



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**TESIS**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICACIA  
PROTECTORA DE LA JAULA INTERNA  
ANTIVUELCO EN LOS FORMATOS TUBULAR Y  
LAMINAR PARA UNIDADES VEHICULARES  
MINERAS TIPO PICK-UP EN EL PERÚ MEDIANTE  
SIMULACIÓN COMPUTACIONAL**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Autor:**

**Bach. Angeles Rocca Junior Víctor**  
<https://orcid.org/0000-0002-1555-0510>

**Asesor:**

**Ing. Alvarado Silva Carlos Alexis**  
<https://orcid.org/0000-0002-3588-8869>

**Línea de investigación:  
Infraestructura Tecnología y Medio Ambiente**

**Pimentel – Perú  
2020**

## **DEDICATORIA:**

Dedico esta tesis a mis padres quienes me dieron educación, apoyo, consejos y valores ya que nunca dudaron de mí. Y a toda mi familia por su apoyo incondicional. Tan bien dedico esta tesis a todos aquellos que no creyeron en mí, a aquellos que esperaban mi fracaso en cada paso que daba hacia la culminación de mis estudios, a aquellos que nunca esperaban que lograra terminar la carrera, a todos aquellos que apostaban a que me rendiría a medio camino, a todos los que supusieron que no lo lograría, a todos ellos les dedico esta tesis.

## **AGRADECIMIENTO:**

Gracias a Dios por darme salud y bienestar para poder culminar mis estudios sin problema alguno. A Nelly Rocca de la Cruz mi madre quien estuvo siempre aconsejándome y dándome las facilidades para poder culminar mi carrera. A Charles Daniel Angeles Carbajar mi padre por ser un padre que nunca me negó lo que necesitaba para mis estudios. Gracias a todos mis Tíos por siempre estar preocupados y pendientes para ser un hombre de bien y un buen profesional.

Gracias a los docentes por compartir sus experiencias y sus conocimientos, En especial al Ing. Carlos Alvarado por su apoyo incondicional y sus consejos para poder culminar mi carrera profesional.

## **RESUMEN:**

Se realizó un análisis comparativo entre los dos formatos estructurales utilizados en la fabricación de jaulas internas antivuelco en el mercado nacional Peruano (Tubular y Laminar), con el propósito de determinar la eficacia protectora de cada uno, el diseño de jaula analizado pertenece a una camioneta marca Toyota modelo Hilux 2015 tras ser seleccionado como el vehículo utilitario liviano más usado en el sector minero nacional, el análisis computacional buscó obtener los esfuerzos de Von mises, deformaciones resultantes, factor de seguridad y el desplazamiento en dirección de la fuerza aplicada, la simulación se ejecutó utilizando el análisis por elementos finitos en el software SolidWorks V2018, las normativas implementadas para la obtención de las fuerzas y su respectiva ubicación provienen de la Federación Internacional de Automovilismo (FIA) y de las normas federales de seguridad de vehículos motorizados (FMVSS) adaptadas por la empresa multinacional RMA Group en el análisis de jaulas antivuelco (ROPS). Los resultados evidencian un elevado factor de seguridad en la jaula laminar, y una menor concentración de esfuerzos de Von mises en la jaula tubular, sin embargo, ambas estructuras sufren deformaciones considerables ante cargas laterales y en sus respectivas uniones. Es así que se concluye que ambos formatos estructurales implementados en la fabricación de jaulas interna antivuelco encajan en lo estipulado por la norma RMA Group notando ventajas estéticas y mecánicas en la jaula laminar, recalcando la necesidad de pruebas experimentales a fin de apreciar el comportamiento dinámico de la estructura.

**Palabras clave:** Jaula antivuelco, ROPS, Jaula tubular, jaula invisible, FIA, FMVSS, RMA Group.



## **ABSTRACT:**

A comparative analysis was carried out between the two structural formats used in the manufacture of internal roll cages in the Peruvian national market (Tubular and Laminar), in order to determine the protective efficacy of each one, the analyzed cage design belongs to a truck Toyota Hilux 2015 brand after being selected as the most used light utility vehicle in the national mining sector, the computational analysis sought to obtain the Von mises forces, resulting deformations, safety factor and the displacement in the direction of the applied force, the simulation It was executed using finite element analysis in SolidWorks V2018 software, the regulations implemented for obtaining the forces and their respective location come from the International Automobile Federation (FIA) and the Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVSS) adapted by the multinational company RMA Group in the analysis of Roll Over Protective Structures (ROPS). The results show a high safety factor in the laminar cage, and a lower concentration of Von mises stresses in the tubular cage, however, both structures suffer considerable deformations under lateral loads and in their respective joints. Thus, it is concluded that both structural formats implemented in the manufacture of interior roll cages fit what is specified by the RMA Group standard, noting aesthetic and mechanical advantages in the laminar cage, emphasizing the need for experimental tests in order to appreciate the dynamic behavior of the structure.

**Keywords:** Roll cage, ROPS, Tubular cage, hidden cage, FIA, FMVSS, RMA Group.

## Índice:

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
1.1.	REALIDAD PROBLEMÁTICA:.....	10
1.2.	ANTECEDENTES: .....	13
1.3.	TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA: .....	17
1.3.1.	<i>Unidades Vehiculares:</i> .....	17
1.3.2.	<i>Jaulas antivuelco:</i> .....	24
1.3.3.	<i>Modelado computacional:</i> .....	32
1.4.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA: .....	36
1.5.	DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN:.....	36
1.6.	HIPÓTESIS: .....	36
1.7.	OBJETIVOS: .....	36
1.7.1.	<i>Objetivo General:</i> .....	36
1.7.2.	<i>Objetivos Específicos:</i> .....	36
1.8.	JUSTIFICACIÓN: .....	37
1.8.1.	<i>Justificación Técnica:</i> .....	37
1.8.2.	<i>Justificación Económica:</i> .....	37
1.8.3.	<i>Justificación Ambiental:</i> .....	37
1.8.4.	<i>Justificación Social:</i> .....	37
<b>II.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>38</b>
2.1.	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	38
2.1.1.	<i>Tipo de investigación:</i> .....	38
2.1.2.	<i>Diseño de investigación:</i> .....	38
2.2.	VARIABLES Y DATOS .....	38
2.2.1.	<i>Variables:</i> .....	38
2.2.2.	<i>Operacionalización de variables:</i> .....	39
2.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	40
2.3.1.	<i>Población:</i> .....	40
2.3.2.	<i>Muestra:</i> .....	40
2.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD .....	40
2.4.1.	<i>Técnicas de investigación:</i> .....	40
2.4.2.	<i>Instrumentos de investigación:</i> .....	40
2.4.3.	<i>Validez:</i> .....	41
2.4.4.	<i>Confiabilidad:</i> .....	41
2.5.	ASPECTOS ÉTICOS: .....	41
<b>III.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>42</b>

3.1.	SELECCIÓN DEL MATERIAL:.....	42
3.2.	GEOMETRÍA ESTRUCTURAL DE JAULA ANTIVUELCO:.....	44
3.3.	CONDICIONES INICIALES:.....	47
3.4.	ANÁLISIS ESTÁTICO: .....	49
3.4.1.	<i>Análisis de Jaula interna antivuelco tubular:</i> .....	49
3.4.1.	<i>Análisis de Jaula interna antivuelco Laminar:</i> .....	62
3.5.	DISCUSIÓN:.....	70
3.5.1.	<i>Resumen de resultados:</i> .....	70
3.5.2.	<i>Distribución del factor de seguridad a lo largo de las estructuras:</i> .....	74
<b>IV.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES: .....</b>	<b>82</b>
4.1.	CONCLUSIONES: .....	82
4.2.	RECOMENDACIONES: .....	83
<b>V.</b>	<b>REFERENCIAS: .....</b>	<b>84</b>
<b>VI.</b>	<b>ANEXOS:.....</b>	<b>87</b>

### **Índice de Anexos:**

<b>ANEXO 1:</b>	Protocolos FIA .....	87
<b>ANEXO 2:</b>	Normas FMVSS .....	90
<b>ANEXO 3:</b>	Camionetas Mineras Perú .....	91
<b>ANEXO 4:</b>	Pick-up más vendida Perú.....	93
<b>ANEXO 5:</b>	Modelo Ficha Registro de datos.....	94
<b>ANEXO 6:</b>	Modelo Guía de observación .....	95
<b>ANEXO 7:</b>	Recopilación de fichas de registro .....	96
<b>ANEXO 8:</b>	Recopilación de guías de observación .....	98
<b>ANEXO 9:</b>	Planos de Jaulas antivuelco.....	100
<b>ANEXO 10:</b>	Requerimientos de Mina .....	102

### **Índice de tablas:**

Tabla 1:	Clasificación vehicular .....	18
Tabla 2:	Detalle de carrocería tipo PICK UP .....	19
Tabla 3:	Descripción de volcadura .....	23
Tabla 4:	Cargas según normativa RMA Group .....	29

Tabla 5: Detalle de jaula según normativa FIA .....	29
Tabla 6: Variables de estudio.....	38
Tabla 7: Operacionalización de variables.....	39
Tabla 8: Detalle de perfil tubular .....	42
Tabla 9: Detalle de perfil laminar.....	43
Tabla 10: Detalle de jaula antivuelco tubular.....	45
Tabla 11: Detalle de jaula antivuelco laminar.....	46
Tabla 12: Cargas solicitadas por FIA .....	47
Tabla 13: Cargas según RMA Group .....	48
Tabla 14: Características de vehículo estudiado.....	48
Tabla 15: Tabla de proceso de simulación.....	50
Tabla 16: Resultados simulación carga arco central.....	52
Tabla 17: Tabla de proceso de simulación 2.....	53
Tabla 18: Resultados simulación carga barra frontal.....	55
Tabla 19: Resultados simulación carga vertical .....	57
Tabla 20: Resultados simulación Carga lateral.....	58
Tabla 21: Resultados simulación Carga Longitudinal.....	61
Tabla 22: Sujeción jaula laminar .....	62
Tabla 23: Resultados Simulación carga en barra central .....	63
Tabla 24: Resultados simulación carga en barra frontal.....	65
Tabla 25: Resultados simulación carga vertical .....	66
Tabla 26: Resultados simulación Carga Lateral .....	68
Tabla 27: Resultados simulación Carga Longitudinal.....	69
Tabla 28: Resumen de Resultados.....	70

