será distribuidas en toda su estructura ante un siniestro (Fragassa et al., 2020).

Como menciona (Albert Morales Chover, 2017) una estructura de seguridad se denomina a la armadura de protección que se compone por una serie de tubos huecos hechos de perfil metálico que se unen entre sí a través de procesos de aporte de material cuyo sostén va a ser el chasis del vehículo mediante puntos clave de anclaje ya sea este por medio de procesos de aporte de material o de uniones roscadas. Su función principal es la absorción de impactos ya sean en vehículos de turismo orientados a competición o también hacia vehículos netamente de competición en carreras de obstáculos y condiciones extremas.

Figura 2: Jaulas antivuelco



Representación de jaula antivuelco, Fuente: (PROTEMAX, 2022)

El proyecto constará de 4 capítulos cuya base es el marco teórico donde se definirán los términos correspondientes a temas automovilísticos, resistencia de materiales y definición básico de los materiales a ser utilizados para la fabricación de una jaula de seguridad. En el segundo capítulo será abordado el tema metodológico donde se dará una breve explicación de los materiales a ser utilizados y la composición de cada uno de ellos siendo más específicos en su presentación. En el tercer capítulo se presentará el trabajo clave para demostración mediante análisis de cargas en la jaula de seguridad propuesta mediante simulación en el programa SolidWorks. El cuarto capítulo se enfocará el estudio de los

resultados obtenidos de manera descriptiva para luego de esto presentar las conclusiones y recomendaciones de ser el caso.

PROBLEMA

Diferentes tipos de competencias existen en el Ecuador con variables en sus modalidades de competencia para todas las categorías como son Rain Forest Challenge, Vuelta a la República, Campeonato Nacional de Rally, Baja Amazónica, 4X4 aficionado entre otros. En las que el uso de vehículos modificados deberá ejecutar previamente la reglamentación que se enfoca en la parte mecánica del vehículo como en la seguridad de la tripulación.

Los diferentes tipos de sistemas de seguridad utilizados para asegurar la integridad de la tripulación siendo una de las más importantes es el roll cage o comúnmente como jaula de seguridad que en el momento en que el vehículo se voltea, esta evita que el conductor o los tripulantes queden atrapados dentro de la carrocería. El diseño de la jaula de seguridad previamente escogida proporcionara una resistencia adicional al marco de la carrocería del vehículo de esta manera proporcionando una mayor seguridad estructural viéndose reflejado en la seguridad integral de sus ocupantes. (Cárdenas, 2015).

Uno de los vehículos más conocido a nivel nacional y utilizado en este tipo de competencias es el vehículo Chevrolet Vitara, siendo este modelo de vehículo que será objeto base para para este tema de investigación se considerará el modelo Vitara 3 puertas, el cual es uno de los vehículos off road más fáciles de dar mantenimiento debido a su diseño robusto, su tracción en las cuatro ruedas, teniendo unos ventajosos ángulos de entrada y de salida obteniendo así una conducción fácil a la hora de sortear obstáculos y maniobrar en terrenos fuera de carretera, así como su durabilidad y fiabilidad ante los distintos relieves de la región.

Dado que en todo momento lo primordial es mantener y garantizar la integridad de la tripulación mediante el correcto uso de la norma se pretende diseñar una jaula de seguridad con un modelo base para esta categoría todoterreno que pueda ser usado de punto de partida para este tipo de vehículos. En la que se compararán los diferentes materiales obtenidos mediante el estudio de requerimientos para la fabricación de esta estructura de seguridad a nivel local, se analizarán diferentes modelos de configuraciones en el diseño con cargas que

se asemejen a un volcamiento en la vida real para así estar en cumplimiento la normativa del Reglamento Nacional Técnico y de Seguridad de la FEDAK.

Para finalizar, se propondrá el mejor diseño para una correcta fabricación de este sistema de seguridad, considerando el tipo de material con mejores características disponible a nivel local , donde el montaje de esta estructura no comprometa el ingreso y salida de la tripulación, el factor seguridad requerido para este caso de estudio deberá siempre superar el valor mínimo y presentar resistencia a los distintos casos de simulación, costos de fabricación, peso de la estructura, entre otros factores que en conjunto llevan a satisfacer los requerimientos para poder participar en los distintos tipos de competencias, según la normativa establecida por la FEDAK (FEDAK, 2022).

Delimitación del problema

En el Ecuador las competencias de automovilismo se han incrementado en los últimos años, este tipo de competencias a dado paso a carreras de campeonatos nacionales que son realizadas en diferentes provincias del país siendo estas las que llevan su distintivo nombre siendo las más conocidas Baja Manta Enduro Rally, Terra playas, Baja Quinindé; Baja Pedernales, Baja amazónicas y otras (Cárdenas, 2015).

En los dos últimos años los participantes de los rallies han incrementado sus participaciones como lo es el RALLY CATAMAYO campeonato rally del sur que contó con la participación de 89 participantes inscritos.

En las provincias de Ambato se desarrolla uno de los campeonatos más nombrados como lo es el Campeonato de Rally Fiesta de la Fruta y de las flores, ya que este evento hace referencia a la primera válida del campeonato nacional del año 2022 donde la afluencia de espectadores es muy alta y conlleva a todos los participantes cumplir el reglamento interno del rally nacional con el fin de salvaguardar la integridad física de los participantes de este gran evento (FEDAK, 2022).

El rally nacional se realiza por etapas y son circuitos cronometrados realizados en ciertas provincias del Ecuador, para que los vehículos participen en estos circuitos deben cumplir requisitos, siendo el REGLAMENTO NACIONAL DEPORTIVO DE RALLY donde constan los vehículos admitidos y el reglamento nacional técnico y de seguridad actual para cada vehículo (FEDAK, 2022).

Para la categoría todo terreno la federación ecuatoriana de automovilismo y kartismo deportivo FEDAK con su reglamento de técnico de seguridad para rallies todo terreno detalla la categoría y el tipo de vehículos admitidos donde consta cada parámetro en temas de seguridad para la participación de este.

OBJETIVOS

Objetivo General.

- Diseñar una jaula de seguridad para un vehículo Chevrolet Vitara bajo la normativa de la FEDAK

Objetivos Específicos.

- Estudiar los diferentes diseños usados en la bibliografía para la construcción de jaulas de seguridad para vehículos tipo Jeep.
- Realizar un análisis comparativo entre los distintos materiales disponibles a nivel local.
- Analizar y establecer los costos de fabricación de la estructura diseñada.
- Análisis de datos de esfuerzos y deformaciones en diferentes escenarios mediante la aplicación de software.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

Las jaulas de seguridad para vehículos de competencia, también conocidas como jaulas antivuelco, son estructuras metálicas diseñadas para proteger a los ocupantes de un vehículo en caso de un accidente que involucre un vuelco o impacto lateral. Estas jaulas se utilizan en el automovilismo deportivo, como competencias de rally, carreras de drifting, carreras de resistencia y circuitos.

El diseño de una jaula de seguridad para vehículos de competencia requiere un cuidadoso diseño y una atención meticulosa a los detalles. La jaula debe ser diseñada con materiales de alta calidad y ser capaz de soportar el peso del vehículo en caso de un accidente, así como de absorber la energía del impacto.

Además, la jaula debe cumplir con los estándares de seguridad específicos de la competición en la que se utilizará el vehículo, considerando que el diseño varía según el año de fabricación y el tipo de categoría correspondiente. Esto puede implicar cumplir con los requisitos de una organización de carreras específica, o cumplir con las normas de seguridad de la FIA (Federación Internacional del Automóvil), que establece los estándares para la seguridad en el deporte del motor.

Algunas de las características comunes que se encuentran en las jaulas de seguridad para vehículos de competencia incluyen:

- Tubos de acero soldados que forman una estructura rígida alrededor del habitáculo del conductor.
- Barras diagonales adicionales que refuerzan la estructura y proporcionan una mayor protección en caso de un impacto.
- Soportes de montaje que se sujetan al chasis del vehículo para proporcionar una conexión segura y estable.
- Placas de refuerzo que se utilizan para fortalecer los puntos de fijación de la jaula.
- Puntos de anclaje para los cinturones de seguridad, que permiten que los ocupantes del vehículo estén asegurados de manera efectiva.

1.1. Análisis del diseño de jaulas de seguridad

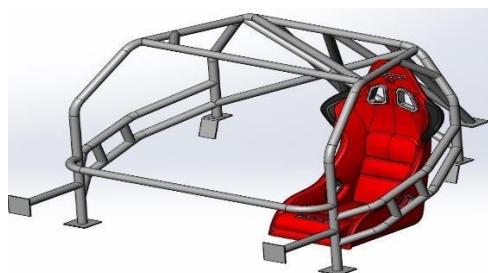
La jaula de seguridad o más conocida como jaula antivuelco es uno de los elementos de seguridad más importantes que garantizan la protección de los tripulantes del automotor y en particular de vehículos tipo rally. Este sistema de seguridad generalmente es un configuración de tubos metálicos unidos por soldadura entre sí y construida dentro del habitáculo del vehículo con el fin de proteger en todo momento a la tripulación en un eventual volcamiento o accidente, especialmente esto ocurre por la distinta topografía que existente en las 3 regiones del país, por tal motivo esta estructura debe diseñarse de forma que absorba la energía cinética que se produce durante un impacto, reduciendo el riesgo de lesiones para la tripulación (Pardo, 2006).

Esta estructura ha tenido un desarrollo significativo desde sus inicios y en la actualidad sus diseños son optimizados para elevar la seguridad de los vehículos y haciéndolos resistentes y seguros para el interior de la tripulación, por tal motivo para la correcta fabricación de estas jaulas de seguridad se usan tubos de acero con un índice de resistencia alto que suelen soldarse al monocasco o atornillarse entre sí de esta forma se generen arcos, que a su vez se sueldan o atornillan al chasis siendo la soldadura el métodos más utilizado en la actualidad. Cuando un vehículo vuelca o sufre un impacto que compromete la chapa metálica del vehículo producto de esto ceda y se deforme a tal punto que no permita la correcta salida del vehículo dejarlo a la tripulación atrapados (GoodYear, 2021).

Por este motivo es necesario cumplir con las normas que rigen estas estructuras para garantizar el diseño y construcción para que puedan ser ocupadas en los distintos vehículos que se usan para este deporte, garantizando en todo momento la integridad de la tripulación.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo clásico de una jaula de seguridad para este tipo de vehículos.

Figura 3: Estructura de una jaula de seguridad



Diseño de estructura típica de jaula de seguridad, Fuente: (GoodYear, 2021)

La jaula de seguridad dentro de las competencias es de extrema utilidad, porque es lo suficientemente rígida para soportar el impacto y, a la vez, lo necesariamente flexible para disipar la energía en el momento de la colisión lejos de la tripulación. Este tipo de armazón se emplea en competencias mundialmente conocidas como el WRC, el WEC o la famosa competencia de NASCAR (Parikh, 2017).

La jaula de seguridad usada en la actualidad brinda mayor protección al soportar mayores cargas estas jaulas han sido mejoradas con el pasar de los años gracias al estudio y análisis de la ingeniería en este campo del automovilismo como se aprecia una jaula típica usada en el rally a nivel mundial en vehículos todo terreno como se aprecia en la Figura 4 (Parikh, 2017).

Figura 4: Jaula de seguridad usada actualmente

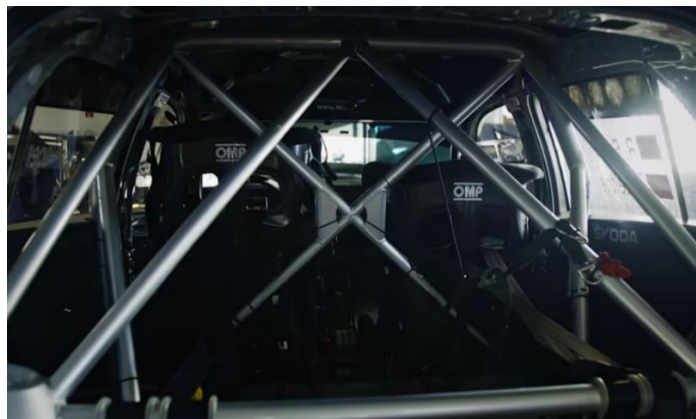


Imagen descriptiva de jaula de seguridad, Fuente: (Parikh, 2017)

Este elemento de seguridad requerido y obligatorio en competencias automovilísticas alrededor del mundo puede ser instalado de forma particular, sin embargo, estos elementos utilizados en los deportes de competición tienen que contar con una certificación o homologación por un organismo responsable que cumple con una serie de requisitos estipulados en un reglamento.

1.2. Estructura de una jaula de seguridad

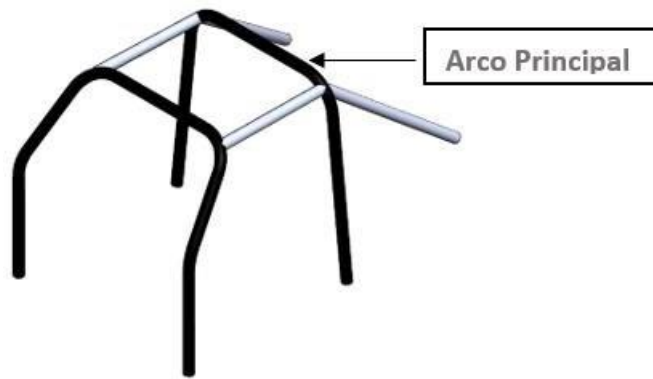
Las jaulas de seguridad para vehículos de competencia se construyen generalmente con tubos de acero de alta resistencia soldados entre sí para obtener una estructura rígida y resistente. La forma y la disposición de los tubos varían según el diseño y la aplicación

específicos, pero algunas de las estructuras comunes que se utilizan en la construcción de jaulas de seguridad incluyen:

Arco principal

Esta estructura con disposición vertical es constituida por un arco tubular conformado de una sola pieza con un porcentaje de inclinación previamente establecido, situado en un plano transversal del vehículo base, ubicada detrás de los asientos delanteros. El eje del tubo debe ser plano con respecto al piso o plataforma del vehículo como se puede visualizar en la Figura 5.

Figura 5: Arco principal

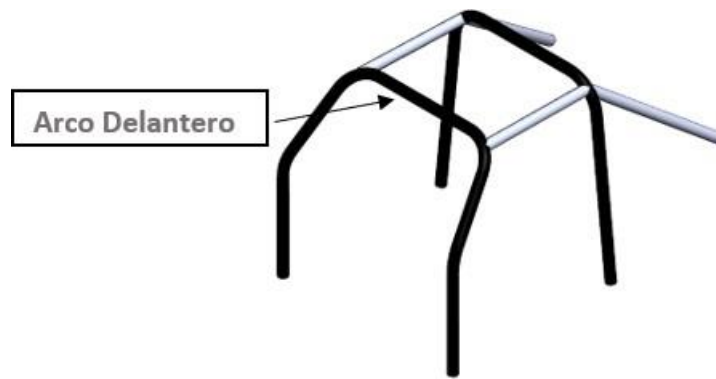


Arco principal

Arco delantero

Similar al arco principal pero su forma sigue los montantes y el borde superior del parabrisas como se ve en la Figura 6.

Figura 6: Arco delantero

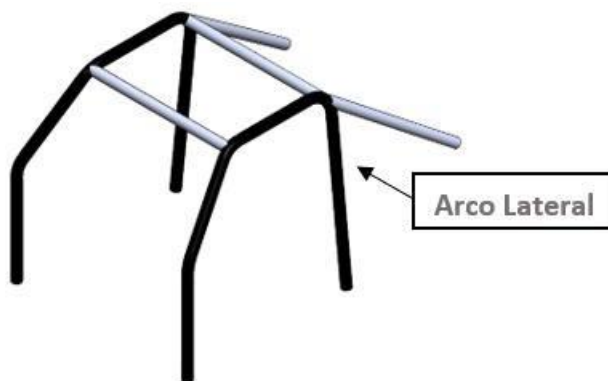


Arco delantero

Arco lateral

Estructura casi longitudinal y prácticamente vertical constituida por un arco tubular de una sola pieza, situado a lo largo de la parte derecha o izquierda del vehículo, siguiendo el pilar delantero del mismo el montante del parabrisas, y los montantes traseros siendo casi verticales y estando justo detrás de los asientos delanteros. El montante trasero debe ser rectilíneo en vista lateral, como se observa en la Figura 7.

Figura 7: Arco lateral

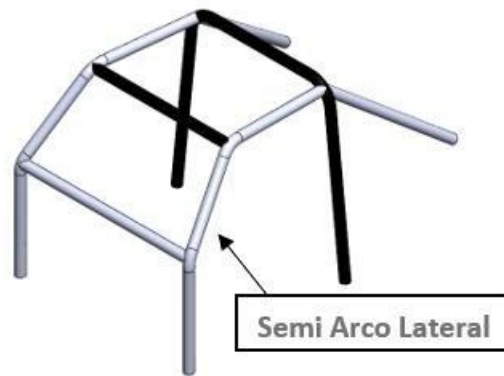


Arco lateral

Semi arco lateral

Idéntico al arco lateral, pero sin el pilar trasero, como se puede observar en la Figura 8.

Figura 8: Semi arco lateral

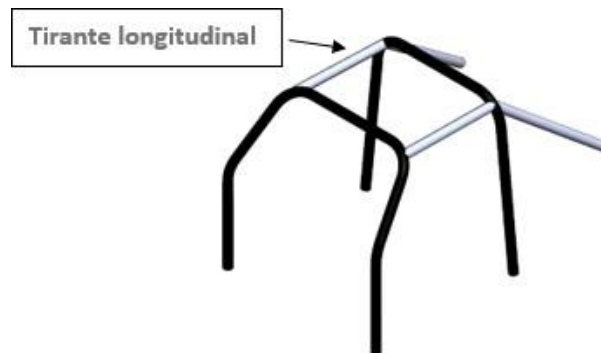


Semi arco lateral

Tirante longitudinal

Tubo casi longitudinal de una única pieza uniendo las partes superiores del arco principal y delantero como se aprecia en la Figura 9.

Figura 9: Tirante longitudinal



Tirante longitudinal

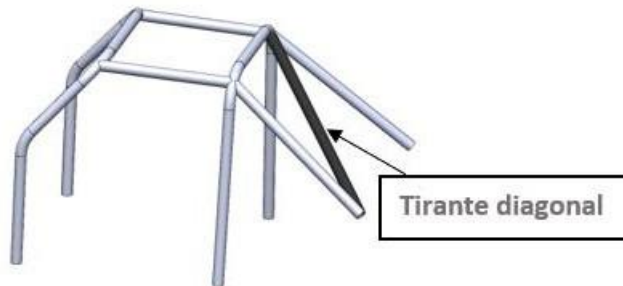
Tirante transversal

Tubo semi transversal de una única pieza que une los miembros superiores de los arcos o semiarcos laterales.

Tirante diagonal

Un tubo transversal entre una de las esquinas superiores del arco principal, o uno de los extremos del espejo de popa si es arco lateral, y el anclaje inferior del arco opuesto o El extremo superior de un soporte trasero y el punto de fijación inferior del otro soporte trasero. cómo se observa en la Figura 10.

Figura 10: Tirante diagonal fijo



Tirante diagonal

Tirantes desmontables

Miembros estructurales de una estructura de seguridad que se pueden desmontar como se observa en la Figura 11.