### **Índice de figuras:**

Figura 1: Accidentes en minas 2000-2019 .....	11
Figura 2: Venta de vehículos livianos-Pick Up, Furgonetas .....	12
Figura 3: Logo emblema de la Federación Internacional de Automovilismo.....	26
Figura 4: Fuerza vs desplazamiento de techo de vehículos según FMVSS-216 .....	27
Figura 5: Deformación de techo vehicular con jaula y sin jaula antivuelco.....	28

Figura 6: Mallado en solido de estudio.....	34
Figura 7: Icono SolidWorks.....	34
Figura 8: Modelo 3D de vehículo Pick-up.....	44
Figura 9: Posición de carga Longitudinal.....	60
Figura 10: Comparación carga en barra central según norma FIA.....	71
Figura 11: Comparación carga en barra frontal según norma FIA.....	72
Figura 12: Comparación carga vertical según norma RMA.....	72
Figura 13: Comparación carga lateral según norma RMA.....	73
Figura 14: Comparación carga longitudinal según norma RMA.....	73
Figura 15: Recorrido FDS-carga vertical-Jaula Tubular.....	76
Figura 16: Curva FDS-carga vertical-Jaula Tubular.....	76
Figura 17: Recorrido FDS-carga vertical-Jaula Laminar.....	77
Figura 18: Curva FDS-carga vertical-Jaula Laminar.....	77
Figura 19: Recorrido FDS-carga lateral-Jaula Tubular.....	78
Figura 20: Curva FDS-carga lateral-Jaula Tubular.....	78
Figura 21: Recorrido FDS-carga lateral-Jaula Laminar.....	79
Figura 22: Curva FDS-carga lateral-Jaula Laminar.....	79
Figura 23: Recorrido FDS-carga longitudinal-Jaula Tubular.....	80
Figura 24: Curva FDS-carga longitudinal-Jaula Tubular.....	80
Figura 25: Recorrido FDS-carga longitudinal-Jaula Laminar.....	81
Figura 26: Curva FDS-carga longitudinal-Jaula Laminar.....	81

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad Problemática:**

Los accidentes de tránsito están dentro de las diez causas de muerte más comunes en el mundo según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Del 54% de decesos en todo el mundo en el año 2016, los accidentes de tránsito ocasionaron 1.4 millones de muertes, del cual el 74% fueron varones, y el grupo etario más afectado la población joven (OMS, 2020).

Según I. Wagner, responsable de investigación en transporte por carretera y fabricación de vehículos, Los estados unidos es uno de los países que tiene mayor actividad vial en el mundo, con aproximadamente 280 millones de vehículos en operación, esto también lo convierte en uno de los países con mayor número de accidentes de tránsito con 36,560 muertes en el año 2018, y el mismo año, en la India, se reportó 178 mil muertes causadas por accidentes en las pistas, esto debido en parte al creciente número de vehículos puestos en circulación según el informe de Vaibhav Asher, analista de datos en Statista (Statista, 2018). En contraste con lo anterior, los países europeos, como Alemania y España reportaron bajas tasas de muertes en accidentes de tránsito en 2018, con 3,275 y 1,827 muertes respectivamente de acuerdo al departamento de investigación de Statista.

En Latinoamérica, Chile reportó 89,983 siniestros, con un saldo de 1,617 muertos en 2019 (Comisión Nacional de seguridad de tránsito). En el Perú, se registraron 87,480 accidentes de tránsito y 3,244 muertes debido a estos en 2018 (INEI, 2018).

Los choques y volcaduras de vehículos no solo se limitan a las ciudades, si no que ocurren también en sectores industriales tales como la construcción, pesca, minería, tala y otras actividades extractivas, donde el transporte es parte importante dentro de sus actividades. La minería es una de los sectores más lucrativo y riesgoso en el mundo, empleando al 1% de la población en todo el mundo y representando el 8% de muertes en todo el globo (OIT, 2020).

En Chile, El Servicio Nacional de Geología y Minería registró 4 muertes por volcadura de un vehículo de transporte en el año 2019 (SERNAGEOMIN, 2019). En el Perú, entre los años de 2017 al 2020 los decesos por accidentes de tránsito (volcaduras, choques, etc.) representan entre un 9 al 11 por ciento del total de víctimas (*Ver figura 01*), debido a otros accidentes ocurridos en las minas (OSINERGMIN, 2020).

Total Mortales por tipo - Porcentajes 2000 - 2019

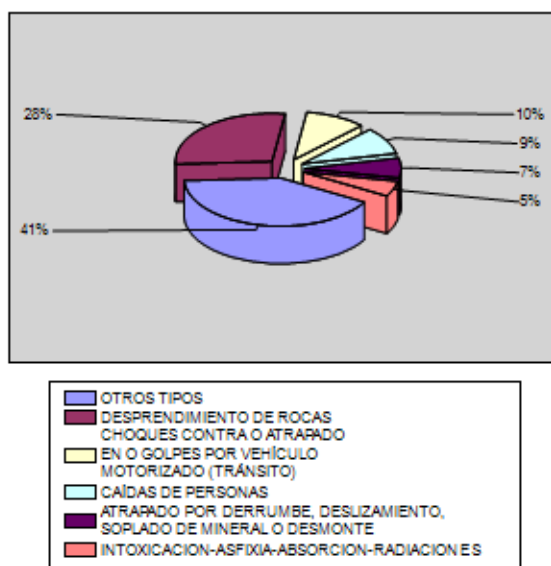


Figura 1: Accidentes en minas 2000-2019

Fuente: Ministerio de energía y minas

Debido a que los accidentes de transporte (choques, impactos por desprendimiento, volcaduras en carreteras, etc.) representan un intervalo promedio de diez por ciento de los decesos ocurridos en faenas en las minas en los últimos cuatro años, las empresas del sector minero, se ven en la obligación de adquirir vehículos con mejores prestaciones de seguridad y mejor adaptadas al duro entorno de las minas. Las camionetas son de los vehículos preferidos para el transporte, adaptadas en zonas de construcción o de extracción minera, en parte a su robustez y fácil manejo en zonas muy peligrosas.

La revista Rumbo minero, dice lo siguiente “*Las camionetas para la industria minera son por lo general 4x4 y con doble cabina, las cuales por un tema de seguridad están equipadas con Air Bag, láminas de seguridad en los vidrios, alarma de retroceso, cinturones de seguridad, frenos ABS, control de tracción, barra antivuelco interna y externa, entre otros equipamientos*”. Las camionetas pick up son de las más demandadas en el mercado; con 22,654 unidades vendidas, representaron el 17.5% de las ventas de vehículos livianos en 2019 (Ver figura 02), según la Asociación Automotriz del Perú (AAP, 2020).

## Venta de vehículos livianos - Pick Up, Furgonetas Anual



Figura 2: Venta de vehículos livianos-Pick Up, Furgonetas  
Fuente: Asociación Automotriz del Perú (AAP)

El reglamento de seguridad y salud en el trabajo en minería, demanda en el caso de vehículos de transporte livianos, que cuente con cinturones de seguridad en los asientos de adelante y atrás obligatoriamente (*Ver anexo 10*), El reglamento no especifica sobre otros sistemas de seguridad complementarios tales como; láminas de seguridad en los vidrios, sistemas antivuelco o jaulas de protección internas o externas (SST-Minería, 2010) y las modificaciones del vehículo quedan como una opción a mejorar siempre y cuando no afecte la seguridad del vehículo (DECRETO SUPREMO N° 058-2003-MTC, 2003). Algunas marcas ya incluyen estas tecnologías dentro de sus unidades, y también existen empresas dedicadas exclusivamente a mejorar las prestaciones del vehículo tales como barras de protección dentro de la cabina si en caso la unidad no contase con esta. (Brambati & Hernán, 2011)

En el automovilismo de competición, el uso de jaulas antivuelco, tiene una larga historia, y fueron concebidas con el fin de evitar importantes deformaciones en la cabina y salvaguardar la integridad física del conductor. En la década de 1980, empezaron a usarse en áreas de trabajo de la industria minera y petrolera, las armaduras eran fabricadas en talleres locales y con diversos diseños dado a que no existía un modelo establecido para estas actividades y en los años de 1990 se incorporan ciertos conceptos estructurales en las pick up (Brambati & Hernán, 2011).



En la actualidad, el uso de jaulas antivuelco se ha extendido al uso de vehículos livianos del parque automotor, pero aún la construcción de estas estructuras es hecha dentro de talleres especializados y de diversas formas, existiendo numerosos modelos de jaulas en el mercado. Los estándares como la norma ISO 3471, la directiva 2001/85, anexo IV de la unión europea solo especifican los procedimientos de ensayos, propiedades mecánicas de aceros, propiedades mecánicas de tornillos y sujetadores, mas no especifican un diseño estándar de la estructura de la jaula.

La Federación Internacional del Automóvil (FIA) estipula en su reglamento el uso obligatorio de jaulas de seguridad en los vehículos para competición, todo terreno y turismo, además detalla las partes básicas y esenciales de la estructura y las diferentes configuraciones de esta (FIA, 2020).

En el mercado peruano, podemos identificar dos tipos de estructuras, tubular y laminar, esta última conocida como jaula antivuelco invisible, por la característica de ocupar menor espacio en la cabina, la existencia de estos se puede evidenciar en las diferentes empresas que las comercializan y ofrecen el servicio de instalación. Empresas como MAXLINER PERÚ E.I.R.L., OPTIMUM ALTA SEGURIDAD E.I.R.L., BIO SOLVE S.R.L., con sede principal Lima.

Con las dos configuraciones de jaulas interna antivuelco presentadas, y al no existir una normativa que regule su implementación deja mucho margen de duda respecto a la eficacia protectora de la estructura en sus dos diferentes formatos, es así que este proyecto de investigación, propone evaluar que configuración presentará mejores características ante siniestros automovilísticos en unidades mineras.

## **1.2. Antecedentes:**

La información presentada a continuación es una recolección de investigaciones actuales a nivel internacional, nacional y local, presentada de manera resumida a fin de tomar las consideraciones más importantes de cada una:

(Dutt Gautam, Pratap Singh, Prajapati, & Norkey, 2020) En su investigación titulada *“Design optimization of roll cage for formula one vehicle by using finite element analysis”* realizaron un análisis mediante elementos finitos (FEA) para la optimización de un vehículo de carreras de fórmula uno en India, estos vehículos son sometidos a grandes velocidades y experimentan fuerzas cinéticas que generan mucho estrés en el chasis y la carrocería del mismo, adicionalmente la implementación de jaulas de seguridad y demás sistemas de protección son

obligatorios en estas carreras, dotando de gran ventaja a aquellos vehículos que logren cumplir con la normativa de seguridad sin aumentar el peso del vehículo en general, con la cual esta investigación se centró en el análisis de la jaula antivuelco empleando acero tubular AISI 1020 de una pulgada de diámetro y espesor de 3 mm, llegando a la conclusión de que se produce menos deformaciones aún con valores sobrestimados de estrés en la cabina (24.45 kN), del mismo modo la prueba de vuelco frontal e impacto lateral (Experimentando más de 5G) arrojo que la jaula es altamente segura comparada con una jaula antivuelco de material convencional para fórmula uno, el software empleado para el diseño fue CATIA V5 y para la simulación se utilizó ANSYS.

(Safiuddeen, Balaji, & ShabeerHussain, 2020) En su trabajo ***“Comparative design and analysis of roll cage for automobiles”*** detalla la comparación realizada a una jaula de seguridad de semejantes características estructurales pero aplicando dos materiales distintos, acero ASTM A36 y fibra de carbono (ePA-CFRPA), justificando su trabajo de investigación debido al elevado costo de realizar pruebas de laboratorio destructivos y el largo tiempo que toman en mostrar resultados, con lo cual la opción viable y económica es aplicar el análisis mediante calculo por elementos finitos utilizando ANSYS workbench y LS DYNA. El proceso de obtención de resultados se categorizo en 3 análisis, choque frontal, impacto lateral y choque por volcadura, visualizando que los resultados del impacto frontal en ambos materiales no muestran cambios considerables sin embargo en lo que respecta a impacto lateral, el acero ASTM A36 obtuvo un factor de seguridad de 28.43 y la fibra de carbono (ePA-CFRPA) un factor de 627.24, valores a tener en consideración por la notable diferencia, de igual forma el análisis de volcadura corrobora la ineficacia de ciertas estructuras a situaciones de gran estrés mecánico, mostrando los siguientes factores de seguridad, acero ASTM A36 un factor de 0.019 y la fibra de carbono (ePA-CFRPA) un factor de 7.79, llegando así a la conclusión de la efectividad del uso de la fibra de carbono en jaulas de seguridad implementadas para competiciones.

(Guasumba Maila, 2019) La presente investigación que lleva el título ***“Análisis estructural de chasis tubular tipo Jaula Nissan Tiida sometido a prueba de impacto lateral basado en simulación por el Método de Elementos Finitos”*** surge con la necesidad de verificar el chasis tubular tipo jaula Nissan Tiida con la finalidad de saber con certeza si es funcional y confiable, puesto que en este caso de estudio dicha estructura cumplirá también la función de soporte y rigidez, debiendo salvaguardar la integridad

física de los conductores. El estudio propuesto en esta investigación se centra en análisis de tipo estático y dinámico direccionado a colisiones laterales de vehículos de competición de tipo tubular permitiendo observar deficiencias a nivel estructural durante el diseño, el software utilizado para validar la estructura fue SOLIDWORKS, y la aplicación de cargas y fuerzas se basó en la normativa técnica INEN 1323 de Estándares Nacionales (Ecuador) e Internacionales ECE R95, para la determinación de su resistencia y cargas combinadas, todo ello aplicado a diferentes materiales como: Aleaciones de aluminio con calidad 6061, Acero ASTM A36, AISI 304, AISI 1020, AISI 1018, AISI 1015, AISI 1010 y AISI 316. El estudio determinó que la máxima deformación obtenida fue de 4.909 mm de la parte lateral del vehículo, y un factor de seguridad mínimo de 2.7, el cual está dentro del rango permitido (2.5 a 4), la comparación determino que el material más funcional como chasis tubular es el acero ASTM A36 con una deformación de 1.669 mm y un factor de seguridad 4.6 todo esto según la combinación de cargas más críticas, adicionalmente se rescata que la simulación se planteó a velocidades de conducción de 100 a 200 Km/h.

(Brambati & Hernán, 2011) En su informe técnico ***“Jaulas internas y barras externas antivuelco para camionetas pick-up”*** aborda desde la perspectiva de seguridad vial Argentina la recopilación de investigaciones y datos estadísticos, brindados por las aseguradoras, de los accidentes ocurridos en carretera, comparando principalmente los desenlaces ocurridos en camionetas modelos pick-up con y sin jaula de protección antivuelco. La investigación describe de manera clara la dinámica de movimiento que sufre el vehículo durante un accidente de volcadura al producirse un movimiento tipo tonel, y hace mención a la deformación programada con la que se diseñan los automóviles con el objetivo de reducir la dinámica de movimiento, en caso de accidente, de manera proporcional sin generar atascamiento abrupto que provoca graves lesiones a los ocupantes, con esto presente se procedió a analizar los datos accidentológicos revelados hasta esa fecha (2009), encontrando 20 modelos de jaulas existentes en el mercado, con lo cual se ratifica la inexistencia de jaulas antivuelco homologadas en el país, así mismo muchas de estas perjudican seriamente los otros componentes protectores del vehículo como son los airbags, cinturones de seguridad y disminuyen considerablemente el espacio del habitáculo, es por todo lo mencionado anteriormente que esta investigación se plantea con miras a que los avances tecnológicos introducidos en las pick-ups, nos lleve a pensar y volver a discutir la necesidad de seguir o no sosteniendo elementos ajenos al vehículo, que podrían disminuir los márgenes de seguridad activa y pasiva de los pasajeros del vehículo si no se toma en cuenta su diseño óptimo.

(Karikalan, 2018) En la presente investigación titulada ***“Design and development of roll cage for all terrain vehicles”*** se procedió a diseñar una jaula de seguridad para vehículos todo

terreno, el proceso aplico varios conceptos de ingeniería como las propiedades de materiales, la selección de perfiles estructurales tubulares y simulaciones por computador, aplicando discretización de variables. Los materiales seleccionados para el diseño fueron AISI 1018, AISI 4130, AISI 1026, 1020 DOM, definiendo las propiedades mecánicas de cada uno. En primera instancia se diseñó le marco principal de soporte, teniendo en consideración las limitaciones básicas del diseño y los requerimientos principales tales como, mantener la rigidez de la estructura y mantener el centro de masa general de toda la instalación del vehículo. Las dimensiones de las tuberías seleccionadas cumplen con mantener un diámetro máximo de 25.4 mm y un espesor de 3 mm tomando en cuenta la flexión estructural y la facilidad de fabricación. Los parámetros empleados para la simulación fueron la rigidez y resistencia del marco, en condiciones severas ante impactos, torsión y vuelcos a fin de garantizar la máxima seguridad al conductor, el software de simulación utilizado en esta investigación fue ANSYS 16.0 empleando una malla tetraédrica con un tamaño óptimo de 6%, la masa del vehículo se consignó en 350 kg y las velocidades se simularon a 60 Kmph. Se llego a la conclusión de que la deformación general del vehículo dependerá de la fuerza implicada en la colisión, y el diseño presentado resistirá los impactos suscitados en la pista garantizando la seguridad del conductor y el rendimiento del vehículo.

Los autores (Moura & Oliveira, 2014) en su investigación ***“Uma estrutura protetora contra capotamento e impacto (R.O.P.S.) para ser externamente montada sobre um veículo 4x4”*** realizaron el diseño de una estructura de protección anti vuelcos e impactos (ROPS) para una empresa del sector minero enfocada en construcción que transita por senderos de alto riesgo de accidentes con rodadura en altura, a fin de promover la seguridad de los pasajeros sin comprometer los criterios técnicos vehiculares. Para la aprobación del diseño se modelo y analizó en los softwares CATIA V5 y ANSYS, de manera adicional se fabricó un prototipo del diseño antes mencionado y se llevaron a cabo las pruebas físicas correspondientes en un banco de pruebas experimental aplicando 3 cargas principales, finalmente el prototipo fue sometido a una prueba piloto en donde se montó en un vehículo 4x4 para someterlo a un vuelco intencional y corroborar su funcionamiento de protección. Las pruebas estáticas y dinámicas realizadas demostraron que el prototipo desarrollado en este proyecto cumple con los criterios de desempeño establecidos por estándares y protocolos internacionales relacionados con el tema. Los aceros seleccionados presentaron un excelente comportamiento, la camioneta entregada por la empresa fue sometida a un vuelco a posición invertida a 60 km/h, y se comprobó

la integridad estructural de la jaula antivuelco puesto a que no se presentaron deformaciones.