Figura 11: Tirante desmontable de la parte frontal



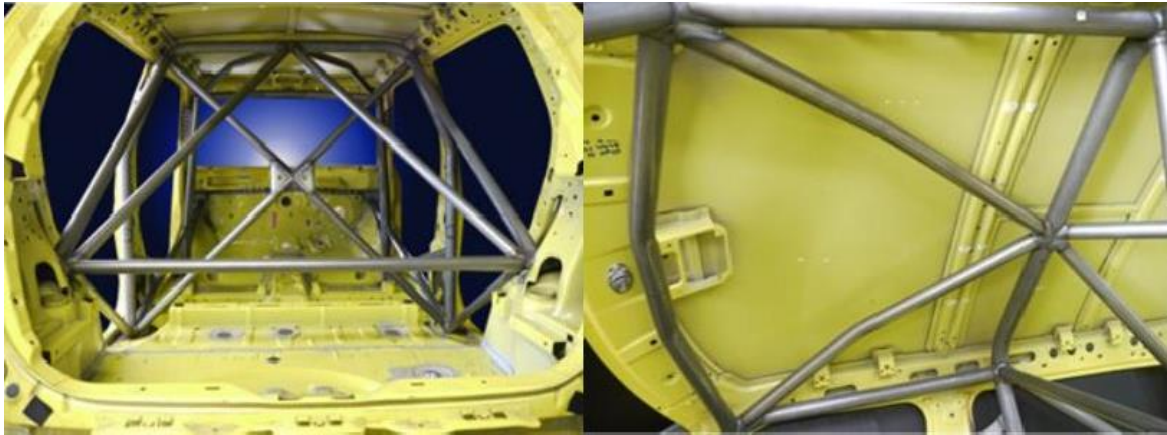
Tirante desmontable parte frontal

Refuerzos principales

Como se aprecia en la Figura 12 a), representa las dos diagonales del arco principal dicha esta sección es requerida e indispensable en las estructuras de jaula de seguridad y se

caracteriza por llevar una cartela (refuerzo) en la parte superior y una carleta inferior en la mitad de estas diagonales, mientras que la Figura 12 b) lleva los mismos refuerzos sin requerimiento de las cartelas por ser una zona donde los esfuerzos están mejor distribuidos.

Figura 12: Refuerzos comunes en una jaula de seguridad de un vehículo de rally



a) Diagonales del arco principal

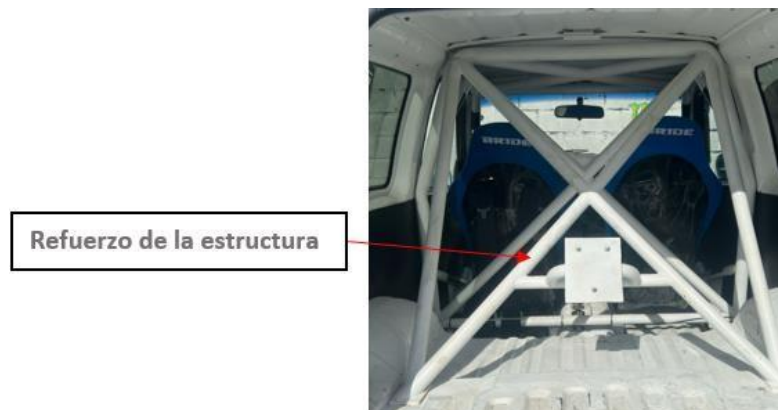
b) Diagonales del arco sin cartela

Refuerzos comunes en jaulas de seguridad, Fuente: (Parikh, 2017)

Refuerzo de la estructura

Miembro añadido a la estructura de seguridad para mejorar su resistencia, uno de los más comunes es como el que se muestra en la Figura 13.

Figura 13: Refuerzo más utilizado en jaulas de seguridad



Jaula de seguridad

Pie de anclaje

Placa soldada al final de un tubo de la estructura para permitir su atornillado sobre la carrocería/chasis, generalmente sobre una placa de refuerzo. Esta placa puede ser soldada a la carrocería / chasis, además de los pernos como se aprecia en la Figura 14.

Figura 14: Pie de anclaje de tirante trasero



Pie de anclaje

Placa de refuerzo

Placa metálica fijada a la carrocería/chasis debajo de un pie de anclaje de un arco para repartir mejor la carga sobre la carrocería/chasis, como se aprecia en la Figura 15.

Figura 15: Placa de refuerzo fijada a la carrocería



Placa de refuerzo

Cartela

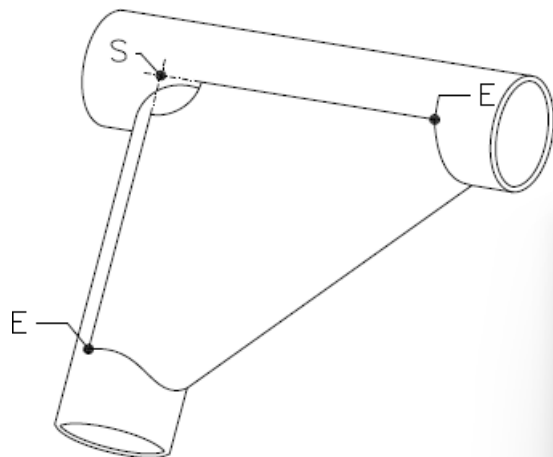
Refuerzo para un ángulo o unión hecho de chapa doblada en forma de U de espesor no inferior a 1,0 mm como se aprecian en la Figura 16 y 17.

Figura 16: Cartela en refuerzos laterales



Cartela en refuerzos laterales

Figura 17: Refuerzo para ángulos, dibujo 253-34



Refuerzo para ángulos, Fuente: (FIA, 2016)

Los extremos de dicha cartela (punto E) deben estar situados a una distancia del punto superior del ángulo (punto S) de 2 a 4 veces el diámetro exterior del tubo mayor de los unidos.

Se permite un corte en la parte superior del ángulo (R) pero su radio no debe ser mayor de 1,5 veces el diámetro exterior del tubo mayor de los unidos. El lado plano de la cartela puede tener un agujero cuyo diámetro no debe ser más grande que el diámetro exterior del tubo mayor de los unidos.

1.3. Normativas de seguridad

Cabe mencionar que las diferentes normas de seguridad establecidas en este proyecto van dirigidas hacia el diseño y construcción de jaulas siempre precautelando cumplir estándares internacionales que son adaptados a la normativa local para su mejor aplicación en el ámbito automovilístico, hay criterios que cambian de manera básica pero su esencia sigue siendo la misma.

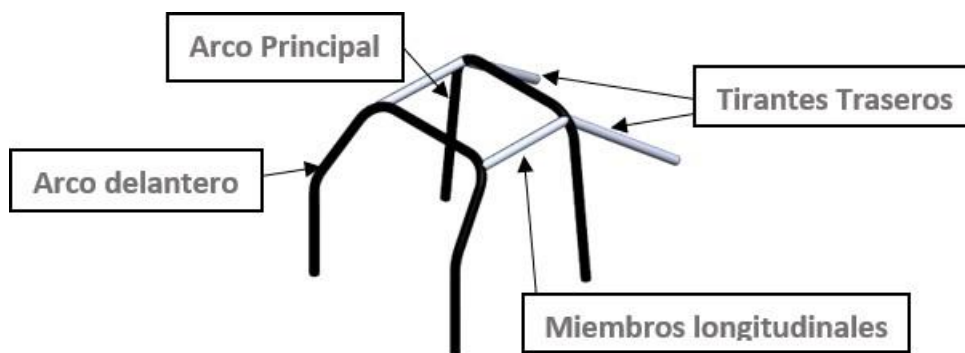
1.3.1. Normativa FIA

El diseño de las jaulas de seguridad actualmente está regulado por la FIA (Federación internacional de automovilismo), en función de este reglamento se derivan una serie de normativas de diseño, que cada país adopta y aplica según sus exigencias, para este proyecto técnico se basa el reglamento del Anexo J el cual estipula el diseño base según el año de fabricación del vehículo y además por cada homologación contempla una serie de diseños que a continuación cada apartado detallara por partes con el fin de terminar un modelo final.

Estructura básica

La estructura básica se adecua según los requerimientos mostrando 3 tipos de opciones los cuales pueden ser adoptados según los requerimientos de los distintos tipos de competencias, estas estructuras presentan los requerimientos mínimos para las distintas modalidades de Rally en Ecuador. Las jaulas deben estar conformadas con las siguientes secciones: 2 arcos uno principal y otro secundario, adicional 2 miembros longitudinales y 2 tirantes traseros, todas las estructuras deben llevar pies de anclaje, mínimo 6 como se aprecia en la opción 1 representada en la Figura 18.

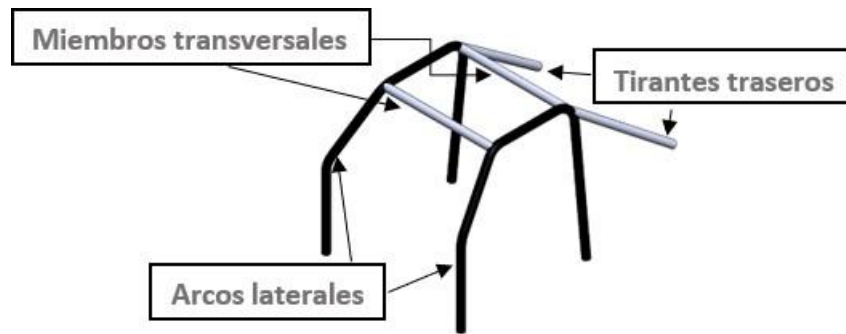
Figura 18: Estructura básica opcion1 de una jaula de seguridad



Opción 1 de jaula de seguridad

Para la segunda opción, la su estructura contiene 2 arcos laterales, 2 miembros transversales, 2 tirantes traseros, todas las estructuras deben llevar en sus pies de anclaje 6 puntos como mínimo (Ver Figura 19)

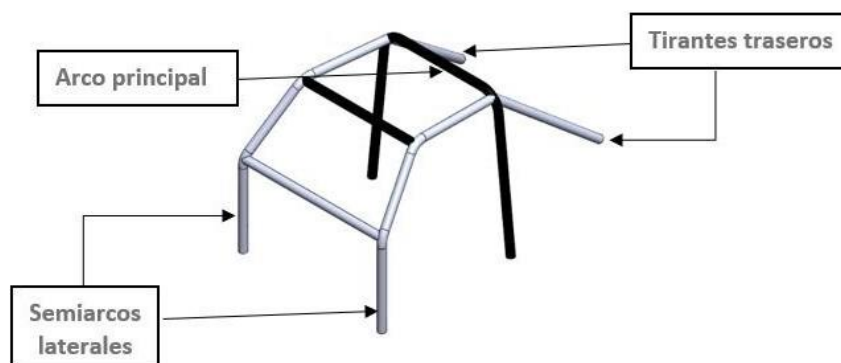
Figura 19: Estructura básica opción 2 de jaula de seguridad



Opción 2 de jaula de seguridad

Para la tercera opción la estructura contiene 1 arco principal, 2 semiarcos laterales, 1 miembro transversal, 2 tirantes traseros, todas las estructuras deben llevar 6 pies de anclaje como mínimo como se aprecia en la opción 3 de la Figura 20.

Figura 20: Estructura básica opción 3 de jaula de seguridad

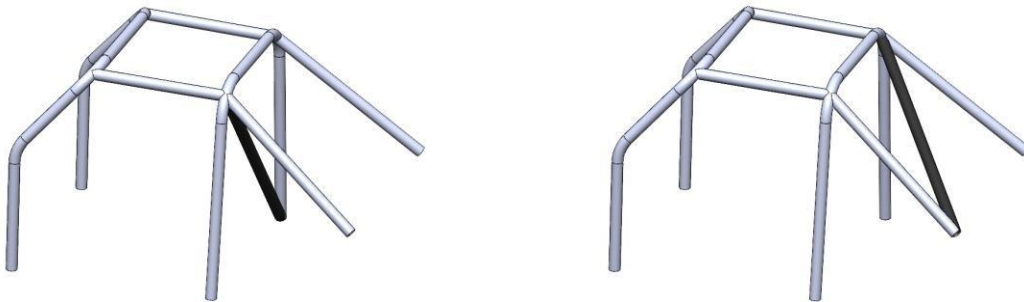


Opción 3 de jaula de seguridad

Miembro de refuerzo diagonal

La jaula debe tener uno de los miembros diagonales definidos por alguna de las opciones de la normativa como se observa en la Figura 21, para la selección de la disposición de este miembro diagonal es preciso adoptar la disposición que mejor se acople a los requerimientos del vehículo y la tripulación, en el caso de ambas figuras la orientación de este miembro puede invertirse teniendo en consideración la distancia entre los dos soportes en la carrocería la cual no debe ser superior a 300 mm.

Figura 21: Miembros diagonales según su disposición



a) Miembro diagonal longitudinal

b) miembro diagonal transversal

Disposición de miembros diagonales

Miembros desmontables

Si se utilizan elementos desmontables en la construcción de una jaula de seguridad, las juntas desmontables utilizadas deben cumplir con un tipo aprobado por la FIA.

No deben soldarse una vez ensamblados. Los tornillos y pernos deben tener una calidad mínima de 8.8 (norma ISO).

1.3.2. Normativa FEDAK

La máxima autoridad del automovilismo (FIA) dispone de su filial FEDAK para el automovilismo en ECUADOR, en la modalidad RALLY NACIONAL específicamente en competencias locales. Los requerimientos para el diseño y construcción de jaulas antivuelco requieren menos exigencias con respecto a la Federación Internacional de automovilismo, teniendo como reglamento base el anexo J, de la normativa de la FIA. El objetivo principal de este elemento de seguridad pasiva es salvaguardar la integridad de sus tripulantes.

Consideraciones claves de las normas

Los miembros de la estructura de las jaulas de seguridad son diseñados bajo una estructura base de acuerdo con la normativa vigente de la FIA los cuales ciertas partes de la estructura como arcos y bases de la estructura deben estar fijadas directamente con soldadura y no pueden ser piezas removibles.

En los miembros de refuerzos existen dos alternativas y pueden ser fijados de manera permanente o pueden ser removibles, estos miembros estructurales son adicionales según el tipo de regulación del tipo del vehículo y de la competencia, para el caso de los refuerzos removibles son fijados por pernos a la estructura y pueden ser dispuestos en diferentes configuraciones ya sea en competencias donde solo hay la participación del piloto y en otras más rigurosas donde exigen refuerzos para los dos tripulantes, dentro de las jaulas de seguridad los elementos y refuerzos son obligatorios donde ciertas configuraciones de refuerzos son opcionales que varían según el tipo de competencia donde vaya a desarrollarse. Toda jaula de seguridad debe ser homologada por la FIA según la normativa de regulación de jaulas de seguridad, con el de garantizar la estructura y que esta no pueda presentar un riesgo para el uso de esta estructura y de sus ocupantes.

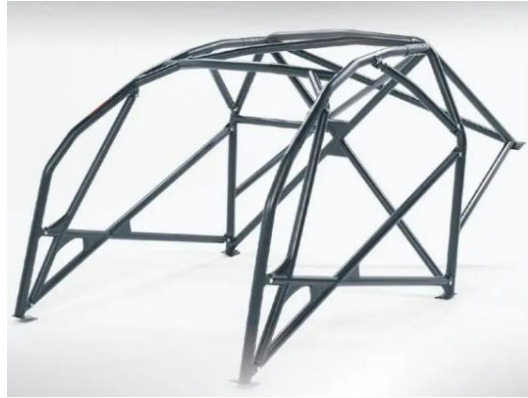
Los puntos de montaje mínimos son:

- Una placa de anclaje para cada montante del arco frontal
- Una placa de anclaje para cada pilar de arco lateral:
- Una placa de anclaje para cada montante del arco principal
- Una placa de anclaje para cada arco posterior.

1.4. Comparativas de jaulas de seguridad según sus anclajes.

Estructuras de jaula de seis puntos: esta estructura utiliza seis puntos de montaje para fijar la jaula al chasis del vehículo. Se compone de dos pilares verticales detrás del conductor, un par de diagonales que se extienden desde los pilares hacia el techo del vehículo, y una barra transversal que conecta los dos pilares detrás del asiento del conductor.

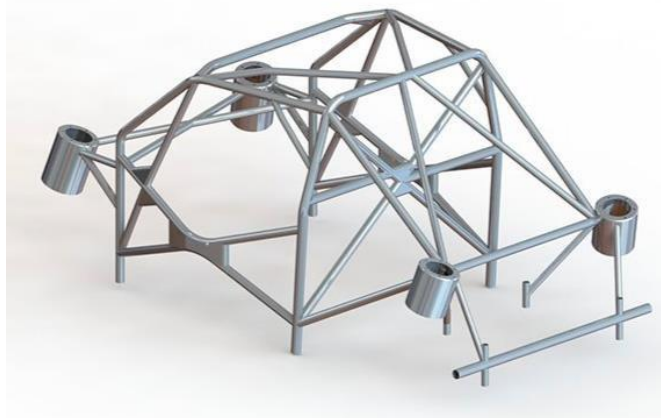
Figura 22: Jaula de seguridad con 6 puntos de anclaje



Jaula de seguridad con 6 puntos de anclaje, Fuente: (VILARIÑO, 2022)

Estructuras de jaula de ocho puntos: esta estructura utiliza ocho puntos de montaje para fijar la jaula al chasis del vehículo. Se compone de dos pilares verticales detrás del conductor, un par de diagonales que se extienden desde los pilares hacia el techo del vehículo, una barra transversal que conecta los dos pilares detrás del asiento del conductor, y dos barras diagonales adicionales que conectan la barra trasera con el chasis del vehículo (Martín, 2017).

Figura 23: Jaula de seguridad de 8 puntos de anclaje



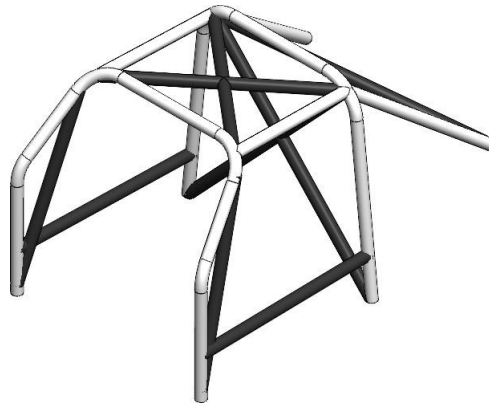
Jaula con 8 puntos de anclaje, Fuente: (VILARIÑO, 2022)

Estructuras de jaula de diez puntos o más: estas estructuras son más complejas y se utilizan en vehículos de competición de alta velocidad y alto rendimiento. Pueden incluir una variedad de barras y soportes adicionales, como barras laterales para proteger las puertas del vehículo y tubos de refuerzo adicionales para aumentar la resistencia y la rigidez de la jaula.

En el Ecuador con el máximo organismo del automovilismo FEDAK la cual con su normativa general estipula los términos a ser considerados a la hora de diseñar una jaula de seguridad para todo tipo de vehículo este varia en modelos según la categoría, donde los parámetros de la normativa se restringen según el tipo, modelo y año de fabricación de los diferentes vehículos que pueden ser o no ser utilizados en estas categorías, con el fin de garantizar una libre competencia con igualdad de condiciones siendo el fin de esta normativa la seguridad de los participantes y el público en general .

Con el cumplimiento de estas normas aplicadas se puede garantizar que las estructuras de seguridad serán las más apropiadas de acuerdo con las dimensiones de cada vehículo y cumplirán satisfactoriamente las exigencias requeridas antes las distintas eventualidades que pueden presentarse al desarrollarse este tipo de competencias siendo de esta manera la Figura 24 la estructura más utilizada en vehículos de las diferentes categorías.

Figura 24: Tipo de jaula más utilizada



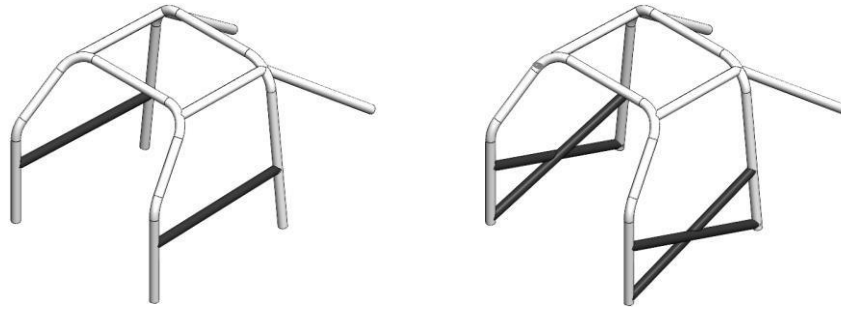
Muestra de jaula comúnmente utilizada

1.5. Tipos de refuerzo lateral

Las variantes en los tipos de jaulas de seguridad principalmente se enfocan los tipos de refuerzos siendo estos los que permite a la estructura acoplarse de mejor manera al tipo de competencia y al requerimiento de la tripulación, considerando que uno de los objetivos de

estos vehículos es aligerar el peso optimizando todos sus recursos y garantizar una seguridad adicional en el vehículo en todo momento, a continuación, se observa los refuerzos más utilizados en las estructuras de vehículos de rally en el Ecuador en como se aprecia en la Figura 25 (Martín, 2017).