(Chakraborty & Kumar Neopaney, 2014) En esta investigación titulada, “*Static Analysis of Roll Cage*” se realizó un análisis estático de la jaula antivuelco de un vehículo monoplace, se procedió a realizar el diseño del modelo tridimensional de la jaula antivuelco usando el software CATIA V6, brindando un detalle minucioso de las características mecánicas del material, las condiciones de carga se resuelven teóricamente para facilitar el ingreso de parámetros en el software CAD/CAE, el método de análisis de estrés de la estructura que se empleó fue, a través de un método experimental y matemático. Se emplearon también análisis estáticos lineales y no lineales a fin de determinar su plasticidad y rigidez, análisis nodal para determinar las frecuencias y formas nodales de la estructura, análisis armónico para recrear la respuesta de la estructura ante fuerzas cíclicas, y finalmente un análisis dinámico transitorio acompañado de simulación por pandeo de la estructura. Los resultados sobre la tensión en los miembros de la estructura y los desplazamientos que se dan se hallan dentro de los límites permitidos con una deformación de 0.218mm y el estrés máximo desarrollado es alrededor de  $7.85e +006$  que es mucho menos que su límite elástico, concluyendo con la verificación del modelo estructural.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema:**

#### **1.3.1. Unidades Vehiculares:**

Se define como unidad vehicular a un medio de locomoción que permite el transporte de un punto a otro de personas u objetos, la entidad responsable del correcto ordenamiento de este medio es el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), que es el órgano del poder ejecutivo que reúne la documentación y normativa necesaria para la libre y segura circulación vehicular.

#### **a. Partes de un vehículo:**

Un vehículo se compone de dos estructuras principales sin importar la gran variedad existentes de ellos:

##### **a.1. Chasis:**

Corresponde a la estructura interna del vehículo, da forma y rigidez, aportando soporte a los demás componentes mecánicos del mismo, y sirviendo de marco estructural para la carrocería.

##### **a.2. Carrocería:**

Comprende la parte visible del vehículo, va montada sobre el chasis y aporta

características geométricas importantes en aerodinámica, estética y protección para el conductor.

### b. Clasificación Vehicular:

La clasificación vehicular y estandarización de características registrables brindadas por la Resolución Directoral N°4848-2006-MTC/15 estipula diferenciar las unidades vehiculares en 5 grupos según las siguientes consideraciones:

- Clasificación I: Según el número de ruedas y su uso (Transporte de personas o mercancías).
- Clasificación II: Según el tipo de carrocería.
- Clasificación III: Por colores aprobados en el MTC.
- Clasificación IV: Por el tipo de transmisión.
- Clasificación V: Por el tipo de combustible o fuente de energía.

Para fines prácticos de la presente investigación, se considerará la primera y segunda clasificación, la cual enmarca las características morfológicas a considerar.

Teniendo dentro de la **clasificación I** la categoría vehicular **NI** correspondiente a aquellos vehículos de 4 ruedas diseñados para el transporte de mercancías, catalogados con un Peso Bruto Vehicular (PBV) de 3.5 Toneladas o menos (*Ver tabla 01*).

Tabla 1: Clasificación vehicular

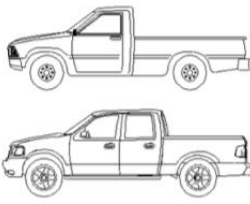
		<b>Clasificación I</b>
<b>Categoría L</b>	Vehículos automotores con menos de 4 ruedas	
<i>L1</i>	Dos ruedas, hasta 50 cm <sup>3</sup> y velocidad máxima de 50 Km/h	
<i>L2</i>	Tres ruedas, hasta 50 cm <sup>3</sup> y velocidad máxima de 50 Km/h	
<i>L3</i>	Dos ruedas, más de 50 cm <sup>3</sup> o velocidad mayor a 50 Km/h	
<i>L4</i>	Tres ruedas asimétricas al eje longitudinal, más de 50 cm <sup>3</sup> o velocidad mayor a 50 Km/h	
<i>L5</i>	Tres ruedas simétricas al eje longitudinal, más de 50 cm <sup>3</sup> o velocidad mayor a 50 Km/h y PBV menor a 1 tonelada.	
<b>Categoría M</b>	Vehículos automotores de 4 ruedas o más diseñados para el transporte de personas.	
<i>M1</i>	De hasta 9 asientos (Incluido el conductor).	
<i>M2</i>	De más de 9 asientos (Incluido el conductor) y PBV de hasta 5 toneladas.	Clase I: Metropolitano. Clase II: Transporte de pasajeros sentados y de pie. Clase III: Pasajeros sentados.
<i>M3</i>	De más de 9 asientos (Incluido el conductor) y PBV mayor a 5 toneladas.	

<b>Categoría N</b>	Vehículos automotores de 4 ruedas a más diseñados para el transporte de mercancías.
<b>N1</b>	<b>De PBV de 3.5tn. o menos.</b>
<b>N2</b>	De PBV mayor a 3.5tn. hasta 12tn.
<b>N3</b>	De PBV mayor a 12tn.
<b>Categoría O</b>	Remolques y Semirremolques
<b>O1</b>	Remolques de PBV de 0.75tn. o menos.
<b>O2</b>	Remolques de PBV mayor a 0.75tn. hasta 3.5tn.
<b>O3</b>	Remolques de PBV mayor a 3.5tn. hasta 10tn.
<b>O4</b>	Remolques de PBV mayor a 10tn.
<b>Categoría Especial</b>	Sub categoría de los vehículos M, N y O que cumplen una función específica en su diseño: Casas rodantes, vehículos blindados, ambulancias, vehículos funerarios, bomberos, porta tropas, etc.

Fuente: MTC

Según lo definido por el MTC dentro de la **Clasificación II**, contamos con una gran variedad de tipos de carrocería pertenecientes a las diferentes categorías, L, M, N, O, siendo la categoría M definido por las características de la zona de transporte de pasajeros y la categoría N y O definido por la zona donde se transporta la mercancía. De esta manera podemos sectorizar el modelo de carrocería perteneciente a la categoría N que es el objeto de estudio de la presente investigación, contando con el modelo de carrocería tipo PICK UP (Ver tabla 02).

Tabla 2: Detalle de carrocería tipo PICK UP

Código	Carrocería	Categoría	Definición	Gráfico referencial
PUP	PICK UP	N1/N2	“Vehículo destinado al transporte de mercancías, con carrocería de metal que sigue la línea y forma de la cabina, sin techo, que forma una caja rectangular, con compuerta posterior, puede tener una cubierta de protección en la zona de carga, instalado a nivel del borde de la carrocería”.	

Fuente: MTC

### c. Sector de implementación:

Lo definido por El Banco de Reserva del Perú (BCRP, 2020) en lo referente a sectores económicos, nos permite ubicar a la minería dentro del sector extractivo o primario, representando una fuente importante de ingresos para el país y el crecimiento del producto bruto interno, dentro de este sector se toma en cuenta que el vehículo liviano seleccionado por defecto para desempeñar su función en el sector minero son las Pick-Ups.

Según la revista (Rumbo Minero, 2019), la minería al estar ubicada en zonas de difícil acceso presenta requerimientos de altos estándares y prestaciones en sus vehículos livianos, para el transporte no solo de personal sino también para la asistencia con diferentes materiales o insumos que sean de necesidad para la locación minera, por lo cual tres grandes marcas representantes del sector automotriz tales como: Toyota, Ford y Nissan, asumen la responsabilidad de abastecer con flotas vehiculares a la mayor parte del sector en el país. De igual forma estas empresas se comprometen a equipar sus vehículos con kit mineros especializados tomando en relevancia la seguridad y comodidad de uso, por mencionar algunos de estos sistemas se hace hincapié que cuenta con airbags, frenos ABS, control de estabilidad, jaula interior y barra antivuelco externa, Control de Descenso en Pendientes (HDC), y el Asistente de Ascenso en Pendiente (HSA), entre otras propuestas diferentes entre marcas.

#### **d. Deformación programada:**

El origen del automóvil represento un antes y un después en la historia de la humanidad y desde su comienzo hasta ahora a evolucionado a pasos agigantados, desde el punto de vista de ingeniería y enfocándonos en la seguridad, se asignaron numerosos métodos de protección, dentro de los cuales encontramos la deformación programada, un método de seguridad pasiva, que logra una desaceleración proporcional del vehículo en situaciones de siniestro automovilístico, generando deformación en la parte frontal y posterior, pero siempre protegiendo el habitáculo y a sus ocupantes. De esta manera se logra una absorción de energía y distribución de cargas, sacrificando elementos de la carrocería y evitando lesiones fatales a los ocupantes (Gaguancela Sañaicela & Puente Castro, 2016).

#### **e. Accidentes automovilísticos:**

Durante un accidente vehicular, independientemente del lugar o las causas, se pueden presentar colisiones frontales, laterales o de volcadura, para determinar las fuerzas que actúan en esas situaciones es necesario conocer y determinar los efectos y características que faciliten el estudio de cada situación.

##### ***e.1. Energía de deformación:***

Al generarse una colisión vehicular, los elementos externos de este, conocido como carrocería, tienden a recibir y transformar el impacto en energía de deformación o



potencial. Esta energía es igual al producto de la fuerza promedio y la deflexión de esta manera la energía potencial almacenada en un elemento deformado se determina con la siguiente ecuación (Shigley, 2003):

$$U = \frac{FY}{2} = \frac{F^2}{2K}$$

Donde:

$F$  = fuerza media

$Y$  = deformación

$K$  = constante del material =  $K = AE/L$

De igual forma se puede sustituir  $K$ , con la energía de deformación para tensión y compresión de la siguiente manera:

$$U = \frac{F^2L}{2AE}$$

Donde:

$A$  = Área

$E$  = Módulo de elasticidad longitudinal

$L$  = Longitud

#### ***e.2. Efectos de las propiedades del material:***

Las características principales a observar son la plasticidad y elasticidad de los componentes principales que constituyen un vehículo.

- **Elasticidad:** Puede ser reversible o permanente dependiente del material, es la capacidad de los materiales de deformarse frente a un estímulo y retornar a su forma original cuando se anula la fuerza o estímulo aplicado.
- **Deformación plástica:** Caracterizado por ser irreversible o permanente, el material no recupera su forma después de cancelar la fuerza que actúa su ella. Durante un accidente automovilístico ocurre deformación plástica en frío lo que genera grandes daños estructurales en el material, superando incluso su límite elástico y llegando a la ruptura.

#### **f. Fuerzas que actúan en una colisión:**

Durante un siniestro automovilístico generado por un impacto, se puede apreciar en función de la trayectoria que toma el vehículo fuerzas internas y externas que actúan sobre él.

- Las fuerzas externas: producidas por obstáculos en la carretera o calzada que pueden generar una oposición a la trayectoria natural, generando impacto de forma frontal o lateral.
- Las fuerzas internas: Producidas por la inercia de los ocupantes y la propia masa y velocidad con la que se transportaba el vehículo.

**f.1. Impacto:**

Situación que se manifiesta cuando dos cuerpos entran en contacto, con cierta velocidad y aceleración, durante un lapso corto de tiempo generando una descarga energética impulsiva.

Según las características del impacto, en el automovilismo se pueden clasificar en:

**f.2. Impacto central:**

Se manifiesta cuando los centros de masa de cada Unidad-Unidad o Unidad-Obstáculo, se encuentran alineados, de tal manera que sus vectores de trayectoria son colineales. Durante este tipo de impactos los vehículos se consideran deformables, donde el impulso de deformación es igual pero opuesto entre si llegando a la deformación máxima. Con relación a la cantidad de movimiento, esta se conserva durante la colisión dado que los impulsos internos de deformación y restitución se cancelan, es así que la ecuación del momento lineal queda expresada de la siguiente manera (Beer, 2010):

$$m_A(V_A)_1 + m_B(V_B)_1 = m_A(V_A)_2 + m_B(V_B)_2$$

Donde:

$m$  = masa de los vehiculos

$V_1$  = velocidad antes del impacto

$V_2$  = velocidad despues del impacto

**f.3. Coeficiente de restitución:**

Se entiende por restitución al a reacción mecánica de los vehículos de retornar a su forma luego de un impacto, dependiendo de la magnitud de esta, pueden regresar a su forma original o quedar deformados y se puede expresar de manera numérica mediante la siguiente ecuación (Hibbeler Russell, 2010):

$$e = \frac{(V_B)_2 - (V_A)_2}{(V_A)_1 - (V_B)_1}$$

Donde:

$e =$  coeficiente de restitución

$e = 1 =$  impacto elástico (se conserva el impulso y la energía cinética)

$e = 0 =$  impacto plástico (se conserva el momento pero no la energía cinética)

**f.4. Impacto oblicuo:**

Se observa comúnmente en la mayoría de accidentes en pistas muy transitadas, donde la unidad vehicular impacta de forma tal que sus velocidades de direcciones y magnitudes son desconocidas apartándose una de otra a manera de rebote (Hibbeler Russell, 2010).

**f.5. Volcamiento:**

Por lo general ante una situación de volcadura se aprecia un movimiento de tipo “Tonel” caracterizado por un derrape lateral sobre 2 ruedas, que al encontrarse con algún obstáculo o excesivo rozamiento de la superficie de la calzada se genera un destalonamiento que dará inicio al vuelco del vehículo.

Se puede apreciar 4 etapas importantes durante este acontecimiento (Ver tabla 03):

Tabla 3: Descripción de volcadura

	
<p><b>1.</b> Al iniciar el vuelco hacia la derecha, el lateral derecho no entrará en contacto con el piso.</p>	<p><b>2.</b> Impactará contra el suelo con el borde derecho de su techo.</p>

	
<p><b>3.</b> El vehículo rodará y se arrastrará sobre el techo.</p>	<p><b>4.</b> Finalmente, cargará y arrastrará sobre el lateral opuesto al inicio del giro.</p>

*Fuente: (Brambati & Hernán, 2011)*

La relación de giros que pueda dar el vehículo en forma de tonel dependerá de la pendiente y velocidad con la que se movía sobre la calzada (Brambati & Hernán, 2011).

### **1.3.2. Jaulas antivuelco:**

También llamado jaulas de seguridad o barras de seguridad, a diferencia de lo que indica su nombre, no evita la volcadura del vehículo en sí, pero sí asiste brindando seguridad a sus ocupantes.

La jaula antivuelco es un mecanismo pasivo de seguridad vehicular implementado inicialmente en competiciones automovilísticas, frente a la necesidad de aumentar los niveles de seguridad, el principio de funcionamiento de estas armaduras metálicas es evitar la deformación exagerada de la carrocería en caso de accidente (Brambati & Hernán, 2011).

Las jaulas antivuelco en la actualidad se implementan de manera obligatoria, en el automovilismo de competición, formando parte importante del conjunto general de sistemas de seguridad (FIA, 2020), principalmente por las velocidades que alcanzan estos vehículos y las fuerzas que se ejercen sobre estos. En los años de 1980, con la necesidad de proteger la vida de trabajadores de la industria petrolera y minera de vuelcos vehiculares registrados en zonas de trabajo se empezó a implementar el uso de estas jaulas en vehículos livianos con acceso constante a estos sectores, principalmente en vehículos Pick-up 4x4, es así que las jaulas antivuelco se empezaron a fabricar en distintos talleres y metalúrgicas con diferentes diseños teniendo presente simplemente su función principal

y mejorándolo con los años, hoy en día debido a la demanda del mercado, los vehículos vienen en su mayoría equipados con estos sistemas en función al requerimiento del cliente y en diferentes formatos.

**a. Origen de la jaula antivuelco:**

Con la masificación del uso vehicular a nivel mundial, se propagaron los accidentes entre estos y con la finalidad de mitigar y reducir un resultado mortal en los ocupantes se implementaron normativas y medios de protección, como lo son las jaulas de seguridad antivuelco que en sus orígenes 1920-1959 se aplicaron inicialmente a maquinaria agrícola, puesto que se estimaron que un 60% de los accidentes vinculados en este sector se daban por volcadura de maquinaria y para fines del año 1959, Suecia hizo obligatorio su uso en tractores y maquinaria pesada, normativa que se propago por todo el planeta.

Para los años de 1959 hasta 1971 se tenía globalizada la norma que hace obligatorio el uso de las jaulas antivuelco en maquinaria agrícola sin embargo, en el terreno de la competición automovilística no se contemplaba como un instrumento indispensable, puesto que se creía que repercutía en la aerodinámica del automóvil, después de algunos debates de los organismos involucrados se consolidó para el año 1971 como parte importante de la seguridad en competición de automóviles de altas velocidades.

En el año de 1976 se usó por primera vez de manera externa en vehículos del ejército británico, la empresa encargada de la instalación llevaba el nombre de Safety Devices.

Con el paso de los años en los 90's las jaulas antivuelco de seguridad se volvieron más innovadoras y vanguardistas, haciéndose más ligeras, estilizadas y aerodinámicas. Incluso se tomó en cuenta que su uso no perjudique el consumo de combustible y debido a la solicitud y gran demanda, las concesionarias de vehículos 4x4 comenzaron a ofrecer dicho artículo con un accesorio adicional.

Actualmente la tecnología de jaulas antivuelco ha recorrido un largo camino, ya que algunas máquinas agrícolas están equipadas con jaulas antivuelco que se despliegan durante el rodaje. Algunos fabricantes de automóviles han experimentado con la instalación de jaulas antivuelco discretas, invisibles, en la estructura de los automóviles, que simultáneamente mejoran las características de seguridad del automóvil, pero no afectan la estética (Airport Metals, 2018).

**b. Normativa involucrada:**

***b.1. Normas de la Federación Internacional de Automovilismo (FIA):***

Las normas de la FIA rigen para el diseño, accesorios y fabricación de vehículos de competición. Debido a que estos vehículos tienen un alto riesgo de volcarse, los requerimientos son más rigurosos.

En el artículo número 8 de la normativa de la FIA (FIA, 2020) establece los protocolos de diseño, fabricación y pruebas de jaulas de seguridad para los vehículos de competición (*Ver anexo 01*).



*Figura 3: Logo emblema de la Federación Internacional de Automovilismo.*

*Fuente: FIA*

***b.2. FMVSS 214 - 216***

Las normas FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards). Son normas emitidas para el mercado automotriz norte americano y rigen en operaciones como diseño, montaje, fabricación y pruebas de la producción de autos (*Ver figura 04*). La norma FMVSS 214 establece los protocolos para las pruebas de resistencia de impacto lateral mientras que la numero 216, rige las pruebas de impacto y resistencia del techo del vehículo, el listado general de estas normativas se muestra en el *Anexo 02*.