Figura 25: Refuerzos laterales más utilizados



a) Refuerzo lateral diagonal

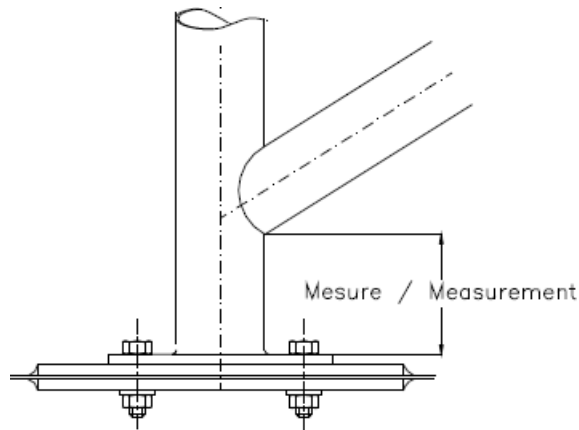
b) refuerzo lateral diagonal en X

Disposición de refuerzos laterales

Para lograr un montaje eficaz a la carrocería, se debe retirar la tapicería original del vehículo y reubicar elementos adicionales que impidan la fijación de los anclajes antes mencionados y de ser necesario hacer perforaciones en partes plásticas como lo es en el tablero de instrumentos siempre y cuando no comprometan la funcionalidad de este, en casos puntuales se puede reubicar cableados y ductos de ventilación (Martín, 2017).

Los miembros deben ser rectos y pueden ser removibles. El extremo superior de la diagonal debe unirse a la barra antivuelco principal a no más de 100 mm de su unión con el tirante trasero, o el tirante trasero a no más de 100 mm de su unión con la barra antivuelco principal, refiriéndose a la figura 25 para la medición.

Figura 26: Conexión desmontable fijada a carrocería



Disposición de la conexión desmontable, Fuente: (FIA, 2016)

El extremo inferior de la diagonal debe unirse a la barra antivuelco principal que va a la placa de refuerzo donde las dimensiones no más de 100 mm del pie de montaje (excepto en el caso del Dibujo 253-6).

Acotaciones del capítulo

El diseño de una jaula de seguridad para un vehículo Chevrolet Vitara de categoría todoterreno, en cumplimiento con las normativas establecidas por la FEDAK, se erige como un imperativo crucial en la actualidad automotriz. Con la creciente popularidad de los vehículos todoterreno y la consiguiente demanda de un rendimiento robusto en diversos terrenos, la seguridad se convierte en un aspecto prioritario. Este marco normativo no solo abarca la resistencia estructural de la jaula de seguridad, sino también consideraciones relacionadas con la absorción de energía, la distribución de impacto y la integración armoniosa con las características intrínsecas de cada vehículo.

CAPÍTULO II

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES MATERIALES DISPONIBLES LOCALMENTE

2.1. Restricciones de construcción

Para el estudio de materiales, construcción y diseños del roll bar a desarrollarse, se realiza una búsqueda basada en la normativa vigente en el país, relacionada a costos, proveedores y finalmente construcción.

Este diseño se basa en la normativa de la FEDAK donde declara que el peso total del vehículo debe ser inferior a 1361 kg, además la masa del vehículo Chevrolet Vitara es de 1285 kg por lo cual es usual que esta jaula se construya con tubo de acero de 1½ pulgadas y 2 pulgadas de diámetro y de 0.089 a 0.093 pulgadas de pared respectivamente para sus miembros principales como se puede ver en la Tabla 1.

Tabla 1: Materiales estipulados en la normativa FIA

Material	Resistencia mínima a la tracción	Dimensiones mínimas (mm)	Uso
Acero al carbono no aleado estirado en frío sin costura que contiene máximo de 0,3 % de carbono.	350 N/mm ²	45x2,5 (1,75" x 0,095") ó 50 x 2,5 (2,0" x 0.083")	Arco principal o arcos lateral y transversal trasero.
Acero al carbono no aleado estirado en frío sin costura que contiene máximo de 0,3 % de carbono.	350 N/mm ²	38x2,5 (1,5" x 0,095") ó 40 x 2,0 (1,6" x 0.083")	Semi arcos laterales antivuelco y demás partes de la jaula de seguridad (que no correspondan a los antes descritos).

Materiales para jaulas de seguridad recomendados, Fuente: (FIA, 2016)

2.1. Materiales

El uso del material adecuado para este tipo de jaulas de seguridad es regido por normas las cuales garantizan su desempeño y su correcto uso para sus diferentes aplicaciones.

Para este trabajo se utilizará tubo estructural redondo negro cuyos materiales podrían corresponder a los que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Propiedades químicas del acero E255

<i>Elemento</i>	<i>%</i>
Carbono (C)	0.25
Silicio (Si)	0.4
Manganeso (Mn)	0.8
Molibdeno (Mo)	0.2
Cromo (Cr)	1

Propiedades químicas del acero E255, Fuente: (ECRIMESA, 2023)

2.1.1. Acero E 255

Para este diseño se usa tubo redondo sin costura de diámetro de 2 pulgadas teniendo como antecedente que dicho tubo es utilizado actualmente en vehículos de competencias a nivel nacional y las características se pueden observar en la Figura 27 y en la Tabla 3 se hace referencia a las propiedades mecánicas.

Figura 27: Tubo redondo 1½ de acero E255



Fuente: (SHAANXI SHEW-E STEEL PIPE CO LTD, 2023)

Tabla 3: Propiedades mecánicas del acero E255

<i>Descripción</i>	<i>Valor</i>
Densidad, [kg/m ³]	7850
Límite de tensión, [MPa]	900-1100
Límite elástico, [MPa]	695
Elongación, adimensional	12

Propiedades mecánicas del acero E255, Fuente: (ECRIMESA, 2023)

Este acero presenta buena resistencia a la torsión y la tracción, dos esfuerzos a los cuales se encuentran expuestas las jaulas de seguridad. El cromo es un material usado para aumentar la dureza, además la resistencia a la tracción de los aceros puede mejorarse mediante un proceso de temple el cual aumenta la resistencia al desgaste.

2.1.2. Acero SAE 1040

El acero SAE 1040 se emplea en la fabricación de piezas como ejes, engranajes y otras partes que necesiten resistencia y durabilidad. La elección del tipo de acero depende de las especificaciones de diseño y las propiedades mecánicas requeridas para cada aplicación específica. En este escenario es necesario que la jaula de seguridad brinde condiciones de resistencia y la durabilidad, en la Figura 28 se muestra una jaula de seguridad que es realizada con tubos de acero SAE 1040.

Figura 28: Jaula de seguridad hecha con tubos de Acero 1040



Jaula con material SAE 1040, Fuente: (ARVIDAL RACING, 2023)

Cabe mencionar que cuenta con buenas propiedades químicas y mecánicas, estas pueden ser visualizadas en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4: Propiedades químicas del acero SAE 1040

ELEMENTO	%
Manganeso (Mn)	0.60 - 0.90
Carbono (C)	0.37 - 0.44
Azufre (S)	0.05 máx.
Fósforo (P)	0.04 máx.

Propiedades químicas del acero SAE 1040, Fuente: (SAE HANDBOOK, 1986)

Tabla 5: Composición mecánica del material SAE 1040

Propiedad	Valor
Densidad, [kg/cm ³]	7.845
Límite elástico, [MPa]	415 (60200 PSI)
Resistencia a tracción, [MPa]	620 (89900 PSI)
Módulo de elasticidad, [GPa]	190 - 210(27557 - 30458 KSI)
Coefficiente de Poisson, adimensional	Varía entre 0.27 y 0.30
Alargamiento base (50 mm), [%]	25
Reducción de área, [%]	50
Dureza Brinell	201
Dureza Rockwell B	93
Dureza Vickers	211

Propiedades mecánicas del SAE1040, Fuente: (SAE HANDBOOK, 1986)

2.1.3. Acero AISI 4130

El acero AISI 4130 es una aleación de acero de baja aleación que contiene cromo y molibdeno, que se destaca por su buena soldabilidad y presentar una elevada resistencia a la fatiga la cual es una de las características esenciales que debe presentar la jaula de seguridad por sus propiedades es usada en la industria aeroespacial, automotriz y la construcción de estructuras que requieren gran resistencia y presencia de peso ligero, esto puede ser visualizado en la Tabla 6 y en la Tabla 7 se muestran las propiedades mecánicas del material.

Tabla 6: Propiedades químicas del acero AISI 4130

ELEMENTO	RANGO (%)
Carbono (C)	0.28–0.33
Manganeso (Mn)	0.40–0.60
Fósforo (P)	0.040 máx.
Azufre (S)	0.040 máx.
Silicio (Si)	0.15–0.35
Cromo (Cr)	0.80–1.10
Molibdeno (Mo)	0.15–0.25

Propiedades químicas del acero AISI 4130, Fuente: (AISI HANDBOOK, 2007)

Tabla 7: Propiedades mecánica del material AISI 4130

Propiedad	Rolado en calientes	Liberado de tensiones	Recocido	Normalizado
Límite Elástico, [MPa]	483 (70 KSI)	586 (85 KSI)	379 (55 KSI)	414 (60 KSI)
Resistencia a Tracción, [MPa]	621 (90 KSI)	724 (105 KSI)	517 (75 KSI)	621 (90 KSI)
Alargamiento (min.), [%]	20	10	30	20
Dureza (Rockwell), [HRB]	89	95	81	89
Densidad, [kg/cm ³]	7.8	7.8	7.8	7.8
Módulo de Elasticidad, [GPa]	190	190	190	190
Coefficiente de Poisson	0.29	0.29	0.29	0.29

Propiedades mecánicas del AISI 4130, Fuente: (AISII HANDBOOK, 2007)

2.1.3.1. Acero al carbono A36

El acero A36 es un tipo de acero estructural que cumple con la especificación ASTM A36. Se caracteriza por su resistencia y ductilidad, lo que lo hace adecuado para diversas aplicaciones en la construcción y la fabricación. En el contexto de un tubo redondo, el acero A36 se utiliza comúnmente para la fabricación de tuberías estructurales o componentes de construcción, un ejemplo puede ser visualizado en la Figura 17.

Figura 17: Acero ASTM A36



Imagen demostrativa ASTM A36, Fuente: (MADEINCHINA, 2018)

Las propiedades específicas del acero A36 incluyen una resistencia a la tracción de al menos 400 MPa y una resistencia al rendimiento de al menos 250 MPa, siendo el primer valor el que está dentro de los parámetros y garantiza la resistencia mínima a la tracción como se visualiza dentro de la Tabla 8. Además, es conocido por su capacidad de ser soldado, lo que facilita su uso en la fabricación de estructuras soldadas.

Tabla 8: Propiedades químicas del acero ASTM A36

Elemento	Máximo (%)	Mínimo (%)
Carbono (C)	0.26	-
Fosforo (P)	0.04	-
Azufre (S)	0.05	-
Silicio (Si)	0.40	-
Cobre (Cu)	-	0.20

Propiedades químicas del ASTM A36, Fuente: (MADEINCHINA, 2018)

En la Tabla 9 se muestran propiedades mecánicas importantes que son consideradas previo a la selección del material que va a ser utilizado en alguna aplicación ya sea industrial o automotriz.

Tabla 9: Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

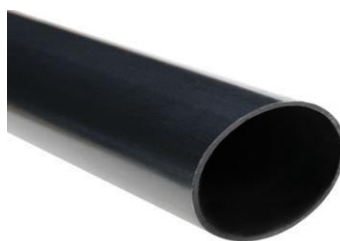
Propiedad	Valor
Límite Elástico, [MPa]	250 (36 Ksi) min
Resistencia a tracción, [MPa]	400 – 550 (58 - 80 Ksi)
Alargamiento (min.) 50 mm, adimensional	0.23
Reducción de área (min. %)	No requerido
Densidad, [kg/m ³]	7800 - 8000 (aprox. 7.9 g/cm ³ o 0.285 lb/in ³)
Módulo de Elasticidad	190 - 210 GPa (27557 - 30458 ksi)
Coefficiente de Poisson	0.27 – 0.30

Propiedades mecánicas del ASTM A36, Fuente: (MADEINCHINA, 2018)

2.1.4. Acero SAE 1008

El acero SAE 1008 es conocido por su excelente capacidad de conformado en frío, lo que lo hace adecuado para procesos de fabricación que implican deformación en frío. Además, es utilizado en la industria automotriz, construcción y fabricación de componentes de seguridad y refuerzos en estructuras de seguridad pasiva del vehículo, entre otras aplicaciones. Es un material de alta resistencia y su presentación a nivel industrial viene dada en la Figura 29

Figura 29: Tubo de acero 1008



Tubo de acero SAE 1008, Fuente: (Dipac, 2020)

En la Tabla 10 se hace referencia a los elementos químicos que conforman este material en contenido porcentual.

Tabla 10: Propiedades químicas del acero SAE 1008

<i>Elemento</i>	<i>%</i>
Carbono (C)	0.10 máx.
Manganeso (Mn)	0.30 - 0.50
Fósforo (P)	0.040
Azufre (S)	0.050

Propiedades químicas del acero SAE 1008, Fuente: (Dipac, 2020)

En la Tabla 11 se establecen propiedades mecánicas del acero con sus valores correspondientes como su resistencia, dureza, límite elástico, entre otros.

Tabla 11: Propiedades mecánicas del acero SAE 1008

<i>Propiedad</i>	<i>Valor</i>
Límite elástico, [MPa]	285
Resistencia a tracción, [MPa]	340
Alargamiento (mínimo), [%]	0.2
Reducción de área (mínimo), [%]	0.45
Dureza, [Brinell]	95
Densidad, [kg/cm ³]	7.872
Módulo de Elasticidad, [GPa]	190-210
Coefficiente de Poisson, adimensional	0.27 - 0.30

Propiedades mecánicas SAE 1008, Fuente: (Dipac, 2020)

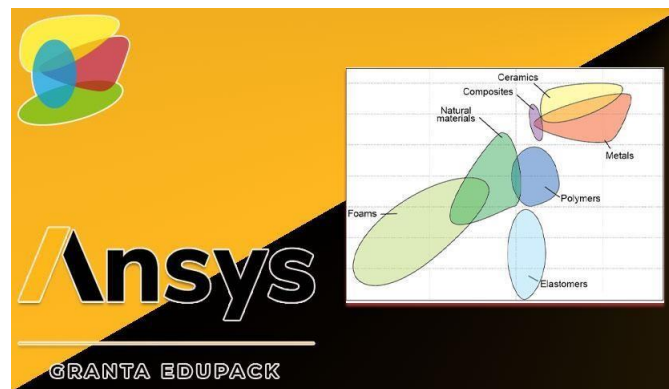
2.2. Análisis comparativo de materiales

En la actualidad gracias al desarrollo de la tecnología es posible contar con ayudas en la selección de materiales basadas en paquetes informáticos, los cuales cuentan con una amplia

gama de herramientas y datos como se aprecia en la Figura 30 y Figura 31. Este tipo de Software permiten filtrar parámetros según las necesidades del requerimiento con el fin de apoyar en la enseñanza y mejorar el aprendizaje y comprensión en el campo de la ciencia de los materiales y la ingeniería.

Es posible que existan diferentes versiones del CES EduPack con características específicas, por lo que es recomendable establecer parámetros y el tipo de método a utilizar, el uso de este software hace que la selección de un material para un trabajo en específico sea más preciso que el método tradicional. En este tipo de paquetes informáticos se inicia por etapas de filtrado que va desde la información general de los materiales, seguido de su composición física y mecánica siendo estos filtros los que mediante valores previamente establecidos se obtienen una lista de posibles finalistas, donde el investigador mediante la selección de características específicas requeridas del medio de aplicación o caso de estudio se identificará y procederá con la selección de varios o de un finalista siendo el más apropiado para ser aplicado.

Figura 30: Software de selección de materiales Ansys Granta EduPack



Software para análisis de materiales, Fuente: (ANSYS, 2023)

Este software permite la selección por niveles de conocimiento que van desde lo básico que es el Nivel 1, seguido del Nivel 2, intermedio y Nivel 3, avanzado como se aprecia en la Figura 31, el cual será el nivel utilizado a lo largo de este caso de estudio.

Figura 31: Data bases nivel avanzado Granta

Avanzado

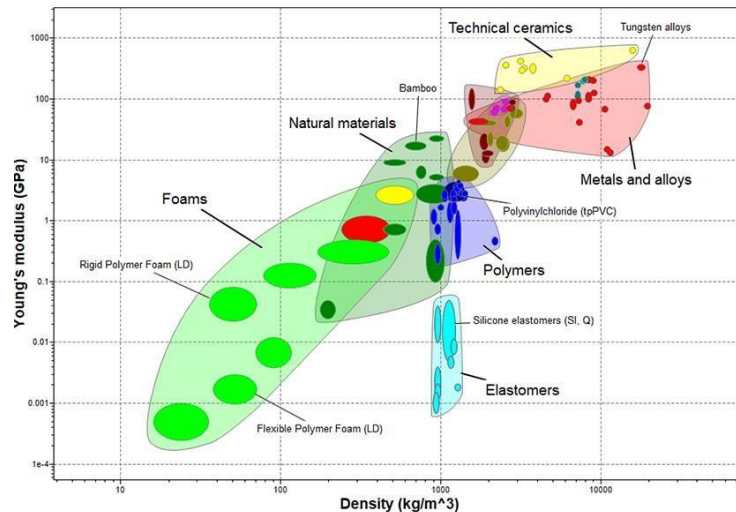


Data base nivel avanzado Granta, Fuente: (ANSYS, 2023)

Destacando el Nivel 3 de búsqueda se obtiene 1915 materiales los cuales fueron clasificados por dos filtros el primero que es de selección de metales y el segundo que es de selección de aceros, estos filtros cumplen con los requisitos mínimos para su uso en este tipo de proyectos y puede ser aplicado a diseños reales.

Los métodos utilizados en la selección de materiales suelen ser cuadros de bases de datos y esta selección en particular hace una comparación de materiales dentro de este programa previamente seleccionados bajo un criterio y metodología del determinado proyecto con el fin de obtener gráficas, basado en la visualización de distintos parámetros que son conocidas como mapas de materiales, estas gráficas están relacionadas directamente con las propiedades específicas de cada material estructural en base a variables previamente elegidas con el fin de priorizar las características específicas del producto o material como lo es la variable de costo del producto como se expone en Ashby en su libro de “Materials Selection on Mechanical Desing” (Cebon & Ashby, 1992) y en la Figura 32.

Figura 32: Gráfica de materiales disponibles en el software



Desarrollo de gráfica de disponibilidad de materiales en software ANSYS Granta, Fuente: (ANSYS, 2023)

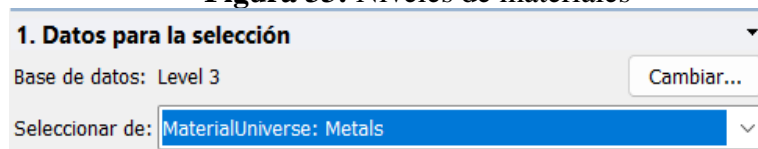
El objetivo de la selección de materiales es llegar a un número reducido de materiales pasando por los datos de selección donde se elige de todo un universo de materiales en específico.

Al clasificar y seleccionar familias de materiales específicas de metales, es importante considerar que todos los materiales tienen propiedades similares, dado que estos materiales pertenecen a la misma familia, suelen tener usos similares. Los metales tienen propiedades muy importantes que deben considerarse cuidadosamente para lograr una suficiente uniformidad de propiedades al desarrollar un proyecto, entre estas propiedades destacan las propiedades mecánicas que deben mantenerse más allá del punto de deformación. Tiene sentido clasificar correctamente estos materiales y fijar valores concretos para su posterior selección.

2.3. Datos para la selección

En este apartado se selecciona la familia específica del material a utilizar siendo utilizado en este caso de estudio la familia de los Metales como se observa en la Figura 33.

Figura 33: Niveles de materiales



Selección de la familia de materiales

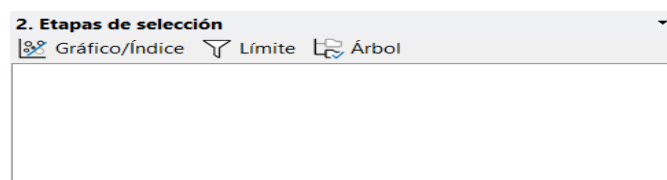
2.4. Etapas de selección

En esta etapa del proceso de selección de materiales, es importante utilizar tres características clave para lograr resultados precisos y efectivos, estas características sirven como herramientas importantes para analizar y evaluar las opciones disponibles.

La primera característica es un gráfico/índice que representa visualmente las propiedades y propiedades del material y facilita la comparación y clasificación eficientes. La segunda función límite, se convierte en un componente esencial para establecer restricciones específicas sobre las propiedades del material, estos límites pueden incluir valores mínimos y máximos para garantizar que el material seleccionado cumpla con los requisitos de rendimiento y durabilidad del proyecto. Finalmente, la tercera característica árboles, proporciona una estructura jerárquica para organizar y relacionar las diferentes propiedades y propiedades de los materiales, facilitando la toma de decisiones identificando la mejor opción para cada aplicación, todos estos elementos se muestran en la Figura 34.

Este estudio de caso se centra en funciones límite, esta característica le permite establecer ciertos límites, tales como: valores mínimos y máximos de las propiedades. Es importante asegurar la viabilidad y el éxito del proyecto, al establecer estos límites, puede asegurarse que los materiales seleccionados cumplan con los estándares requeridos y sean adecuados para las necesidades de su proyecto en términos de rendimiento y funcionalidad.

Figura 34: Descripción de etapas de selección.

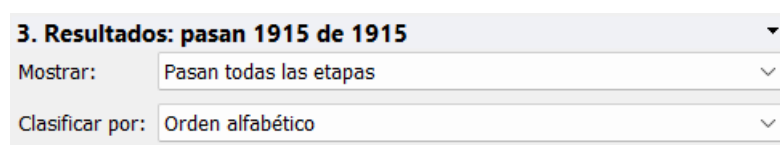


Etapas de selección

2.5. Resultados

Se muestran los 1915 casos de materiales que pueden ser utilizados para la aplicación descrita en el proyecto, este se muestra en la Figura 35.

Figura 35: Descripción de etapas de selección.



Descripción de etapas

Para la etapa de resultados se obtendrá de las selecciones anteriores y se puede elegir como organizar los materiales que han superado los filtros.

Una de las etapas de visualización es la de Pasa/No pasa donde muestra los 1915 materiales originales que mediante un visto “ ✓ ” y una “ X ” permiten evidenciar que materiales superan o no las etapas que previamente fueron seleccionados como se aprecia en la Figura 36.

Figura 36: Etapa Pasa/ No pasa

Nombre	Nº	1	2	3	4	5
Low alloy steel, AISI 4340, normalized	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, 4335V, quenched & ...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, 4330V, quenched & ...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, 300M (high carbon),...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, 300M (low carbon), ...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, AISI 4150, oil quenc...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, AISI 4150, oil quenc...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, AISI 4150, oil quenc...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, AISI 4150, oil quenc...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, AISI 4150, oil quenc...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Magnesium, Elektron 21, T6	2	✓	✗	✗	✗	✓
Magnesium, commercial purity, AST...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, AISI 4140, oil quenc...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, AISI 4140, oil quenc...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, AISI 4140, oil quenc...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, AISI 4135, air melte...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, AISI 4135, normalized	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, AISI 4130, air melte...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, AISI 4130, air melte...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, AISI 4130, air melte...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, Hy-Tuf, quenched & ...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Magnesium, Elektron ZW3, F	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, AISI 9260, oil quenc...	2	✓	✗	✗	✗	✓
Low alloy steel, AISI 9260, oil quenc...	2	✓	✗	✗	✗	✓

Etapa Pasa/ No pasa

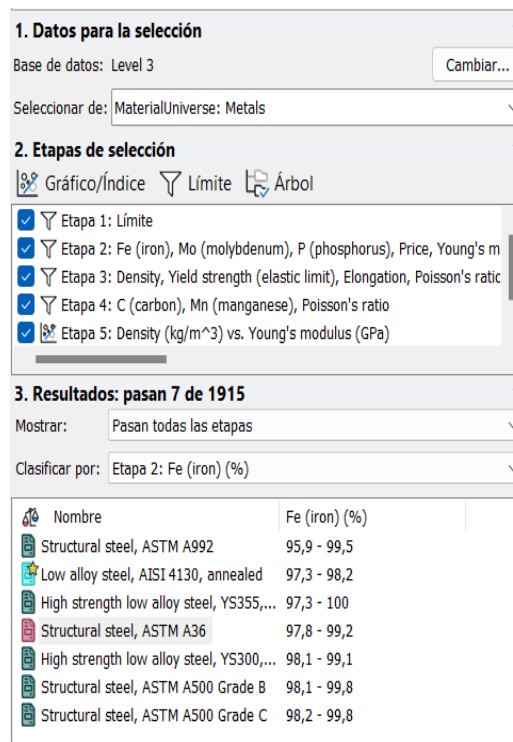
En la Figura 37 se realiza la selección de materiales con la condición mostrada de etapa de selección, ya sea gráfico, límite o árbol, considerando los 1915 elementos coincidentes. Por consiguientes en la Figura 38 se describe a mayor detalle cada una de las etapas y las coincidencias existentes.

Figura 37: Selección de materiales



Selección de materiales

Figura 38: Resultado de materiales coincidentes



Resultado de materiales coincidentes

Durante la etapa de selección inicial, es importante determinar de antemano el nivel de búsqueda de material, este nivel determina la gama de materiales disponibles para la evaluación cuanto más alto sea este nivel, más tipos de materiales se podrán elegir. Una vez completada esta fase, se elige la familia de materiales adecuada a tu proyecto, en este caso metal, esta selección inicial proporciona un marco sólido para el proceso de selección, centrando la búsqueda en categorías específicas de materiales con propiedades y características similares.

A continuación, se realiza el primer filtro de selección, la llamada restricción de selección, este paso es muy importante ya que puede reducir significativamente la cantidad de material a considerar, este filtro establece un rango específico de propiedades físicas y mecánicas (por ejemplo, un mínimo de 95,9% y un máximo de 100% de contenido de hierro). Estas áreas se definen en función de los requisitos del investigador y permiten excluir el material que no cumpla con los criterios deseados.

En este apartado se puede crear un número n de etapas que pueden ser delimitadas y eliminadas según el criterio de avance de la investigación para obtener el material deseado.

Para este tipo de investigación al obtener un grupo muy grande de materiales como lo es de los metales fue necesario crear 5 etapas de filtrado para llegar al resultado de 7 materiales finalistas.

El objetivo de la jaula de seguridad es obtener una buena rigidez en la estructura donde los 7 materiales finalistas cuentan con una o varias características donde como la resistencia requerida para este diseño. Una vez terminado la etapa de selección se puede ocupar 3 tipos diferentes visualizaciones para observar los resultados donde el más acertado para esta investigación es el grafico por índices donde en el eje X se puede aportar con parámetros de propiedades físicas del material y en el eje Y se puede aportar propiedades mecánicas del material o viceversa con el fin de visualizar de mejor manera los resultados.

Como se apreció en la Figura 38 existen 7 posibles resultados que cumplen y cuyos parámetros están dentro de los requerimientos mínimos para un material para ser seleccionado para la construcción de una jaula de seguridad.

Para la selección de materiales en metales el software tiene predeterminando el color rojo, lo que este dentro de este circunferencia roja hace referencia a los metales con características de porcentajes especiales de carbono y manganeso apropiados para esta estructura los cuales fueron delimitados del anexo J Artículo 253-8 de la FIA donde estipula “para el acero sin alear , el contenido máximo de aditivos es del 1,7% para el manganeso y el 0,6 % para los demás elementos con un contenido máximo de carbono del 3%” (FIA, 2016).

Bajo los parámetros antes descritos se obtuvo los siguientes aceros que cumplen y tienen porcentajes dentro de los parámetros requeridos para poder ser aplicados y a su vez quedan plasmados en la Tabla 12.

Tabla 12: Porcentajes de aceros finalistas

Aceros y Aleaciones	Límite de Fluencia	Módulo de Elasticidad
Structural Steel, ASTM A992	345 -450 Mpa	Min 200 (GPa) Max 210 (GPa)
Structural Steel, ASTM A36	250 – 292 MPa	Min 200 (GPa) Max 212 (GPa)
Structural Steel, ASTM 500 Grado C	345 – 402 MPa	Min 205 (GPa) Max 215 (GPa)
Structural Steel, ASTM 500 Grado B	315 – 367 MPa	Min 207 (GPa) Max 217 (GPa)
High Strength low stell, YS300 cold	280 – 380 MPa	Min 200 (GPa) Max 221 (GPa)
High Strength low stell, YS355 cold	350 – 435 MPa	Min 200 (GPa) Max 221 (GPa)
Low alloy steel, AISI 4130, annealed.	360 -460 MPa	Min 201 (GPa) Max 206 (GPa)

Porcentaje a ceros finalistas

Los mejores materiales para una barra rígida y ligera son aquellos que cuentan con un valor máximo de cociente $E^{1/2}/\rho$ que será el índice de material M que es descrito en dicho cociente. De esta forma se minimiza la masa del sistema, asegurando a su vez una rigidez mayor que la que especifica el diseño. En la Tabla 13 se muestran los requerimientos de los materiales con su respectivo índice y variables en cada caso.

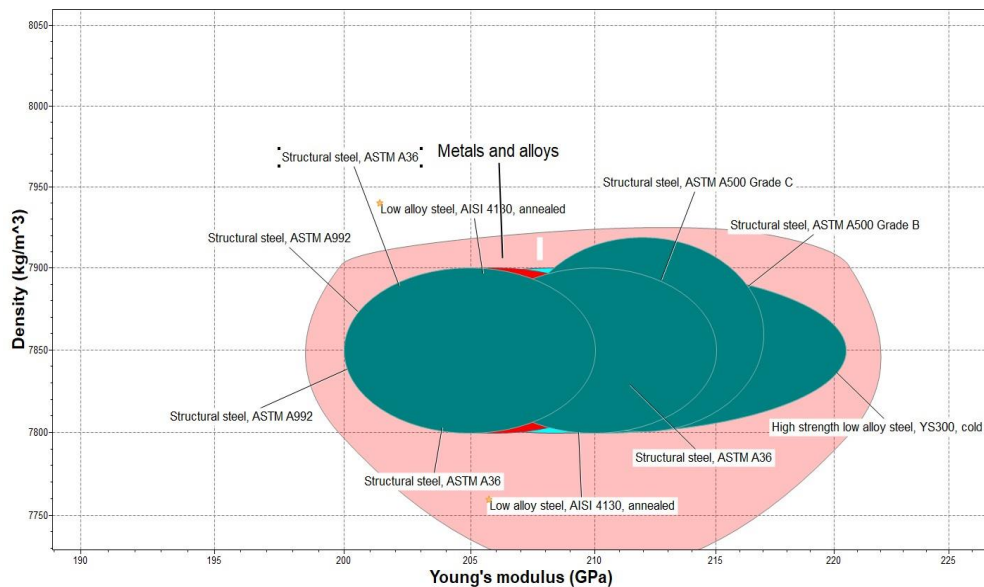
Tabla 13: Índices y requerimientos de los materiales especificados

Requerimiento	Índice
Barra, Mínimo peso, rigidez especifica	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$
Barra, peso mínimo, resistencia especificada	$\frac{\sigma_{f2/3}}{\rho}$
Barra, costo mínimo, rigidez especificada	$\frac{E^{1/2}}{Cm\rho}$
Barra, costo mínimo, resistencia especificada	$\frac{\sigma_{f2/3}}{Cm\rho}$
Columna, costo mínimo, resistencia al pandeo especificada	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$
$\rho = \text{Densidad}, E = \text{Modulo de Young}, \sigma_y = \text{Limite Elástico}, Cm = \text{Costo/Kg}$	

Índices de requerimientos de materiales, Fuente: (FIA, 2016).

En la Figura 39 se describen los materiales que han llegado hasta la etapa final, mediante un gráfico cuyos criterios se basan en su Módulo de Young dado en GPa, y su densidad en kg/m³.

Figura 39: Materiales que han llevado a la etapa final para ser seleccionados



Materiales finalistas

2.5.1. Configuración de la etapa

En este apartado de configuración de etapa se empieza desde la etapa 1 con requerimientos de composición, etapa 2 precio, etapa 3 propiedades físicas, etapa 4 propiedades mecánicas, las siguientes etapas fueron configuradas según el requerimiento y pueden ser variadas mas no obstante influirá en el resultado final ya que estos apartados son filtros y su resultado siempre será el mismo indistinto del orden en que hayan sido configurados, queda constancia de la etapas y registro de los materiales en la Figura 41 y 42.

Figura 41: Configuración inicial de las etapas para registro de materiales

Eje X: Young's modulus (GPa)
Eje Y: Density (kg/m ³)
Pasar etapa cuando: alguna parte del registro está dentro de la selección

Configuración de etapas

Figura 42: Registro de materiales

Registros en esta etapa:	1916
Pasan esta etapa:	856
Pasan todas las etapas:	7

Registro de materiales

El registro de materiales del total de metales y fueron de 1915 cuyos pasan parte de filtros antes mencionados en configuración de etapa son de 856 para reducir el número fue ir por cada porcentaje de composición de los aceros como se muestra a continuación en la Figura 43.

Figura 43: Composición de aceros seleccionados

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

C (carbon)
Cu (copper)
Fe (iron)
Mn (manganese)
P (phosphorus)
S (sulfur)

Composición de materiales seleccionados

Para reducir al mínimo y obtener un correcto análisis de los materiales es precisar a un estimado inferior a 10 lo que como resultado al porcentaje de composición se redujo a 7 elementos los cuales por tablas de composición y por tablas del anexo J se describe que dichos elementos deben ser sin alear, como resultado se seleccionó dos posibles materiales que a consideración de estudios en trabajos similares como la bibliografía se usa el Structural Steel, ASTM A36 y Low alloy steel, AISI 4130, anhealed como se aprecia en la Figura 44.

Figura 44: Definición de propiedades de ejes.

Etapa Gráfico

Eje X Eje Y

Propiedad individual o avanzada Buscador de índice de rendimiento [¿Qué es un índice de rendimiento?](#)

Definición de la propiedad del eje

Selecciona la propiedad que deseas representar o haz clic en el botón avanzado [Videotutoriales](#)

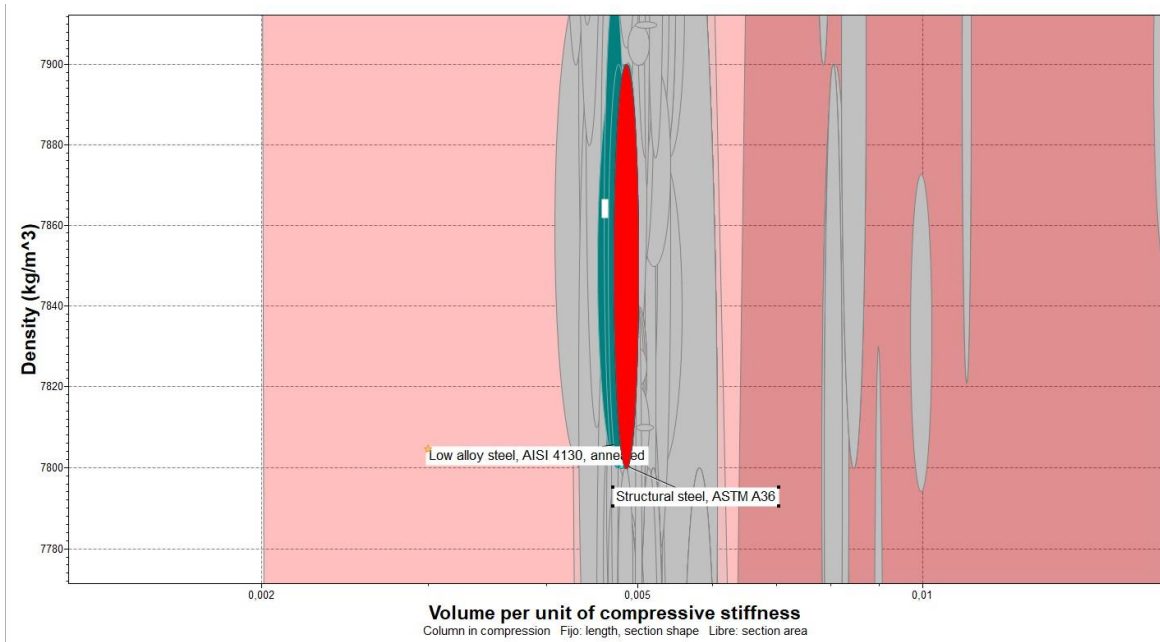
Categoría: <Por orden alfabético> Avanzado...

Atributo: Compressive strength

Propiedades de ejes

Como se puede visualizar de manera global se tiene que los dos aceros descritos en la Figura 45 están muy semejantes, pero al realizar un estudio individual de puede observar su similitud, pero no llegan a una igualdad lo que hace que cada material siempre sobresalga por los requerimientos que el investigador necesite.

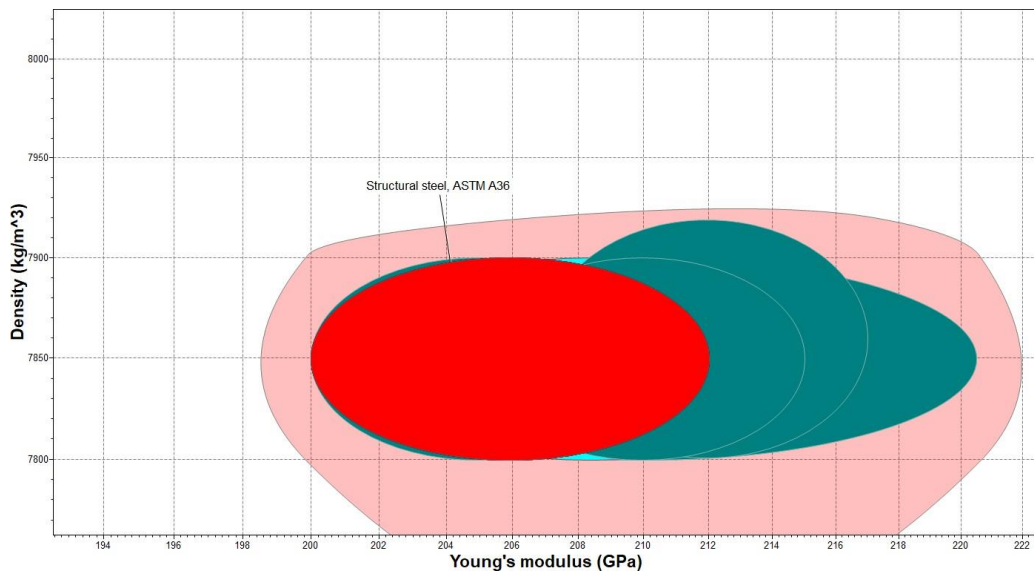
Figura 45: Materiales seleccionados para la simulación



Materiales seleccionados, Fuente: Autor

De este modo, se distingue con el color rojo al acero ASTM A36 como finalista estando más cerca de las propiedades del eje de compresión el cual es un factor importante para la selección de este material, esto se encuentra descrito en la Figura 46.