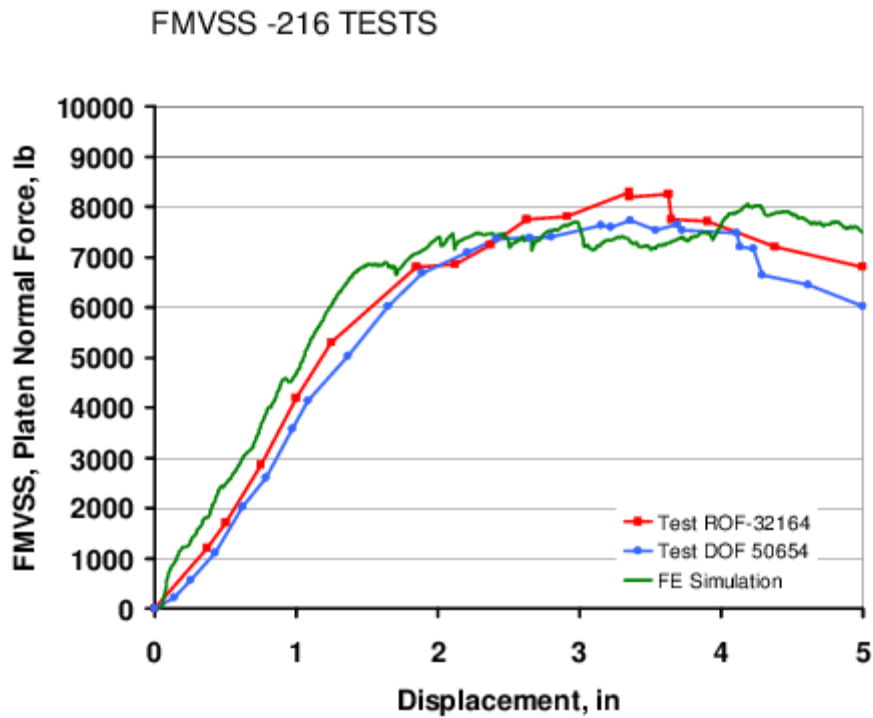
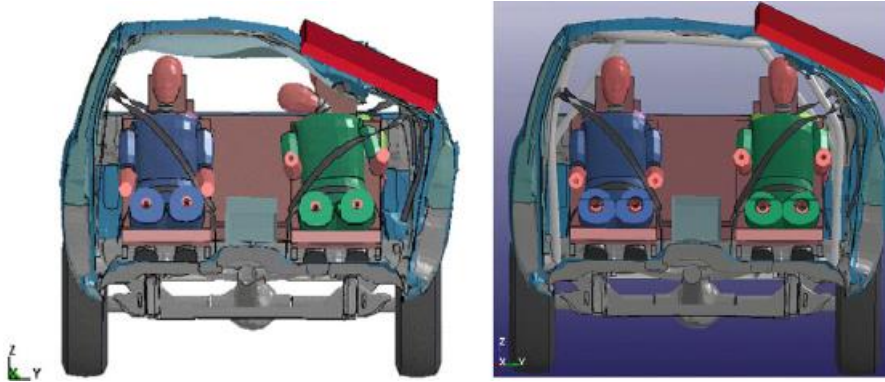


Figura 4: Fuerza vs desplazamiento de techo de vehículos según FMVSS-216  
Fuente: FMVSS-216

Las pruebas de aplastamiento están reguladas por las normas FMVSS 216 que establece los requisitos de resistencia para el techo del habitáculo para reducir los daños a los ocupantes del vehículo. La prueba que establece la norma es una prueba cuasi estática que realiza impactando un bloque solido con dimensiones establecidas y con una fuerza aplicada de 1.5 veces el peso del vehículo por la aceleración de la gravedad.

La metodología trabajada es la siguiente: primero, se realiza la prueba de impacto con el vehículo sin una estructura de protección y con dos maniqués de prueba observándose las deformaciones e intrusión de la cabina resultando en lesiones que se miden en los maniqués y la segunda parte se realiza la simulación usando una estructura de seguridad, mostrando una mayor rigidez y baja deformación de la cabina ante el impacto (*Ver figura 05*).



*Figura 5: Deformación de techo vehicular con jaula y sin jaula antivuelco.  
Fuente: (Clerck, 2014)*

En el estudio realizado por la FMVSS se evalúa los siguientes parámetros, fuerza máxima, energía absorbida y altura de caída equivalente. El parámetro de altura equivalente mide la altura del cual el vehículo podría caer sobre su techo y producir el mismo nivel de aplastamiento que en los experimentos. Cada uno de los parámetros se calcula dentro del intervalo de 2.5 a 10 pulgada de desplazamiento de la placa. Las pruebas se hacen con diferentes marcas de vehículos (Clerck, 2014).

### ***b.3. Norma RMA***

La norma RMA desarrollado por Asia Automotive, es un protocolo de prueba orientado al diseño, fabricación, prueba e instalación de estructuras internas de seguridad antivuelco en vehículos comerciales.

Existen normas que aplican solo para vehículos de competición, tractores, maquinaria para movimiento de tierras, sin embargo, estas normas no aplican para vehículos ligeros de uso civil. Principalmente el uso de los ROPS en vehículos ligeros surge en industria minera, entornos remotos, de ahí la importancia de crear una normativa para Las estructuras de seguridad para este tipo de vehículos (RMA Group, 2020).

Por lo mencionado con anterioridad surgen las siguientes cargas de estudio (*Ver tabla 04*), su finalidad es comprobar que las estructuras superen dichas fuerzas cuasi estáticas, a fin de validar que, en caso de un accidente de volcadura, la cabina resguarde a los ocupantes.



Tabla 4: Cargas según normativa RMA Group

<b>Normativa RMA GROUP</b>		
Fuerza de Carga Vertical (N)	Fuerza de Carga Lateral (N)	Fuerza de Carga Longitudinal (N)
<b><math>4.0 \times g \times W_{Bruto}</math></b>	<b><math>1.5 \times g \times W_{Bruto}</math></b>	<b><math>1.0 \times g \times W_{Bruto}</math></b>

Fuente: (RMA Group, 2020)

### c. Morfologías de jaulas antivuelco:

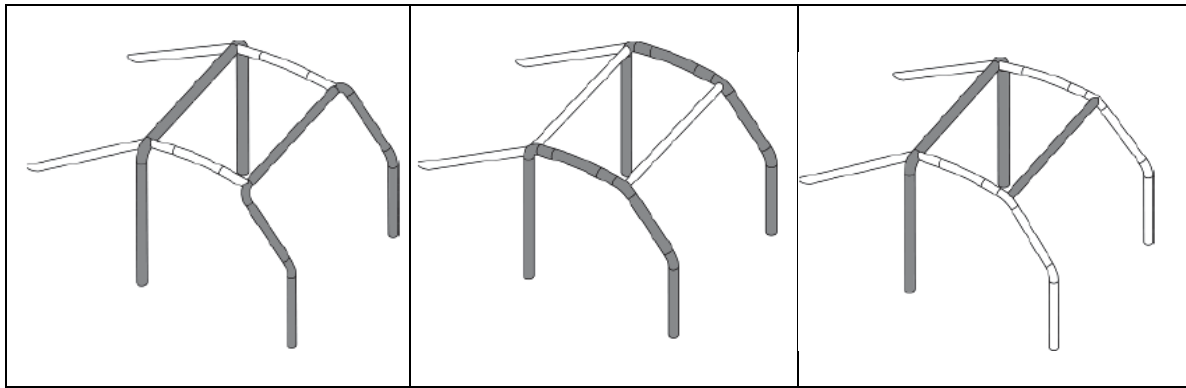
Existen reglamentos internacionales y nacionales que establecen la morfología estructural de la jaula antivuelco vehicular a fin de parametrizar componentes principales de estas, facilitando su homologación en el sector de la competición y legalizando su uso en el parque automotor.

Según la Federación Internacional del Automóvil (FIA, 2020), en su normativa referente al detalle técnico de los vehículos, anexo J artículo 253-8, pone en manifiesto las tres formas de manufacturar e instalar las jaulas antivuelco, la primera es conocido como el método artesanal y hace referencia a seguir las recomendaciones de diseño propuestas en la normativa la pie de la letra:

- Tener en consideración que la normativa exige un mínimo necesario, pero no brinda libertad de diseño adicional, cualquier otro agregado de diseño que no se mencione en la normativa queda fuera de caso.
- La normativa se basa en requisitos mínimos de nivel de diseño, dimensiones de material (diámetro y espesor), y material a utilizar (*Ver tabla 05*).

Tabla 5: Detalle de jaula según normativa FIA

<b>Estructura básica (Normativa FIA-Anexo J-artículo 253-8)</b>		
<i>- La estructura básica debe estar realizada según los siguientes diseños</i>		
<i>1 arco principal + 1 arco delantero + 2 miembros longitudinales + 2 tirantes traseros + 6 pies de anclaje.</i>	<i>2 arcos laterales + 2 miembros transversales + 2 tirantes traseros + 6 pies de anclaje.</i>	<i>1 arco principal + 2 semiarcos laterales + 1 miembro transversal + 2 tirantes traseros + 6 pies de anclaje.</i>

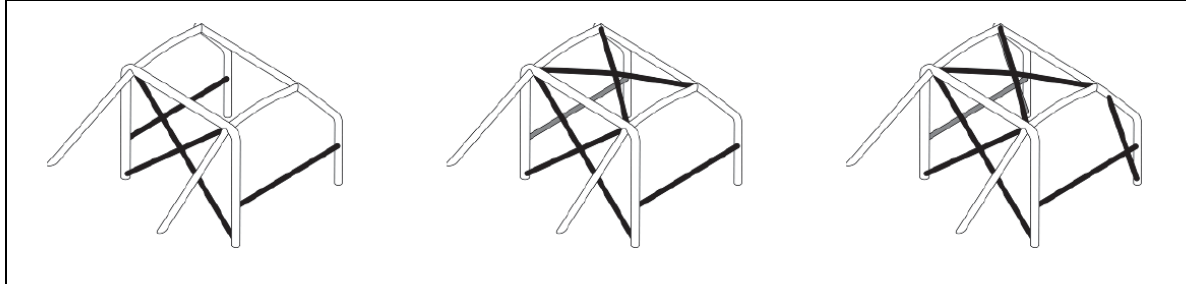


**Diseño de refuerzos**

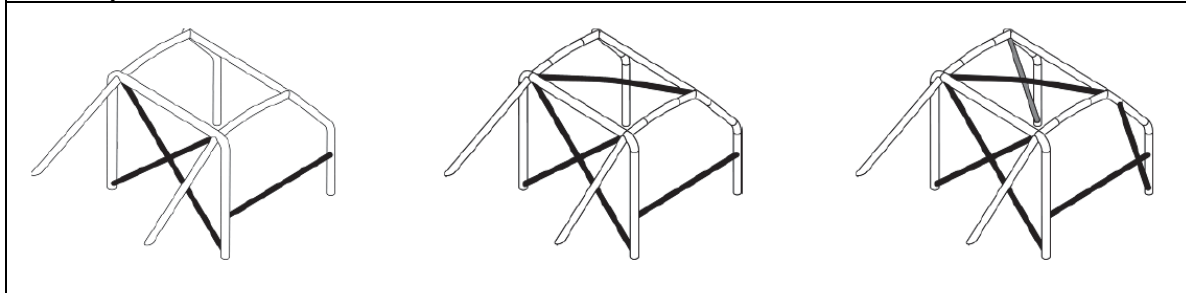
- Se debe complementar la estructura basica con tirantes y refuerzos obligatorios teniendo en cuenta la existencia de copiloto o no.