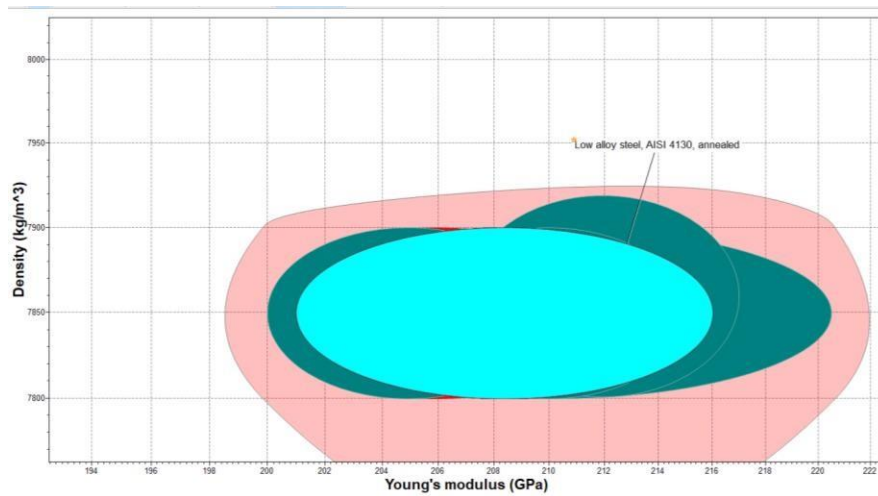
Figura 46: Material ASTM A36



Material ASTM A36, Fuente: Autor

Como segundo finalista se obtiene al acero AISI 4130 annealed en color celeste que cumple y se encuentra dentro de los parámetros de las propiedades físicas y mecánicas para su uso en el proyecto mostrado en la Figura 47.

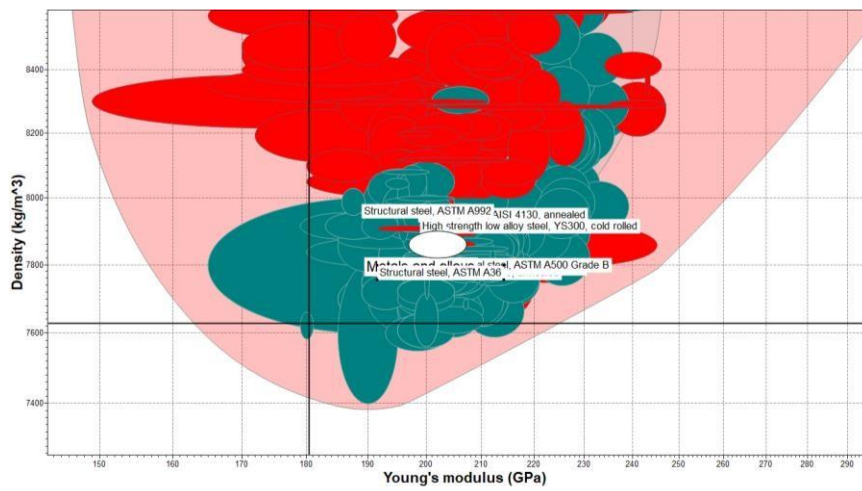
Figura 47: Material AISI 4130 annealed



Material AISI 4130, Fuente: Autor

De esta manera se concluye que al tener un índice grande de materiales como resultados la filtración por propiedades físicas es el primer paso de filtrado para reducir el número de posibles materiales seguido de las propiedades mecánicas, los cuales son valores que deben ser idóneos y en algunos casos si estos no están dentro del parámetro por normas, investigación o ensayos no se podrá avanzar con la selección de materiales. A continuación, en la Figura 48 se muestra una gráfica descriptiva de materiales respecto a su Módulo de Young y densidad.

Figura 48: Gráfica descriptiva de materiales en relación con el módulo de Young y la densidad del material.



Gráfica descriptiva de materiales en relación con el módulo de Young y la densidad del material, Fuente: Autor

CAPÍTULO III

Diseño de jaula de seguridad

3.1. Diseño preliminar de la estructura tubular

El diseño de la jaula de seguridad no solo es crucial para la seguridad en competiciones automovilísticas, sino que también se utiliza en vehículos de uso extremo y en situaciones donde la integridad del habitáculo es fundamental para la supervivencia de los ocupantes.

Desde una vista isométrica, que proporciona una perspectiva tridimensional sin distorsión de perspectiva, se puede apreciar cómo la jaula de seguridad se integra dentro del chasis del vehículo. Esta vista permite observar la disposición y conexión de los tubos que conforman la jaula, ofreciendo una visión clara de cómo rodea y protege a los ocupantes como se aprecia en la Figura 49.

Figura 49: Vista isométrica de modelo base de Jaula de seguridad



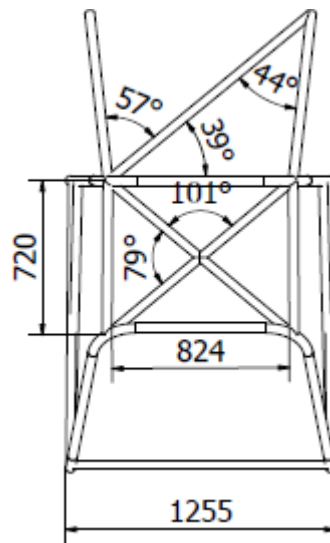
Vista isométrica de modelo base

3.2. Dimensionamiento de la estructura

La vista superior proporciona una perspectiva desde arriba, mostrando el plano horizontal de la jaula. Esta vista es útil para entender la disposición y la distribución del espacio interior de la jaula, así como la forma en que se distribuyen las barras o mallas en la parte superior (Bermeo et al., 2014).

Estas vistas son esenciales para el diseño, la construcción y la inspección de jaulas de seguridad, asegurando que todos los aspectos estructurales y de seguridad se consideren adecuadamente como se aprecia en la Figura 50.

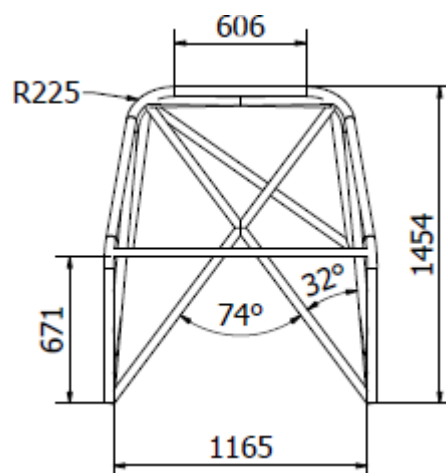
Figura 50: Vista superior



Dimensionamiento de estructura vista superior

La vista frontal muestra cómo la jaula de seguridad protege la zona delantera del vehículo, incluyendo el parabrisas y los pilares A. Se pueden observar los tubos que se cruzan delante del tablero, proporcionando una barrera adicional para los ocupantes en caso de una colisión frontal. Esta perspectiva también resalta la integración de la jaula con la estructura del vehículo, asegurando que no interfiera con la visibilidad y el espacio interior como se aprecia en la Figura 51.

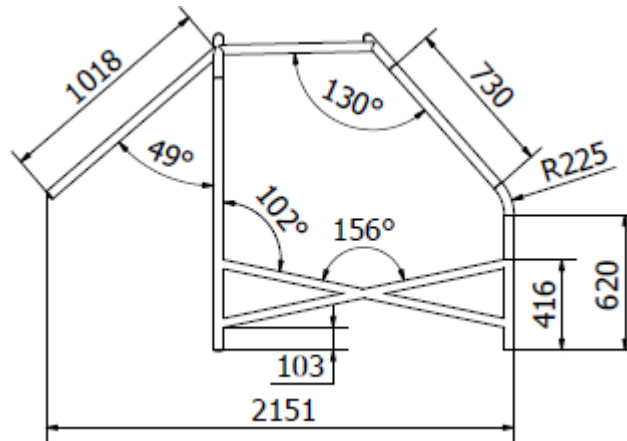
Figura 51: Vista Frontal



Dimensionamiento de estructura vista frontal

En una vista lateral, se puede ver cómo los tubos principales de la jaula se extienden desde la base del vehículo hasta el techo, formando una serie de arcos y travesaños que rodean los asientos delanteros y traseros. Esta vista destaca la protección en caso de un impacto lateral, mostrando cómo los tubos reforzados ayudan a mantener la integridad de la cabina como se puede visualizar en la Figura 52.

Figura 52: Vista Lateral

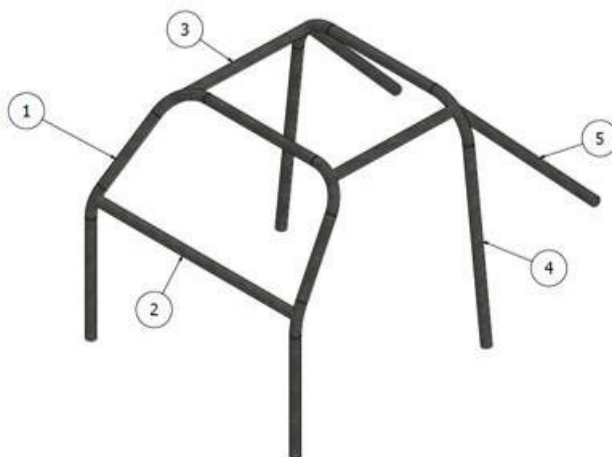


Dimensionamiento de estructura vista lateral

3.3. Configuración geométrica

La configuración geométrica viene determinada de la siguiente manera.

Figura 53: Configuración geométrica

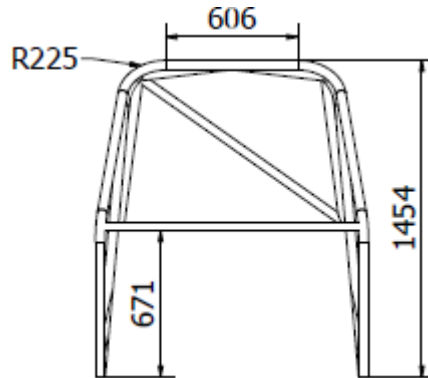


ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
1	1	ARCO FRONTAL	ASTMA - 36
2	1	TUBO TRANSVERAL	ASTMA - 36
3	2	ARCO TRANSVERAL SUPERIOR	ASTMA - 36
4	1	ARCO PRINCIPAL	ASTMA - 36
5	2	MIEMBRO DIAGONAL	ASTMA - 36

Configuración geométrica

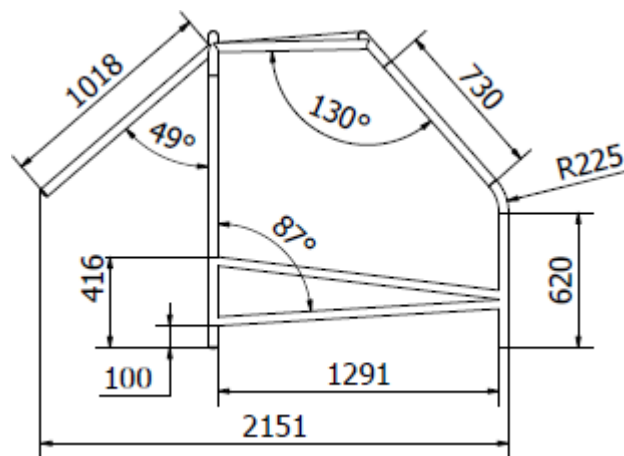
Cuando la estructura básica está definida, esta puede ser completada con miembros y refuerzos obligatorios, a los cuales se podrán añadir miembros y refuerzos opcionales.

Figura 54: Dimensionamiento vista frontal



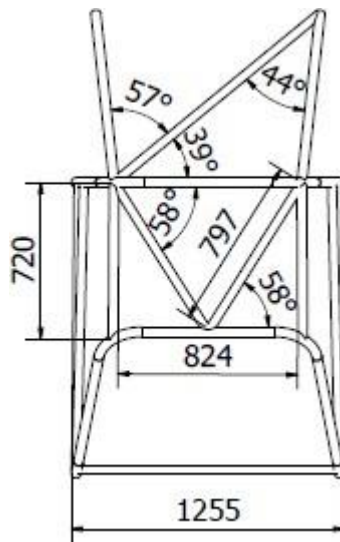
Dimensiones vistas frontal

Figura 55: Dimensionamiento vista lateral



Dimensiones vistas lateral

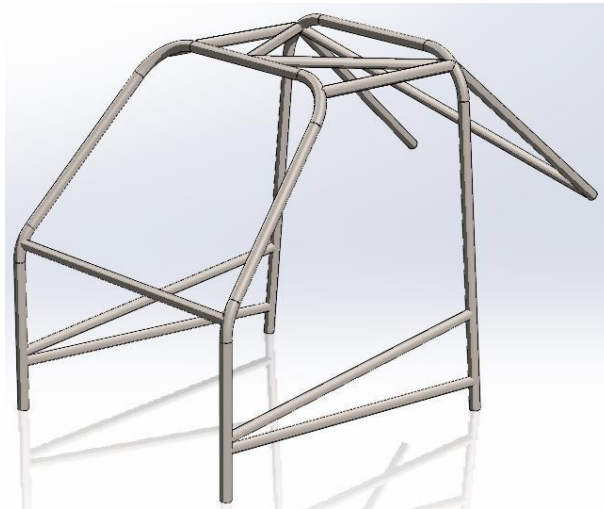
Figura 56: Dimensionamiento vista superior



Dimensiones vistas superior

3.3.1. Diseño con refuerzos en V

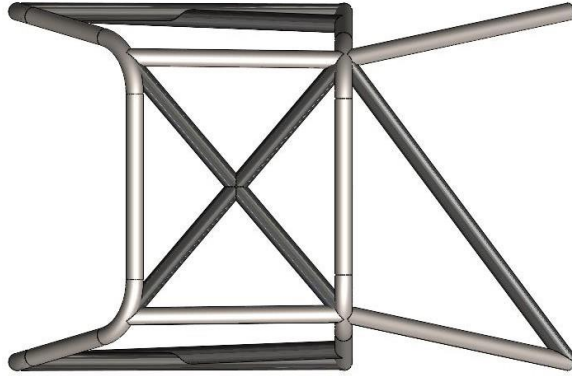
Figura 57: Partes de la estructura con refuerzos en V



Refuerzos en V en la estructura

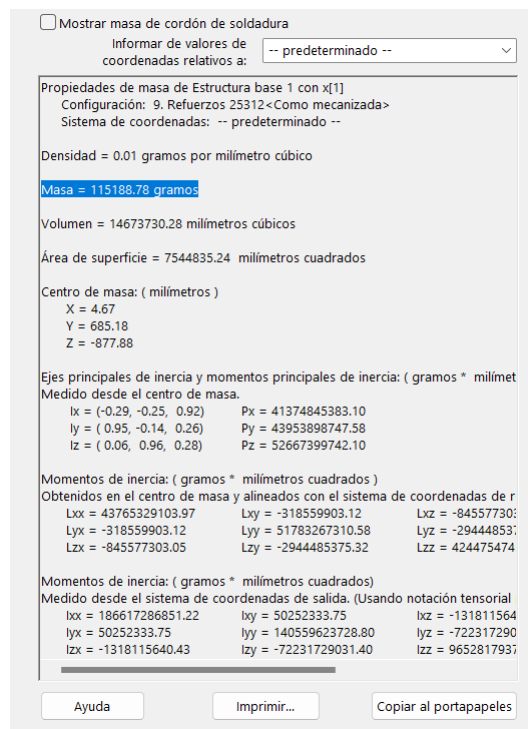
3.3.2. Diseño con refuerzos en X

Figura 58: Partes de la estructura con refuerzos en X



Refuerzos en X en la estructura

Figura 59: Parámetros de simulación de peso de estructura calculados por el software



Parámetros de simulación

El peso neto aproximado de la jaula de seguridad diseñada para este vehículo es de 115.1 kg donde este valor ese el que incluye todos los refuerzos prestación representan para el modelo y año de fabricación del vehículo.

3.4. Análisis de costos

Se considera los costos por adquisición de materiales y el alquiler de equipos además de la mano de obra por instalación y demás gastos indirectos de la fabricación del roll bar del

Chevrolet Vitara realizando una comparación en función a los materiales posiblemente usados.

3.5. Costos de materiales directos

Para la adquisición de los materiales que serán usados para la construcción de la jaula de seguridad diseñada para el vehículo Chevrolet Vitara se presenta una tabla de los costos de fabricación con el acero A36 TUBO REDONDO ISO LC N IN x 2.0 in, se visualiza en la Tabla 14 y 15 los datos y costos del tubo que se puede utilizar como primera opción para este estudio, la segunda siendo el acero AISI 4130 se visualiza en la Tabla 16 y 17 respectivamente.

Tabla 14: Datos de tubo utilizado A36

Largo Normal	6 metros
Recubrimiento	Sin recubrimiento
Norma de Calidad	ISO LC N
Norma de Fabricación	NTE INEN 2415
Espesor	1,5 mm a 2,0 mm
Datos utilizados para A36	

Tabla 15: Datos de costos de tubo utilizado

Costo tubo de espesor 1,5	19,16 \$
Costo tubo de espesor 2,0	15,58 \$
Costos de los tubos	

Tabla 16: Datos de tubo utilizado AISI 4130

Largo Normal	6 metros
Recubrimiento	Sin recubrimiento
Norma de Calidad	ISO L2 N
Norma de Fabricación	NTE INEN 2415
Espesor	1,5 mm a 2,0 mm
Datos utilizados para AISI 4130	

Tabla 17: Datos de costos de tubo utilizado

Costo tubo de espesor 1,5	20,31 \$
Costo tubo de espesor 2,0	32.93 \$
Costo de los tubos	

3.4.2 Costos de fabricación de la estructura diseñada

3.4.2.1 Corte

Actualmente en la industria ecuatoriana para el corte de tubos para el área automotriz que se especializa a mediana escala se utiliza máquinas cortadoras de tubo como amoladoras y para trabajos más especializados como lo es de este trabajo se utiliza un banco de corte de tubos metálico especializado que puede trabajar de forma continua durante largos periodos.

Tabla 18: Costos de corte de tubería redondo en acero negro

Material	Costo hora
<i>Tubería en acero A36 hasta 2 in</i>	21\$
<i>Tubería en acero AISI 4130 hasta 2 in</i>	28\$
Costos de corte de tubería	

3.4.2.2 Soldadura

El método más utilizado de unión en la industria automotriz es la soldadura por puntos y es más empleado en carrocerías, sin embargo, el método de unión utilizado en temas de sujeción es el MIG siendo utilizado en la industria por brazos robóticos de manera automatizada siendo utilizado en aplicaciones industriales para realizar tareas de soldadura de manera precisa y eficiente.

El método para unión de los miembros estructurales y de sujeción es la soldadura por arco eléctrico y se empleara el método de soldadura MIG este es un proceso de soldadura por arco en el que se utiliza un electrodo continuo de alambre que se alimenta automáticamente a través de una pistola de soldadura. Durante el proceso, se genera un arco eléctrico entre el electrodo y la pieza de trabajo, y se funde el metal base y el alambre de soldadura para crear la unión.

En la industria ecuatoriana el área de la soldadura se necesita tener unas instalaciones y equipos adecuados por lo cual es costo de soldadura para una proforma de un trabajo como este se toma en consideración el diámetro y tipo del material ya que a mayor dureza y tamaño del material a soldar el costo se ve incrementado.

Tabla 19: Costos de soldadura de estructura

Material	Costo por estructura
Tubería en acero A36 hasta 2 in de espesor 1,5 mm a 2,0 mm	250\$
Tubería en acero AISI 4130 hasta 2 in de espesor 1,5 mm a 2,0 mm	380\$

Costos de soldadura

CAPITULO IV

SIMULACIÓN ESTRUCTURAL DEL MODELO

4.1. Condiciones de contorno

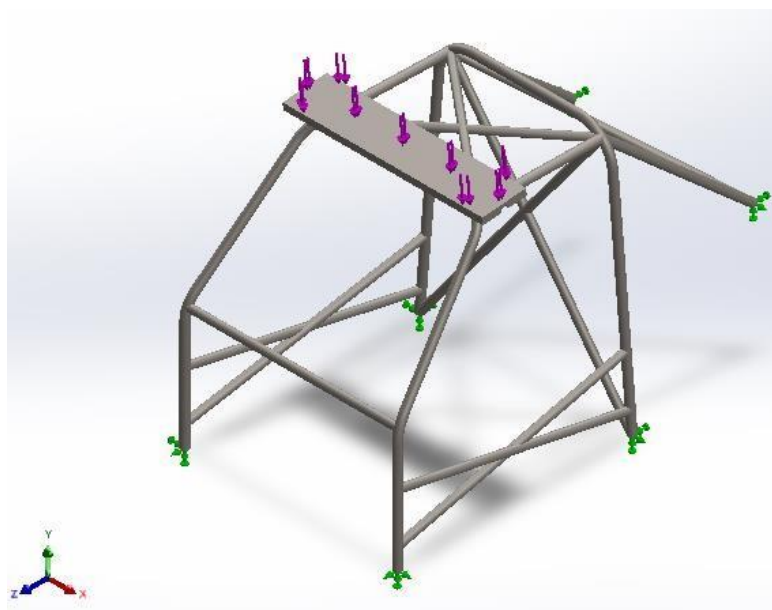
Las condiciones de contorno propuestas en este proyecto son idénticas en la jaula de seguridad con refuerzos en X y mostradas en la Figura 60 con la finalidad de elegir el modelo óptimo para el vehículo de este estudio.

Las condiciones de frontera utilizadas para este caso de estudio son:

- Sujeción de tipo fija para los 6 parantes (Vectores de color verde)
- Material: ASTM A – 36
- Carga externa

4.2. Modelo con refuerzos en X bajo simulación estática

Figura 60: Condiciones de contorno de jaula de seguridad según refuerzos



Condiciones de contorno de refuerzos en X

En el presente estudio se realizan 4 simulaciones idénticas para cada tipo de jaula, en la Figura 60 se muestra la jaula con refuerzos en X para identificar la plancha rectangular de 1137 x 250 x 40 mm en las que se aplica las cargas calculadas mediante la ecuación 1 y 2. En la Figura 61 y Figura 62 se ubica la plancha a 5 y 25° respectivamente con una carga

puntual de 36.7 kN, mientras que, en la Figura 63 se ubica la plancha a 0° y en la Figura 64 la plancha en forma lateral a una altura de 550 mm, cabe recalcar, que en estas dos últimas simulaciones la carga aplicada es de 78.7 kN.

$$F_a = 35 \cdot W \quad (1)$$

Donde:

F_a : Carga externa aplicada en simulación de la Figura 61 y Figura 62 [kN].

W : Masa del vehículo más un incremento de 150 [kg].

$$F_a = 35 \cdot (900 + 150)$$

$$F_a = 36.7 \text{ [kN]}$$

$$F_v = 75 \cdot W \quad (2)$$

Donde:

F_v : Carga externa aplicada en simulación de la Figura 63 y Figura 64 [kN].

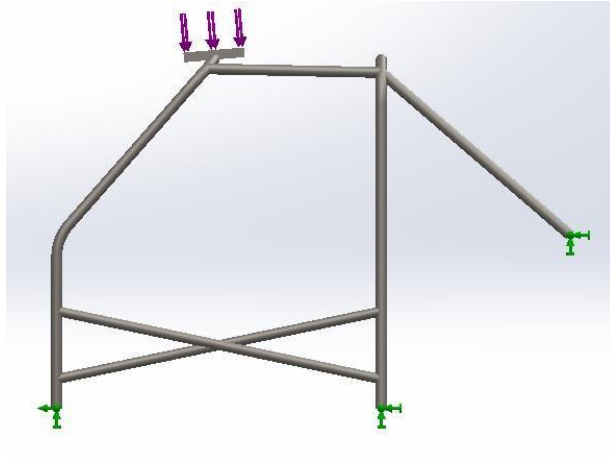
W : Masa del vehículo más un incremento de 150 [kg].

$$F_v = 75 \cdot (900 + 150)$$

$$F_a = 78.7 \text{ [kN]}$$

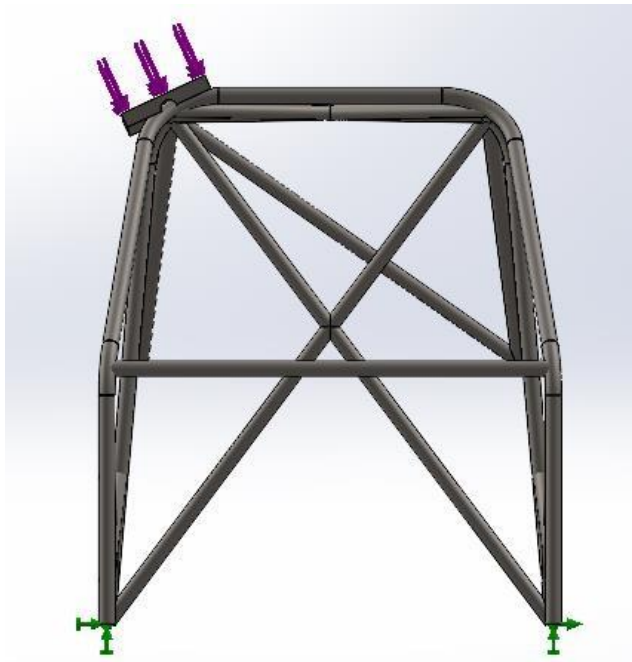
Mientras que la disposición de plancha y carga en 4 simulaciones para jaula con refuerzos en X, con una plancha con 5° de inclinación como se aprecia en la figura 61

Figura 61: Primera disposición de plancha, inclinación y altura



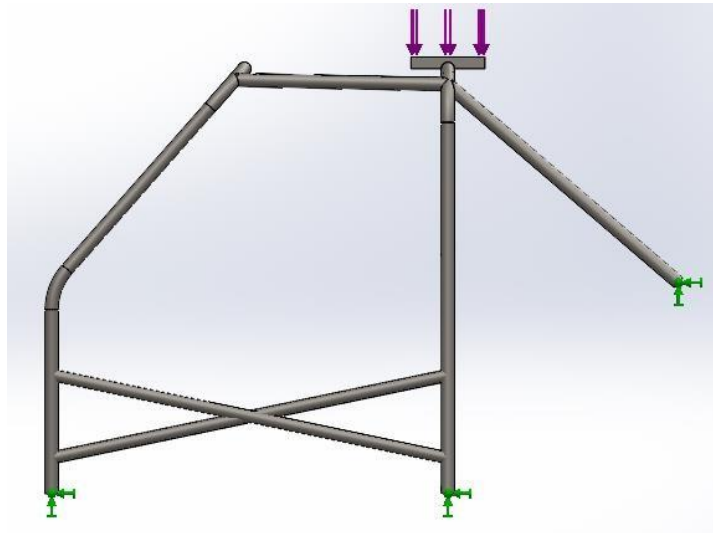
Mientras que la plancha con 25° de inclinación debe estar correctamente alineada con el dentro del arco secundario como se aprecia en la Figura 62

Figura 62: Segunda disposición de plancha, con inclinación y altura



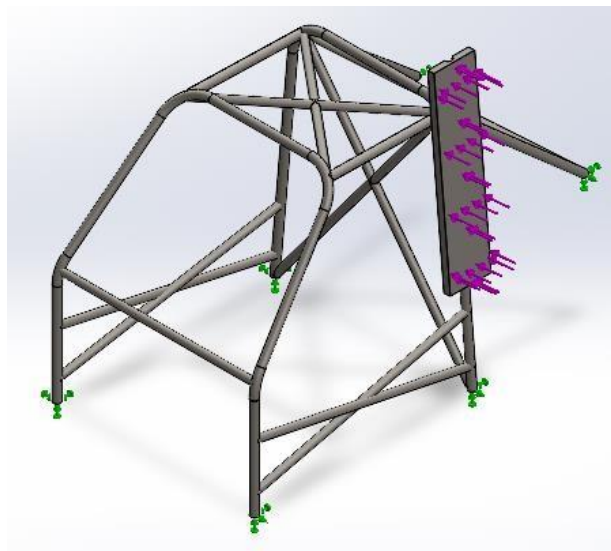
Las condiciones de la inclinación en un evento real son muy infinitas y la disposición de la plancha con 0° de inclinación como se visualiza en la figura 63 será una variable que puede presentarse en los distintos escenarios como lo es en el caso de volcadura del vehículo como se visualiza en el arco principal.

Figura 63: Tercera disposición de plancha, inclinación y altura en arco principal



Plancha en parante lateral a 550 mm de altura como se aprecia en las opciones de la Figura 64 es esencial para entender de una manera más visual como se ejerce la carga hacia un miembro en específico que al tener miembros que están unidos por nodos la fuerza aplicada se verá distribuida para así repartir y soportar la carga en diferentes escenarios con este modelo base.

Figura 64: Cuarta disposición de plancha, inclinación y altura en arco principal



Disposición de plancha, Fuente: Autor

En la Ecuación 3 se muestra la fórmula utilizada para calcular el factor de seguridad para todos los casos de simulación sea en la jaula con refuerzos en X o V.

$$FS = \frac{T_{m\acute{a}x}}{\sigma_e} \quad (3)$$

Donde:

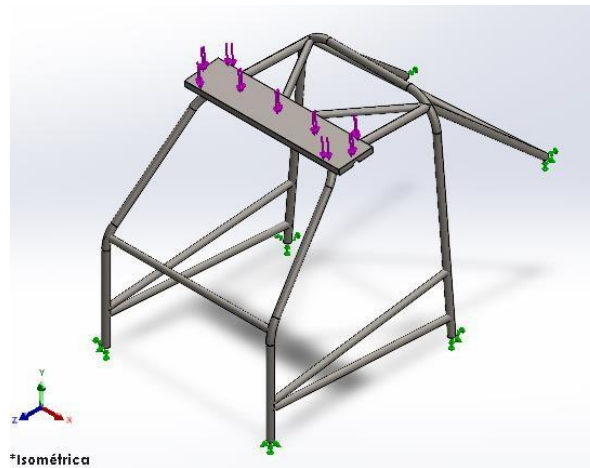
FS : Factor de seguridad.

$T_{m\acute{a}x}$: Tensi3n m\acute{a}xima de estructura [MPa].

σ_e : L\acute{i}mite el\acute{a}stico de material [MPa].

4.3. Modelo con refuerzos en V bajo simulaci3n est\acute{a}tica

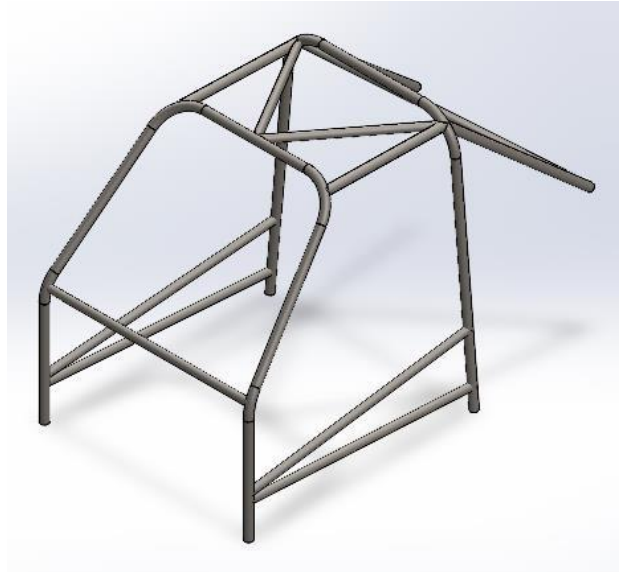
Figura 65: Condiciones de contorno de jaula de seguridad seg\fan refuerzos



Detalle del refuerzo en V

En la Figura 65 se presenta la jaula de seguridad con refuerzos en V en la parte superior y laterales. As\acute{i} tambi\acute{e}n, cuenta con dos refuerzos, uno en la parte frontal y otro en la parte posterior de la estructura met\acute{a}lica.

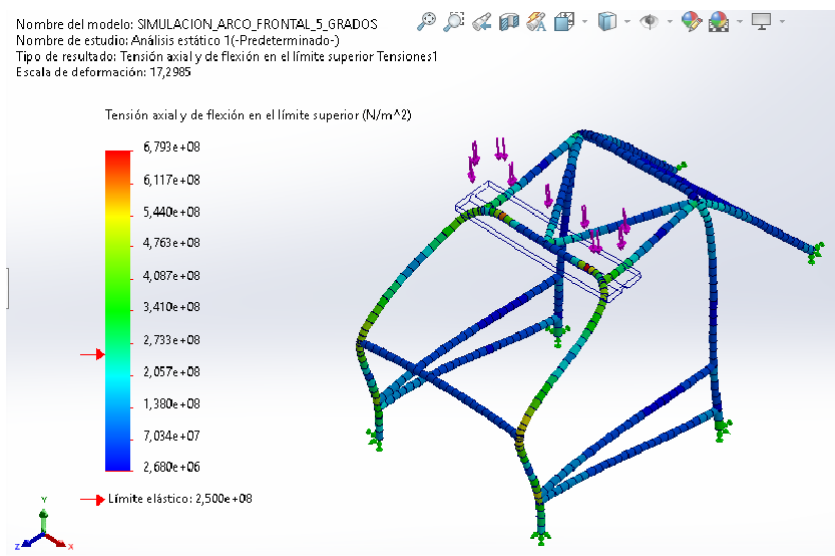
Figura 66: Jaula de seguridad con refuerzos en V.



Jaula con refuerzo en V

En la Figura 67 se presenta la primera simulación de la jaula de seguridad con refuerzos en V, donde, la plancha de pruebas se encuentra a una inclinación de 5° con respecto al plano XZ. La carga aplicada para este caso es de 36.7 kN y se obtiene una tensión máxima de 679.3 MPa siendo superior a 250 MPa que es el límite elástico del material ASTM A – 36 utilizado en la estructura. Por lo tanto, esta configuración estructural no aplica para el proceso de fabricación, puesto que, tiende a la fractura al poseer un factor de seguridad mínimo de 0.37 y un límite elástico inferior a la tensión máxima de la estructura.

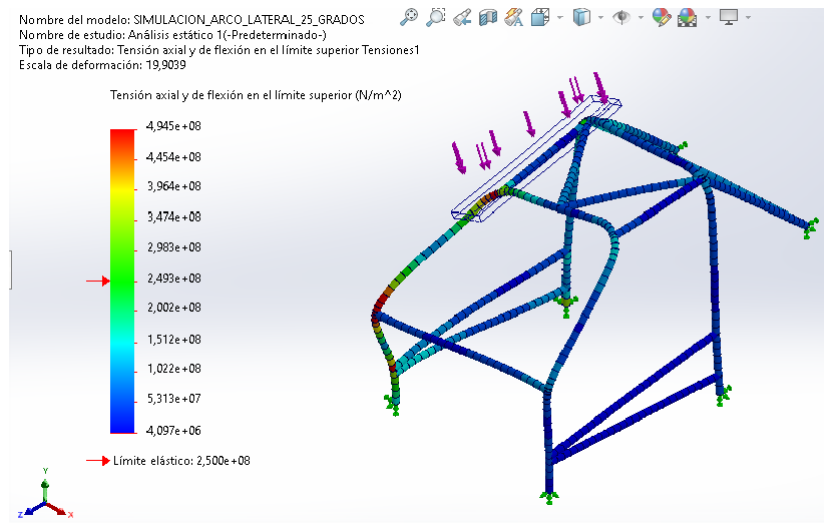
Figura 67: Simulación en arco principal de jaula de seguridad con refuerzos en V.



Simulación en arco principal

En la segunda simulación de la jaula con refuerzos en V la plancha de pruebas se ubica en la parte lateral superior de la estructura con una inclinación de 25° con respecto al plano XZ como se muestra en la Figura 68, la carga aplicada en la plancha es de 36.7 kN y la estructura posee una tensión máxima de 494.5 MPa superior al límite elástico del material A – 36 que es de 250 MPa. Además, el factor de seguridad para este modelo base con disposición de modelos en V es de 0.51, siendo este valor debajo de 1 el cual es el factor de seguridad mínimo para este tipo de elementos de seguridad en esta categoría, por lo tanto, esta segunda prueba con disposición de refuerzos en V al ser aplicada la carga previamente establecida para las pruebas en el arco lateral, se obtiene una deformación desfavorable, poniendo en riesgo el bienestar de la tripulación.

Figura 68: Simulación en tubo lateral superior de la jaula de seguridad con refuerzos en V.

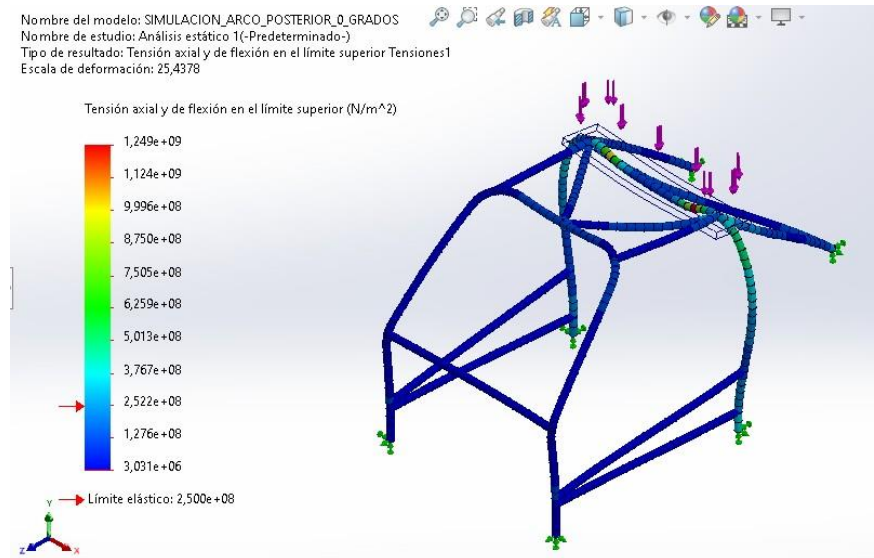


Simulación de arco lateral superior, Fuente: Autor

La Figura 69 muestra la tercera simulación de la jaula de seguridad con refuerzos en V, donde, la plancha de pruebas se encuentra ubicada en el arco posterior de la estructura con un ángulo de inclinación de 0° con respecto al plano XZ.

La carga aplicada a la plancha de pruebas es de 78.7 kN obteniendo una tensión máxima de 1249 MPa. Esta estructura al poseer una tensión máxima superior al límite elástico del material y un factor de seguridad mínimo de 0.20, se concluye, que al utilizar esta disposición de refuerzos no cumple con los requerimientos mínimos de los elementos de seguridad para la categoría en la que este vehículo está homologado.

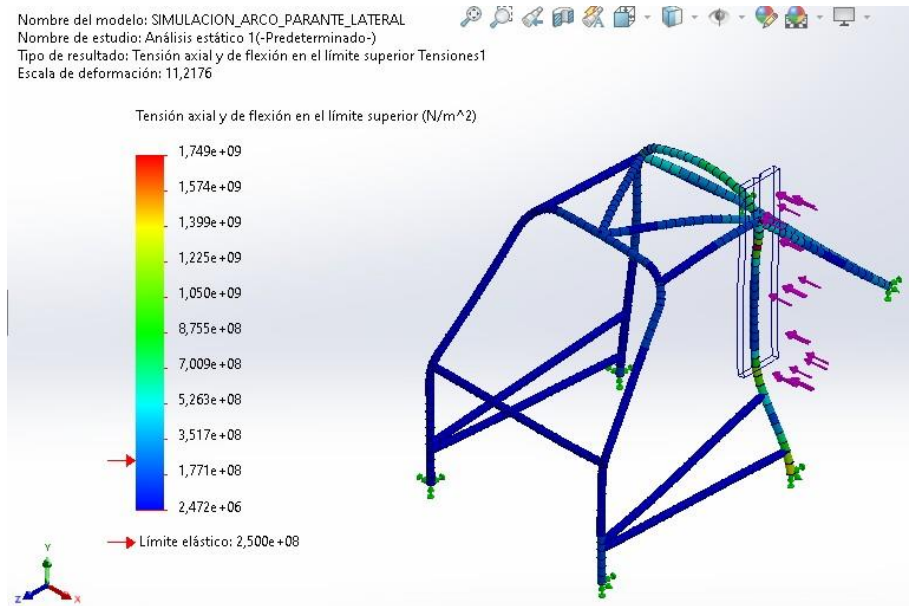
Figura 69: Simulación en arco posterior de la jaula de seguridad con refuerzos en V.