*Componentes: Tirante Diagonal, Barras de Puertas, Refuerzos de Techos, Refuerzos de Parabrizas, Angulos y Uniones.*

**Con Copiloto:**



**Sin Copiloto:**



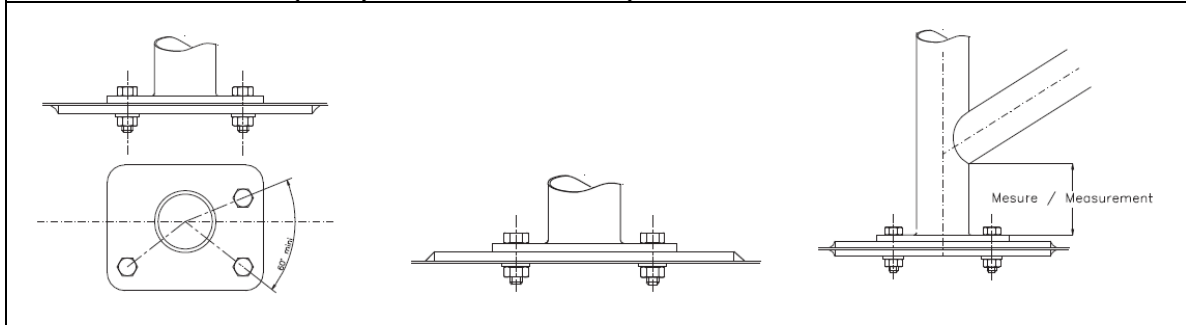
**Anclajes de la jaula antivuelco**

*Puntos minimos de acanclaje:*

- 1 para cada montante del arco delantero.
- 1 para cada montante de los arcos laterales o semiarcos laterales.
- 1 para cada montante del arco principal.
- 1 para cada tirante longitudinal trasero.

*Caracteristicas base:*

- Cada pie de anclaje debe estar fijado por, al menos, 3 tornillos en una placa de refuerzo de, al menos, 3 mm de espesor y de, al menos, 120 cm<sup>2</sup> que estará soldada a la carrocería.



<b>Especificaciones del perfil</b>		
<b>Material:</b>	<i>Acero al carbono no aleado conformado en frío sin soldadura conteniendo un máximo del 0,3% de carbono.</i>	
<b>Resistencia Minima a la tracción:</b>	<b>Dimensiones minimas (mm):</b>	<b>Aplicación:</b>
<i>350 N/mm<sup>2</sup></i>	<i>45 x 2.5 (1.75"x0.095") o 50 x 2.0 (2.0"x0.083")</i>	<i>Arco principal o arcos laterales y miembros transversales traseros según la construcción.</i>
	<i>38 x 2.5 (1.5"x0.095") o 40 x 2.0 (1.6"x0.083")</i>	<i>Semiarcos laterales y otras partes de la estructura de seguridad.</i>

Fuente: FIA

Las otras dos formas de diseño, se podrían considerar libres a cada competidor, sin embargo, es necesario validar su diseño en ciertos organismos responsables de estas competencias, generalmente brindando un certificado de homologación de la Autoridad Deportiva Nacional (ADN) o en su defecto un estudio particular al diseño realizado por la propia Federación Internacional de Automovilismo (FIA). En estos dos últimos casos las entidades solicitan al participante los siguientes documentos:

- Un estudio Técnico-Descriptivo de la jaula antivuelco.
- La memoria de cálculos de resistencia de materiales por elementos finitos.
- Certificado de prueba del material utilizado.
- Certificado de cualificación del soldador homologado.

En lo que respecta a la normativa nacional Según lo aprobado por el Decreto Supremo N°017-2008-MTC en su Artículo 23 “*Condiciones técnicas específicas mínimas exigibles a los vehículos para el servicio de transporte público de personas, bajo la modalidad de transporte especial*”. Se considera pertinente contar con certificación del fabricante de haber realizado de manera física o mediante software especializado, el ensayo de vuelco en un vehículo completo y contar con Jaula antivuelco conformada en la estructura del vehículo tubular.

Si bien estas características son propias de vehículos de categoría especial, serán tomadas en consideración, por estar incluidas en las normativas del MTC.

Adicionalmente se puede contemplar en el Decreto supremo N°058-2003-MTC, Titulo III “*Requisitos vehiculares*”, Artículo 27 “*Accesorios vehiculares*”, lo siguiente:

*“Los vehículos podrán contar con accesorios tales como defensas especiales delanteras y posteriores, barras antivuelco,*

*parrillas de techo, alerones, spoilers, viseras, estribos, soportes y cubiertas de rueda de repuesto, soportes de galoneras, enganche para remolque, bases de pértigas y antenas, winches, escaleras posteriores, soportes centrales de toldo, tomas de aire del motor laterales, entre otros, siempre y cuando éstos tengan bordes redondeados”*

Con lo cual se puede presumir que a nivel nacional la geometría de las jaulas antivuelco solo se limita a generar diseños seguros, dejando amplia versatilidad al momento de recibir propuestas de diseño, siempre y cuando estos no representen un problema de seguridad al conductor y pasajeros.

***c.1. Jaula interna antivuelco Tubular:***

Armazón estructural que sirve de protección en caso de volcadura o impacto del vehículo, configurado por perfiles de sección transversal tubular.

***c.2. Jaula interna antivuelco Laminar:***

También conocidas como jaulas antivuelco invisibles, se originaron para su uso en el parque automotor (no competitivo), puesto que algunos fabricantes de automóviles experimentaron con la implementación de jaulas antivuelco discretas a fin de no afectar la estética interior del vehículo (Aiport Metals, 2018), su origen se debe a que se realizaron algunas variaciones a las jaulas internas antivuelco tubular, que implican diseñar la jaula de seguridad para ubicarla debajo de la tapicería original, con modificaciones menores, esto involucra un alto costo por la precisión requerida y el detalle estético necesario para su implementación, pero trae la ventaja de no limitar el espacio útil de la cabina, finalmente la sección transversal de la estructura se aprecia en un formato de lámina de acero de 6mm de espesor.

**1.3.3. Modelado computacional:**

Un modelo computacional es un modelo matemático que se usa en ciencias e ingeniería el cual requiere extensos recursos informáticos para su realización. El modelado computacional es usado para la resolución de sistemas no lineales, que no pueden ser resueltos de forma analítica.

Con el modelado computacional se puede tener un alcance de los desplazamientos, deformaciones, ubicación de las cargas y esfuerzos en la estructura, haciendo uso del método del elemento finito, generando una malla en la superficie de la estructura. A

mayor número de nodos en la malla, los resultados que obtendremos serán más precisos.

**a. Discretización por elementos finitos:**

El método de discretización, es un método numérico que permite calcular sobre cuerpos tridimensionales de mayor complejidad, dividiendo el cuerpo en un número finito de partes, bajo ciertos parámetros, obteniendo un conjunto de ecuaciones que se resuelven en una matriz conocida como matriz de rigidez. Es una herramienta muy útil en ingeniería, usándose para el análisis de esfuerzos, transferencia de calor, y otros criterios del diseño ingenieril, reduciendo el tiempo de prueba, costos y material con resultados más precisos y cercanos a la realidad.

**b. Criterio de Von Mises**

También llamado criterio de la máxima energía de distorsión, es un criterio de resistencia estática usado en materiales dúctiles, según el cual el material no cederá en un punto analizado siempre que la energía de distorsión por unidad de volumen no supere la energía por unidad de volumen que se da en el momento de fluencia en el ensayo de tracción. El criterio se expresa matemáticamente como:

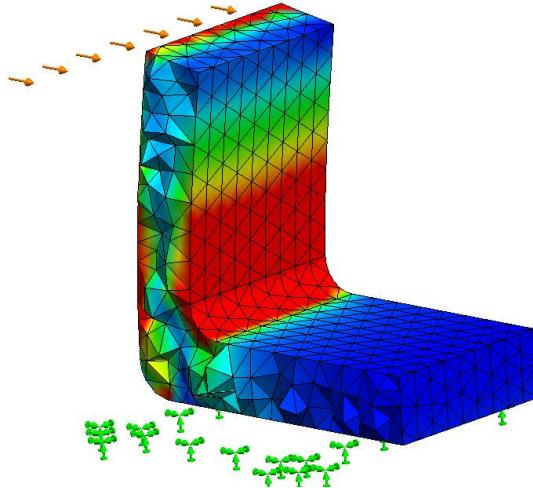
$$\sigma_{Von\ Mises} = \sqrt{\frac{1}{2}((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2)} < S_y$$

El límite elástico es una característica dependiente de la temperatura, por lo tanto, se debe considerar está al momento de hacer un análisis. SolidWorks te permite hacer un análisis estático usando en la mayoría de veces el límite elástico como límite de tensión, pero el software te permite configurar y elegir el límite de tensión a tracción o ruptura o establecer su propio límite de tensión.