Simulación de arco posterior, Fuente: Autor

La cuarta simulación de la estructura metálica con refuerzos en V se muestra en la Figura 70. La plancha de pruebas se encuentra ubicada en el parante lateral del arco posterior de la jaula a una altura de 550 mm, la carga aplicada es de 78.7 kN y la tensión máxima obtenida es de 1749 MPa con un factor de seguridad mínimo de 0.14 reafirmando a través de la última prueba que este tipo de estructura con refuerzos en V no cuenta con los parámetros necesarios para ofrecer estabilidad y seguridad en la protección de conductores de vehículos de alto rendimiento.

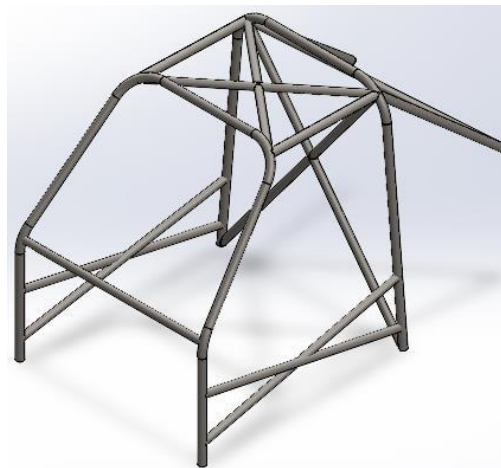
Figura 70: Simulación en parante lateral del arco posterior de la jaula de seguridad con refuerzos en V.



Simulación en parante lateral del arco posterior, Fuente: Autor

4.4. Modelo con refuerzos en X bajo simulación estática

Figura 71: Jaula de seguridad con refuerzos en X.



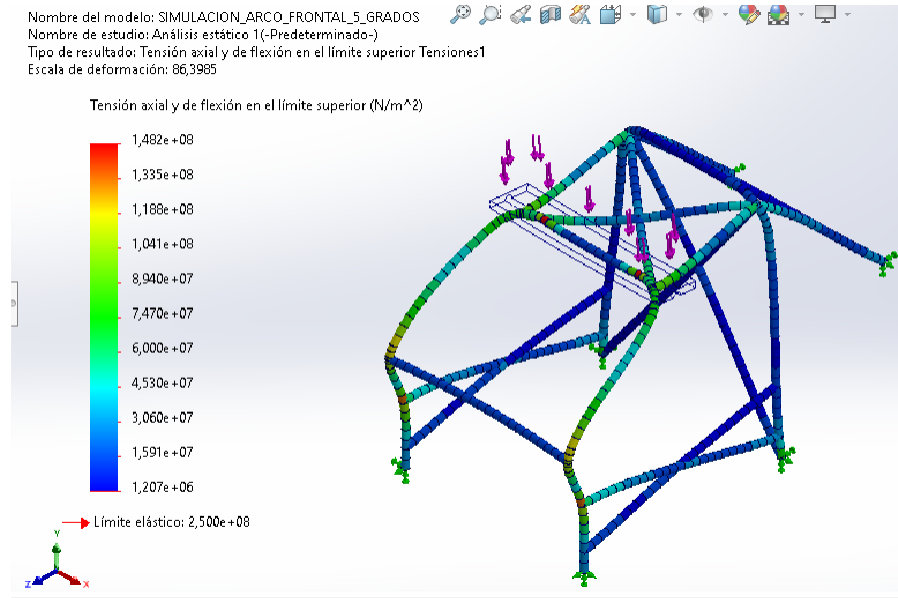
Jaula con refuerzo en X, Fuente: Autor

En la Figura 72 se muestra la primera simulación de la jaula de seguridad con refuerzos en X, donde, la plancha de pruebas se encuentra a una inclinación de 5° con respecto al plano XZ.

La carga aplicada para este caso es de 36.7 kN obteniendo una tensión máxima de 148.2 MPa siendo inferior a 250 MPa que es el límite elástico del material ASTM A – 36 utilizado

en la estructura. Por lo tanto, esta configuración estructural cumple con los parámetros necesarios para el proceso de fabricación, debido a que, cuenta con un factor de seguridad mínimo de 1.69 y un límite elástico superior a la tensión máxima de la estructura.

Figura 72: Simulación en arco principal de jaula de seguridad con refuerzos en X.

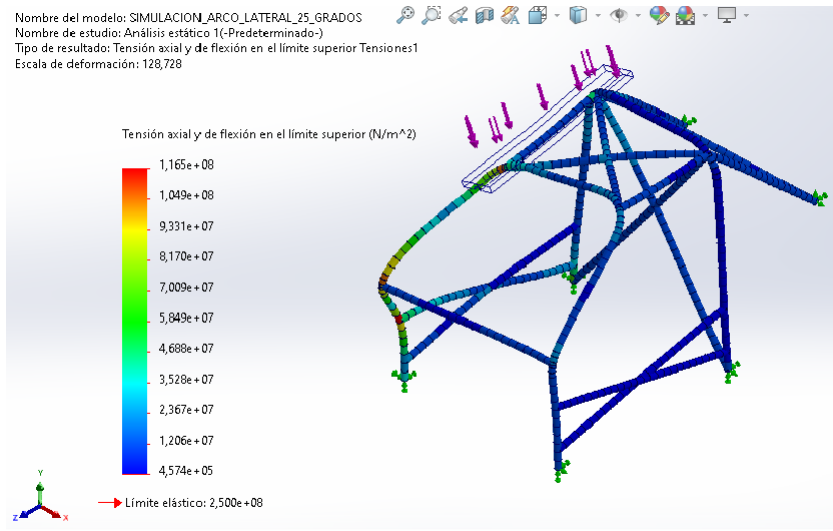


Simulación en arco principal, Fuente: Autor

La segunda simulación de la jaula con refuerzos en X ubica una plancha de pruebas en la parte lateral superior de la estructura con una inclinación de 25° con respecto al plano XZ presentado en la Figura 73.

La carga aplicada en la plancha es de 36.7 kN y la estructura posee una tensión máxima de 116.5 MPa inferior al límite elástico del material A – 36 que es de 250 MPa, siendo, el factor de seguridad mínimo de 2.15, la segunda prueba sobre la estructura muestra resultados favorables, puesto que, cumple en este caso con los requerimientos necesarios para ser fabricada y utilizada como protección en un vehículo de competencia.

Figura 73: Simulación en el arco lateral superior de la jaula de seguridad con refuerzos en X.

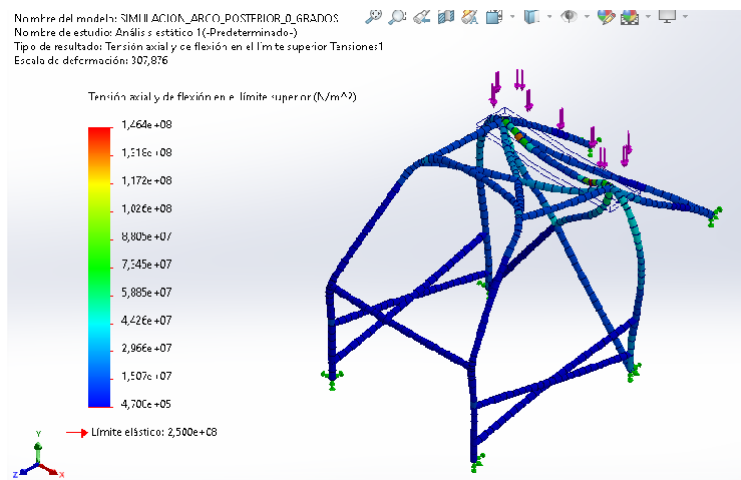


Simulación de arco lateral superior, Fuente: Autor

La Figura 74 presenta la tercera simulación de la jaula de seguridad con refuerzos en X, donde, la plancha de pruebas se ubica en el arco lateral de la estructura bajo un ángulo de inclinación de 0° con respecto al plano XZ.

La carga aplicada sobre la plancha de pruebas es de 78.7 kN y se obtiene una tensión máxima de 146.4 MPa. La jaula al poseer una tensión máxima inferior al límite elástico del material y un factor de seguridad mínimo de 1.71, demuestra en la tercera prueba que la configuración estructural sugerida es óptima para este tipo de vehículos de competencia.

Figura 74: Simulación en arco principal de la jaula de seguridad con refuerzos en X.

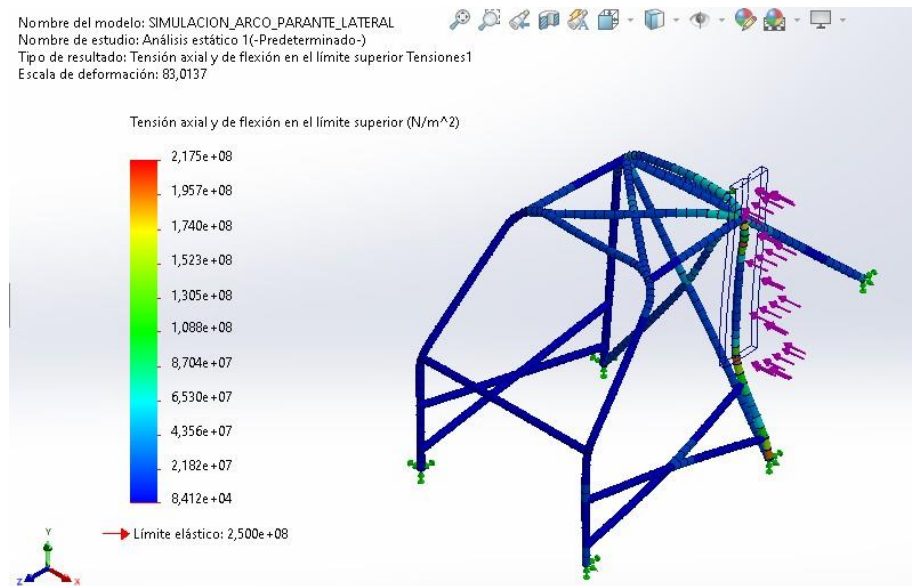


Simulación de arco principal, Fuente: Autor

Por último, la cuarta simulación de la estructura metálica con refuerzos en X se muestra en la Figura 75, donde, la plancha de pruebas se instala en el parante lateral del arco principal de la estructura a una altura de 550 mm con respecto de la base.

La carga en este caso es de 78.7 kN y la tensión máxima que se obtuvo como resultado es de 217.5 MPa contando con un factor de seguridad mínimo de 1.15, bajo los parámetros mencionados se puede reafirmar que este tipo de estructura con refuerzos en X es óptimo para ser utilizado en la protección de conductores de vehículos de alto rendimiento.

Figura 75: Simulación en miembro transversal del arco principal de la jaula de seguridad con refuerzos en X.



Simulación en parante lateral del arco posterior, Fuente: Autor

4.5. Comparación de resultados

Tabla 20: Comparación de resultados

Nro. de simulación	Jaula con refuerzos en V		Jaula con refuerzos en X	
	Tensión máxima [MPa]	Factor de seguridad	Tensión máxima [MPa]	Factor de seguridad
1	679.3	0.37	148.2	1.69
2	494.5	0.51	116.5	2.15
3	1249	0.20	146.4	1.71
4	1749	0.14	217.5	1.15

La Tabla 20 presenta los resultados obtenidos en las 8 simulaciones de las jaulas de seguridad con refuerzos en V y X, donde, se aprecia que la estructura con refuerzos en X cumple en las 4 pruebas con una tensión máxima inferior al límite elástico y un factor de seguridad mínimo superior a uno, mientras que, la estructura con refuerzos en V es el caso totalmente opuesto, debido a que, cuenta con tensiones máximas muy superiores al límite elástico que es de 250 MPa para el acero A – 36 y un factor de seguridad menor a uno en todos los casos. En base a lo expuesto, se concluye que la jaula de protección con refuerzos en X es la mejor configuración para ser utilizada en vehículos de competencia de alto rendimiento.

CONCLUSIONES

La selección de materiales mediante el uso del software fue muy amplia por lo que delimitar los valores y en especial el porcentaje máximo de carbono de 0,3% para los materiales finalistas fue clave para el cumplimiento del material que puede ser usado para este tipo de jaulas de seguridad, teniendo en cuenta los parámetros de rigidez para los 8 materiales finalistas tenían muy buenas características y podían ser aplicados como material para el caso de estudio siendo una de las complicaciones contar con la disponibilidad en el mercado y el alto costo de impuestos a la hora de adquirir productos de exportación, siendo el acero A36 el elegido por disponibilidad y costo de adquisición a nivel nacional y cumplir los estándares que se necesitan para proyectos de elementos de seguridad.

El modelo con disposición de refuerzos en V es muy llamativo por su menor tiempo de fabricación, ya que al contar con menos puntos de uniones se ve reflejado en un menor tiempo de construcción de esta forma el índice de costos de fabricación se ve reducido y este a su vez se ve relacionado y es objeto de presentar deformaciones más significativas en los refuerzos como lo es en el arco principal en el cual, el factor de seguridad para esta estructura con este tipo de disposición de refuerzos es de 0,14 que siendo inferior a 1 estando por un valor muy por debajo del límite del factor de seguridad establecido que no garantiza la seguridad de la tripulación. Por lo que abaratar costos en temas de fabricación si implica de forma negativa en el factor de seguridad de este tipo de elementos pese a utilizar el mismo material.

Como resultado de este estudio y los ensayos estáticos desarrollados para dos tipos diferentes de configuraciones y un mismo diseño base de jaula de seguridad se concluye que la disposición incorrecta de refuerzos conlleva a un factor de seguridad que no garantiza salvaguardar la integridad física de la tripulación mientras que la correcta distribución de refuerzos lleva un valor de seguridad 1.15% que está por encima del factor de seguridad necesario para dispersar la carga generada por los eventos de volcamiento presentes en este tipo de competencias automovilísticas como lo es el Modelo con refuerzos en X superando las expectativas en sus 4 simulaciones.

El correcto diseño de la jaula de seguridad para este tipo de vehículos con el modelo de refuerzos en X es primordial lo que se ve reflejado con éxito en las 4 simulaciones en los

eventos propuestos como lo es en el primer y segundo ensayo se supera con éxito el límite elástico y obteniendo un factor de seguridad de 1,69 y 2,15 dentro de los parámetros ideales que debe ser mayor a 1.

RECOMENDACIONES

Para un correcto diseño es necesario verificar que no existan interferencias en el monocasco interior del vehículo ya que una correcta toma de medidas sin interferencias en el modelo base del vehículo se obtendrá una correcta simulación del modelo garantizando una instalación ideal al momento de la fabricación y el montaje de este sistema de seguridad.

El aligeramiento del vehículo es primordial en este tipo de ensayos, teniendo siempre en consideración que al reducir el peso del vehículo se verá reflejado en un valor menor a la carga que debe ser aplicada obteniendo así un mejor factor de seguridad.

En la selección de materiales pese a tener toda la biblioteca de materiales con buenas características es posible trabajar con materiales que presentan la misma resistencia que los materiales nacionales con la diferencia que estos materiales que se pueden importar presentan mejor características como la reducción de peso.

BIBLIOGRAFÍA

- AIISI HANDBOOK. (2007). *Composición química y designación de los aceros comunes* (pp. 1–3).
- Albert Morales Chover. (2017). *Diseño De La Jaula De Seguridad De Un Vehículo De Competición*. Universidad Politécnica de Valencia, 157.
- ANSYS. (2023). *Ansys Granta EduPack*. Enhance Your Materials Teaching. <https://www.ansys.com/products/materials/granta-edupack#tab1-1>
- ARVIDAL RACING. (2023). *Jaulas de seguridad*. Equipos de Competencia. <https://www.arvidalracing.com/equipo/>
- Bermeo, L., Calle, J., & Carrión, R. (2014). *Diseño y construcción de un chasis tubular de un vehículo monoplace para la competición en la Formula SAE*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7132/1/UPS-CT003951.pdf>
- Cárdenas, L. (2015). *Diseño De Un Roll Bar Para Un Vehículo Suzuki Forza 1 De Competición*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Cebon, D., & Ashby, M. F. (1992). *Materials Selection for Mechanical Design*. *ASTM Special Technical Publication, STP 1140*, 323–335. <https://doi.org/10.1520/STP23757S>
- Dipac. (2020). *Tubo estructural redondo*. *Catálogo General de Productos*, 24.
- ECRIMESA. (2023). *Materiales y utilidades del moldeo por inyección de metal*. MIM. <https://ecrimesa.com/es/materiales-utilidades-mim/>
- FEDAK. (2022). *Federación Ecuatoriana De Automovilismo Y Kartismo Fedak Comisión Nacional De Rally Reglamento Nacional Deportivo De Rally 2022*. 4–7.
- FIA. (2016, August). ANEXO J / ANEXO J – ARTÍCULO 253-. *Equipos de Seguridad*, 1–13.
- Fragassa, C., Pavlovic, A., & Minak, G. (2020). On the structural behaviour of a CFRP safety cage in a solar powered electric vehicle. *Composite Structures*, 252(May), 112698. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112698>
- Goodyear. (2021, April). *Jaula antivuelco: su función en un vehículo de competición*. *Kilómetros Que Cuentan*.
- MADEINCHINA. (2018). *Acero ASTM A36*.
- Martín, P. (2017). *DISEÑO DE LA JAULA DE SEGURIDAD DE UN VEHÍCULO DE COMPETICIÓN*. Universitat Politécnica de Valencia.
- Pardo, F. (2006). *DISEÑO Y ANÁLISIS DE UNA JAULA ANTIVUELCO PARA UN VEHICULO RALLY*. Universidad de los Andes.

- Parikh, B. (2017, May). Como funciona una jaula antivuelco. *El Elemento de Seguridad Más Importante de WRC*, 1.
- Ponce Jaramillo, J. A. (2016). *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA*. Universidad Tecnológica Israel.
- PROTEMAX. (2022). *Jaula antivuelco*. Productos Automotrices. <https://www.protemax.com.pe/productos/automotriz/jaulas-antivuelco/>
- SAE HANDBOOK. (1986). *Tabla a-20 Aceros Astm.Pdf* (p. 2.15).
- SHAANXI SHEW-E STEEL PIPE CO LTD. (2023). *Steel pipe*. Products. <https://www.shew-esteelpipe.com/steel-pipe/>
- VILARIÑO. (2022). *ARCOS DE SEGURIDAD*. AUTOMOVIL. <https://vilarinoracingshop.com/collections/arcos-de-seguridad-jaula-roll-bar>

ANEXOS

Datos peso del vehículo para aplicación de cargas

Especificaciones para Vehículo	Datos del vehículo del fabricante	Datos reales del vehículo
Peso total (sin cojinería)	901 (Kg)	900 (Kg)
Peso total (con cojinería)	1.125 (Kg)	1.125 (Kg)

Costos de Corte de tubería

Material	Costo Hora
Tubería A36 de 1 In a 2 In de diámetro	21 (\$)
Tubería AISI 4130 de 1 In a 2 In de diámetro	28 (\$)

Costos de soldadura

Material	Espesor	Costo Hora
Tubería A36 hasta 2 In de diámetro	1,5 mm a 2,0 mm	250 (\$)
Tubería AISI 4130 hasta 2 In de diámetro	1,5 mm a 2,0 mm	380 (\$)

Proforma costos de fabricación de jaula de seguridad

**PARRA PLAZARTE JOSE ELIAS**

RUC: 1706790407001

Dirección: A MA GUA NA E UGE NIO E S P E JO E-118 Y AV. GRA L.
RUMINA HUI

Teléfono: 0978912699

N° Proforma

0000010

Cliente: 1726702556 - ANDRANGO PAUCAR LUIS JAVIER

Fecha de emisión: 5/7/2024

Dirección: PICHINCHA

Teléfono: 0984368063

Código	Cant.	Descripción	P.Unitario	Dto.	Subtotal
OTROS	1	Soldadura tubería AISI 4139 hasta 2 in de hasta 2,00 mm de espesor (380\$)	380.00	0.00	380.00
OTROS	1	Soldadura tubería A36 hasta 2 in de hasta 2,00 mm de espesor	250.00	0.00	250.00
OTROS	1	Corte de tubería tubería AISI 4130 hasta 2 in	28.00	0.00	28.00
OTROS	1	Corte de tubería Tubería A36 hasta 2 in	21.00	0.00	21.00

INFORMACIÓN ADICIONAL

Subtotal sin desc: 679.00

Descuento: 0.00

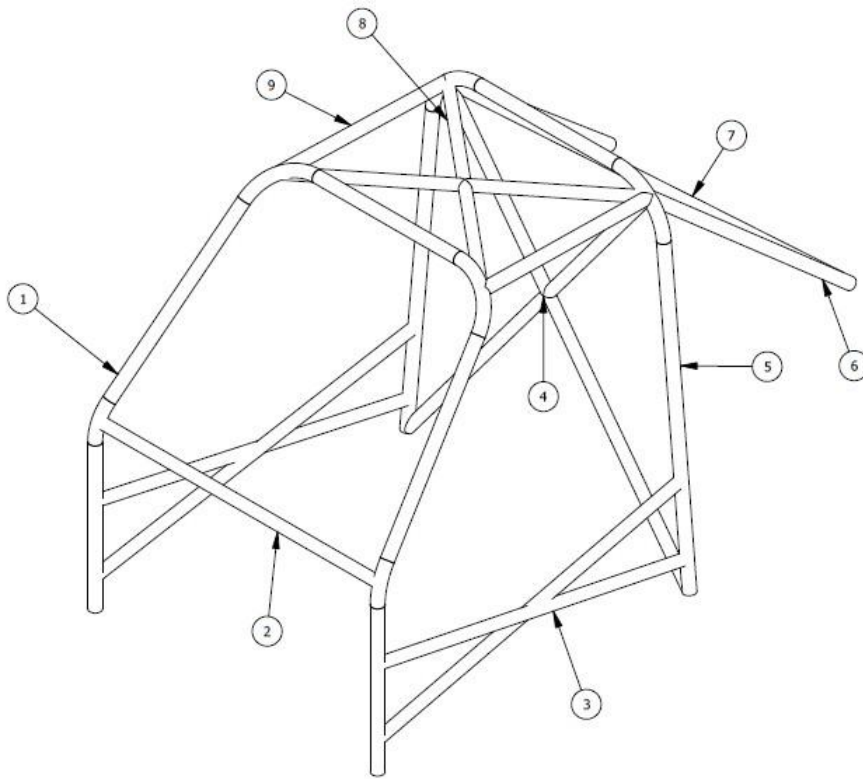
SubTotal 15% 679.00

IVA 15% 101.85

Valor Total 780.85

MULTIMOTRIZ PARRA
RUC: 1706790407001
Jose Plazarte
JOSE PARRA

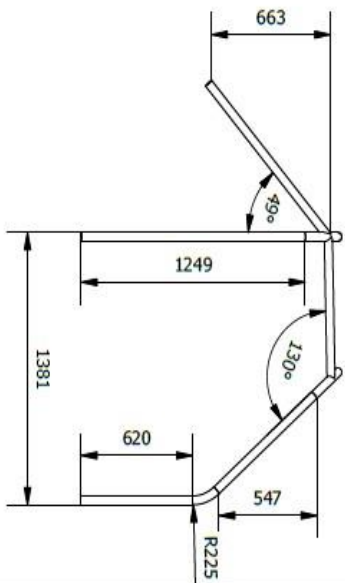
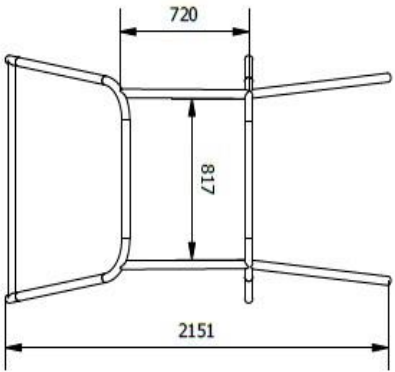
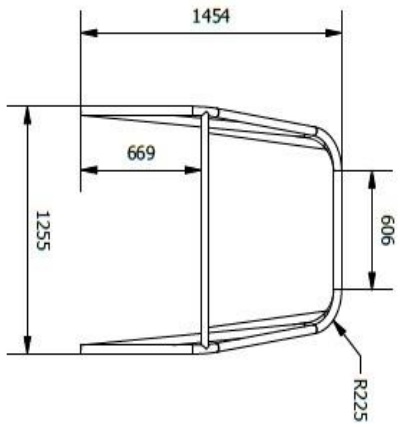
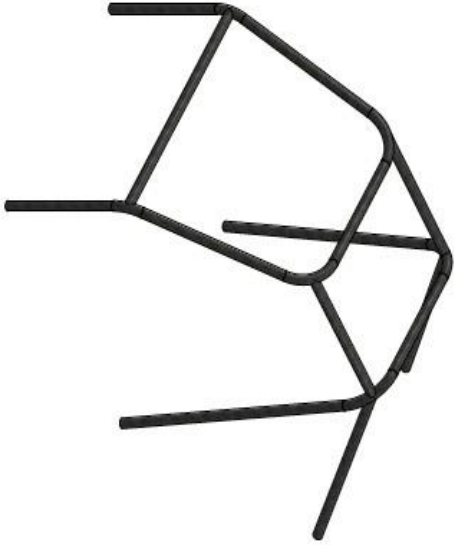
V. ISOMÉTRICA



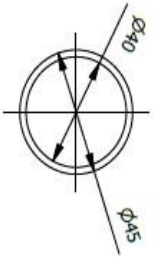
9	Arco transversal superior	2	A - 36	L = 720 mm	$\phi = 45 \times 2.5$
8	Refuerzo diagonal superior	2	A - 36	L = 1084 mm	$\phi = 45 \times 2.5$
7	Refuerzo diagonal entre miembros diagonales posteriores	1	A - 36	L = 1201 mm	$\phi = 45 \times 2.5$
6	Miembro diagonal posterior	2	A - 36	L = 1018 mm	$\phi = 45 \times 2.5$
5	Arco principal	1	A - 36	1454 x 1255	$\phi = 45 \times 2.5$
4	Refuerzo inclinado en arco principal	2	A - 36	L = 1684 mm	$\phi = 45 \times 2.5$
3	Refuerzo inclinado en puertas	4	A - 36	L = 1365 mm	$\phi = 45 \times 2.5$
2	Refuerzo transversal frontal	1	A - 36	L = 1205 mm	$\phi = 45 \times 2.5$
1	Arco frontal	1	A - 36	1454 x 1255 x 694	$\phi = 45 \times 2.5$
Ref.	Denominación:	Cnt.	Material	Dim. Brutas	Observaciones



	Nombre	Fecha		Universidad Politécnica Salesiana
Dibujado	Luis Andrango	01 - 07 - 2024		
Comprobado	Ing. Paúl Molina	02 - 07 - 2024		

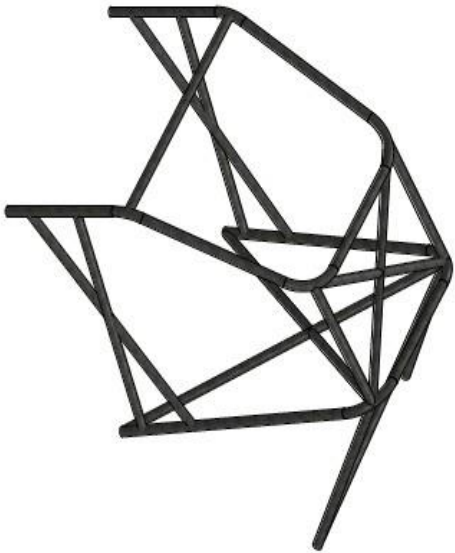
Escala: 1 : 20	JAULA CON REFUERZOS EN X PLANO GENERAL	Ingeniería Automotriz	
		Hoja N° 01	N° Hojas 1 DE 3



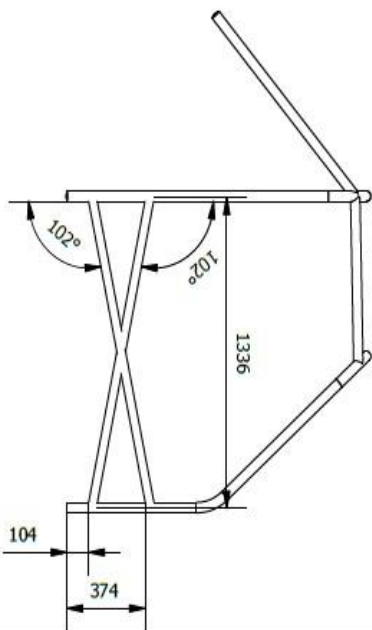
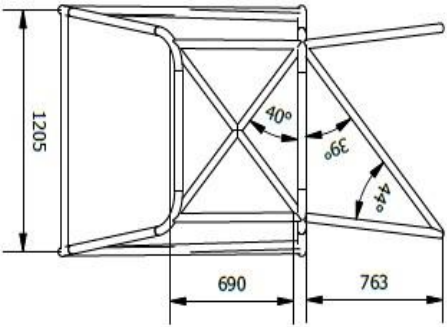
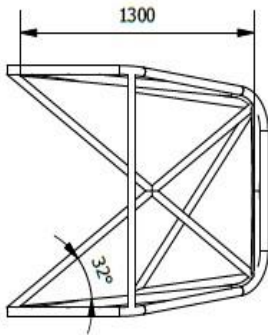
DETALLE DE TUBO CIRCULAR
(1 : 2,5)



Dibujado	Luis Andrango	Fecha	01 - 07 - 2024	 	Universidad Politécnica Salesiana	
Comprobado	Ing. Paul Molina	Fecha	02 - 07 - 2024			
Escala:		JAUJA BASE PARA REFUERZOS EN X			Ingeniería Automotriz	
1 : 50		Hoja N°	01	N° Hojas	2 DE 3	

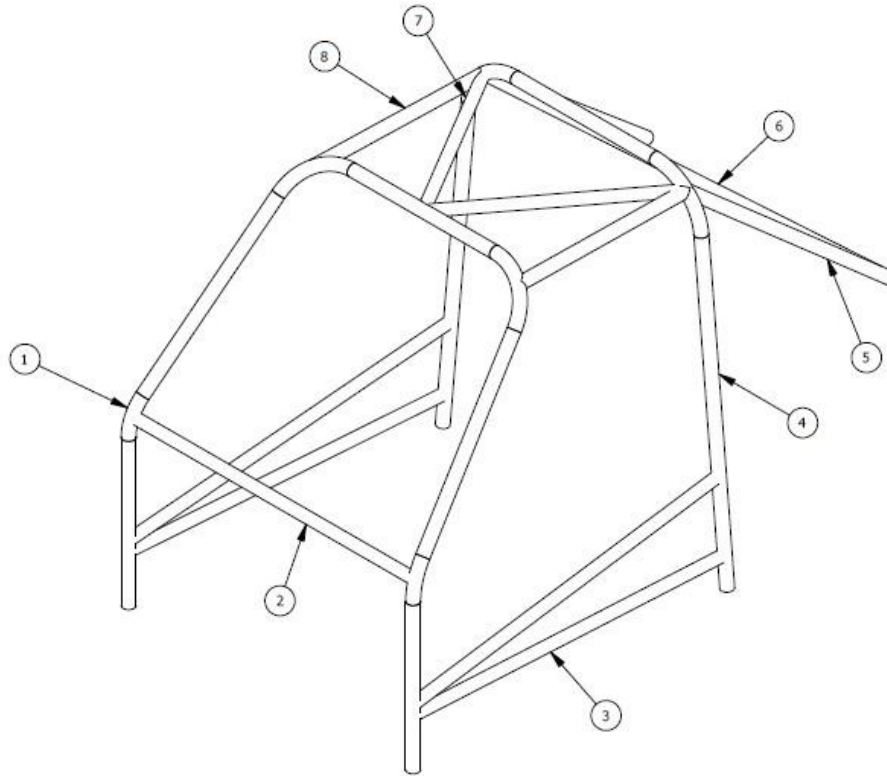


DETALLE DE TUBO CIRCULAR
(1 : 2.5)



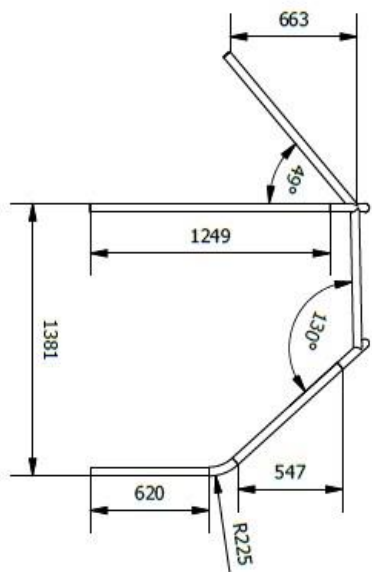
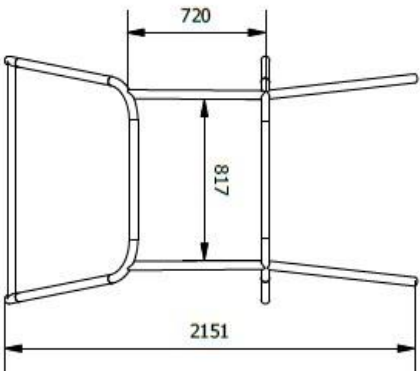
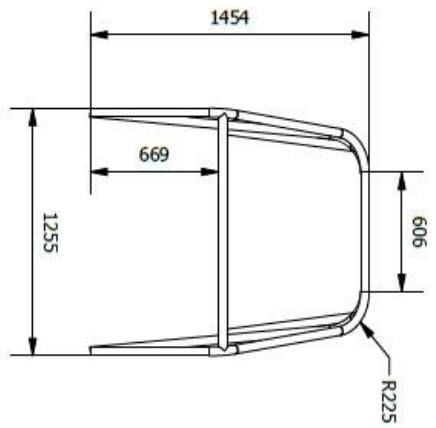
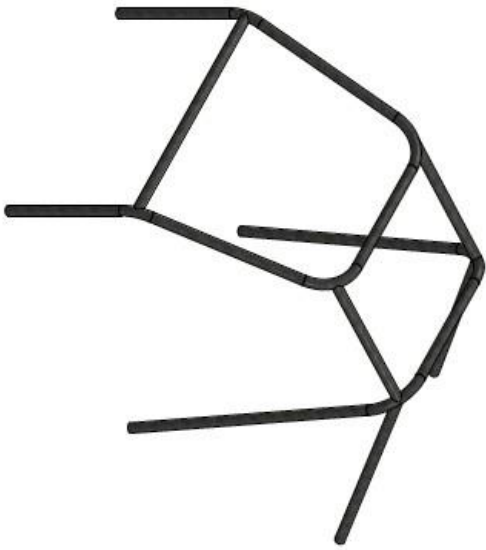
Nombre	Fecha	Ingeniería Automotriz	
Dibujado Luis Andrango	01 - 07 - 2024	Hoja N° 01	N° Hojas 3 DE 3
Comprobado Ing. Paul Molina	02 - 07 - 2024	Universidad Politécnica Salesiana	
Escala: 1 : 50		JAUULA CON REFUERZOS EN X	

V. ISOMÉTRICA

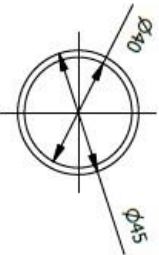




8	Arco transversal superior	2	A - 36	L = 720 mm	∅ = 45 x 2.5
7	Refuerzo diagonal superior	2	A - 36	L = 787 mm	∅ = 45 x 2.5
6	Refuerzo diagonal entre miembros diagonales posteriores	1	A - 36	L = 1201 mm	∅ = 45 x 2.5
5	Miembro diagonal posterior	2	A - 36	L = 1018 mm	∅ = 45 x 2.5
4	Arco principal	1	A - 36	1454 x 1255	∅ = 45 x 2.5
3	Refuerzo inclinado en puertas	4	A - 36	L = 1345 mm	∅ = 45 x 2.5
2	Refuerzo transversal frontal	1	A - 36	L = 1205 mm	∅ = 45 x 2.5
1	Arco frontal	1	A - 36	1454 x 1255 x 694	∅ = 45 x 2.5
Ref.	Denominación:	Cnt.	Material	Dim. Brutas	Observaciones

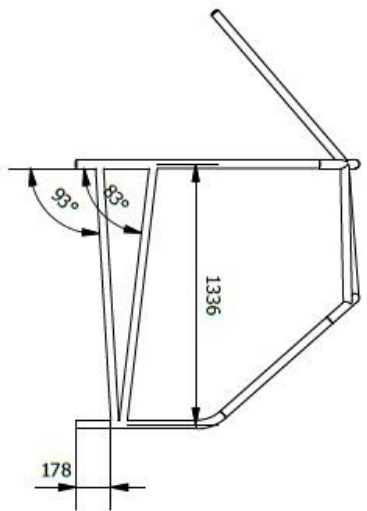
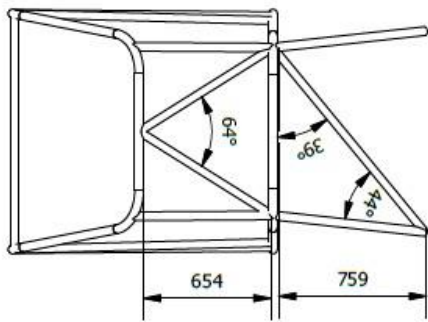
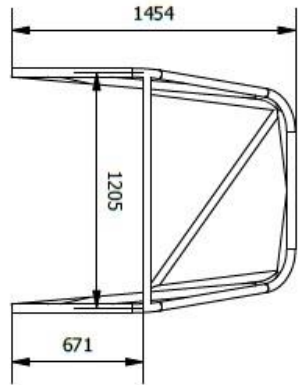
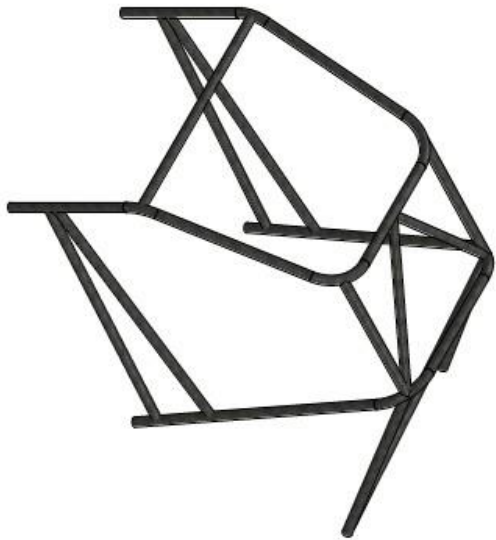
	Nombre	Fecha		Universidad Politécnica Salesiana	
Dibujado	Luis Andrango	01 - 07 - 2024			
Comprobado	Ing. Paúl Molina	02 - 07 - 2024			
Escala:	JAULA CON REFUERZOS EN V PLANO GENERAL			Ingeniería Automotriz	
1 : 20				Hoja N°	N° Hojas
		02	1 DE 3		



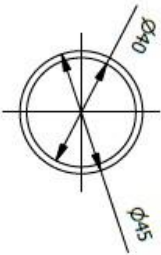
DETALLE DE TUBO CIRCULAR
(1 : 2,5)





	Nombre	Fecha	Ingeniería Automotriz	
Dibujado	Luis Andrangeo	01 - 07 - 2024	Hoja N°	N° Hojas
Comprobado	Ing. Paul Molina	02 - 07 - 2024	02	2 DE 3
Escala:	JAULA BASE PARA REFUERZOS EN V			
1 : 50				
 		Universidad Politécnica Salesiana		



DETALLE DE TUBO CIRCULAR
(1 : 2.5)



	Nombre	Fecha	 		Universidad Politécnica Salesiana
Dibujado	Luis Andrango	01 - 07 - 2024			
Comprobado	Ing. Paul Molina	02 - 07 - 2024			

Escala:

1 : 50

JAUULA CON REFUERZOS EN V

Ingeniería Automotriz

Hoja N° 02	N° Hojas 3 DE 3
---------------	--------------------