**c. Malla:**

La malla se define como la geometría triangular o tetraédrica en la cual se dividirá el objeto o estructura de estudio, en un número finito de elementos. La malla también se puede definir como el grado de aproximación de nuestro modelo con la realidad, teniendo resultados más precisos cuanto mayor sea la densidad de la misma, pero también se necesitarán más recursos computacionales para realizar el análisis.

Definir la malla es el paso más trabajoso dentro de un análisis computacional, donde el usuario debe definir parámetros como la geometría de la malla teniendo en cuenta sus cualidades, la densidad de la malla y el grado del polinomio (*Ver figura 06*).



*Figura 6: Mallado en solido de estudio.  
Fuente: Propia.*

#### **d. Software de diseño:**

##### **d.1. SolidWorks:**

Solidworks (*Ver figura 07*) es un programa de diseño mecánico desarrollado por la empresa desarrolladora de software Dassault Systems. El programa permite diseñar objetos tridimensionales y obtener planos e información necesaria para la producción del objeto.

SolidWorks también nos permite hacer simulaciones de nuestro modelo mediante el método de elementos finitos ante cargas estáticas y dinámicas.



*Figura 7: Icono SolidWorks  
Fuente: Dassault Systems*

### **e. Simulación de impacto:**

Las simulaciones de impacto son vitales para evaluar un diseño permitiendo observar su comportamiento ante diversas cargas y otras características físicas. En el diseño de vehículos, la simulación de impactos ayuda a reducir el riesgo de lesiones graves al conductor, dando cabida a mejoras del diseño e implementación de otras medidas de seguridad.

#### ***e.1. Velocidad de impacto:***

La velocidad de impacto se expresa en función de la rapidez global originada en la estructura, donde se pueden identificar características físicas importantes del modelo como el momento de inercia ocasionado por la velocidad angular y la distancia entre el centro de giro y el punto de impacto. La velocidad de impacto se lleva a cabo en función a las normas ECE R 94 y 32 para colisión frontal, la velocidad de impacto debe ser igual o mayor a 56 km/h. La norma ECE R 95 para impacto lateral, la velocidad de impacto debe ser igual a  $50 \pm 1$  km/h.

#### ***e.2. Impacto frontal por elementos finitos:***

Se trata de definir la geometría y sujeciones en el chasis, en base a fuerzas que se dan en el impacto frontal y se determina el grado de deformación en la estructura.

#### ***e.3. Impacto lateral por elementos finitos:***

El análisis consiste en analizar si hay posibilidad de darse una falla que ponga en riesgo la vida del piloto en caso de una colisión lateral con otro vehículo, se obtienen las deformaciones y esfuerzos generados por el impacto.

#### ***e.4. Pruebas de choque:***

Para un choque frontal se debe impactar el vehículo con una velocidad de 64 km/h contra una barrera deformable de 1 metro de ancho y 0.540 metros de profundidad, con un solapamiento del 40% en el lado del chofer. Prueba de poste, consiste en impactar el vehículo contra un poste o mástil rígido a 32 km/h. Choque lateral, para esta prueba se requiere que el vehículo se halle en reposo y se impacta contra el otro vehículo a 50 km/h que contiene una barrera deformable de 1.5 m de ancho y 0.5 m de profundidad.

#### ***e.5. Simulación de vuelco:***

Esta prueba evalúa el impacto sobre las columnas que sostienen la parte superior de la carrocería, donde se determina la forma del área de impacto y se determina el centro de gravedad usando un software CAD definiendo la velocidad angular con la que impacta la estructura al piso.

#### **1.4. Formulación del Problema:**

¿Qué formato estructural de jaula interna antivuelco, tubular o laminar, presentará mayor eficacia protectora en unidades vehiculares minera tipo pick-up en el Perú?

#### **1.5. Delimitaciones de la Investigación:**

El presente proyecto de investigación se centrará en el análisis comparativo de los dos formatos estructurales utilizados para la fabricación de jaulas internas antivuelco, tubular y laminar, basándonos en la normativa internacional y nacional vigente, recopilando toda la información del estado del arte de estas tecnologías, a fin de generar un modelo 3D que cumpla con lo establecido, para su posterior simulación, empleando el software de ingeniería SOLIDWORKS.

#### **1.6. Hipótesis:**

El formato estructural de jaula interna antivuelco de tipo laminar presentará una mayor eficacia protectora.

#### **1.7. Objetivos:**

##### **1.7.1. Objetivo General:**

Analizar la eficacia protectora de la jaula interna antivuelco en los formatos tubular y laminar para unidades vehiculares mineras tipo pick-up en el Perú mediante simulación computacional.

##### **1.7.2. Objetivos Específicos:**

- a.- Identificar las geometrías, dimensiones aceptadas y normativas de las tecnologías de jaula interna antivuelco.
- b.- Establecer los escenarios, y las fuerzas asociadas de los accidentes automovilísticos con implicación a las jaulas internas antivuelco.
- c.- Realizar cálculos analíticos de las diferentes circunstancias de impacto que sufre un vehículo tipo pick-up durante un accidente.
- d.- Modelar los diferentes elementos estructurales por software de ingeniería CAD/CAE.
- e.- Analizar los modelos estructurales mediante software FEA e interpretar los



resultados.

f.- Evaluar los resultados obtenidos de los modelos propuestos.

## **1.8. Justificación:**

### **1.8.1. Justificación Técnica:**

El presente proyecto de investigación busca analizar la eficacia protectora de la jaula internas antivuelco, en dos formatos diferentes, para vehículos modelos pick-up, puesto que al ser elementos ajenos al diseño inicial de la camioneta y diseñarse para cumplir la función de mantener la integridad de la cabina, se genera la necesidad de corroborar dicho funcionamiento con datos debidamente estudiados, con el propósito de potenciar la innovación tecnológica alrededor de estos sistemas pasivos de seguridad vehicular.

### **1.8.2. Justificación Económica:**

El análisis comparativo propuesto se efectúa desde una premisa de cálculo computacional, tomando en consideración los parámetros necesarios para conseguir valores cercanos a la realidad, evitando el costoso análisis por ensayos destructivos que comúnmente se aplica a estos sistemas de seguridad, generando ahorro considerable de tiempo y dinero, al sector automotriz interesado en esta tecnología.

### **1.8.3. Justificación Ambiental:**

El método de estudio por análisis de elementos finitos (FEA), permite obviar el ensayo no destructivo convencional, brindando datos y resultados confiables y sostenibles en el tiempo para complementar muchas otras investigaciones, beneficiando al ambiente al reducir la cantidad de contaminantes generados por un ensayo físico destructivo.

### **1.8.4. Justificación Social:**

Con la introducción de nuevos estudios relacionados a las jaulas internas antivuelco de uso comercial, se permitirá conocer de manera más precisa los beneficios y desventajas estructurales que ofrecen cada una de ellas, facilitando la toma decisiones al momento de implementarlas como mecanismo de seguridad adicional en los vehículos, a fin de evitar grandes deformaciones en la carrocería, salvaguardando la integridad física de los ocupantes, generando un impacto positivo en la vida cotidiana.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Tipo y diseño de investigación

#### 2.1.1. Tipo de investigación:

El tipo de investigación presentado será Tecnológica-Cuantitativa puesto que permitirá generar conocimientos con impacto positivo en la vida cotidiana, analizando datos obtenidos mediante simulación computacional.

#### 2.1.2. Diseño de investigación:

Esta investigación presenta un diseño Cuasi-Experimental debido a la relación de dependencia causa-efecto de las variables de estudio.

### 2.2. Variables y datos

#### 2.2.1. Variables:

*Tabla 6: Variables de estudio*

<b>Independiente:</b>
Jaula interna Antivuelco de perfil tubular
Jaula interna Antivuelco de perfil laminar
<b>Dependiente:</b>
Eficacia Protectora

*Fuente: Propia.*

### 2.2.2. Operacionalización de variables:

Tabla 7: Operacionalización de variables.

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
<b>INDEPENDIENTE</b>						
JAULA INTERNA ANTIVUELCO DE PERFIL TUBULAR	Geometría del Perfil	Espesor	mm	Análisis de documentación y observación.	Ficha de registro de datos	Bernier
		Peso	kg	Análisis de documentación y observación.	Ficha de registro de datos	Balanza
	Disposición Estructural	Dimensiones Finales	m	Observación	Guía de observación	Software de modelado 3D
JAULA INTERNA ANTIVUELCO DE PERFIL LAMINAR	Geometría del Perfil	Espesor	mm	Análisis de documentación y observación.	Ficha de registro de datos	Bernier
		Peso	kg	Análisis de documentación y observación.	Ficha de registro de datos	Balanza
	Disposición Estructural	Dimensiones Finales	m	Observación	Guía de observación	Software de modelado 3D
<b>DEPENDIENTE</b>						
EFICACIA PROTECTORA	Integridad Estructural	Deformación	mm	observación	Ficha de registro de datos	Software de Simulación por elementos finitos
		Factor de Seguridad	adim	análisis	Ficha de registro de datos	Software de Simulación por elementos finitos
		Esfuerzos Resultantes	$\sigma$	análisis	Ficha de registro de datos	Software de Simulación por elementos finitos

## **2.3. Población y muestra**

### **2.3.1. Población:**

La población de análisis de este estudio comprende las jaulas internas antivuelco para los modelos de camioneta tipo pick-up en el Perú (*Anexo 03*).

### **2.3.2. Muestra:**

La muestra de estudio abarcará el análisis de jaula interna antivuelco adaptado a la camioneta tipo pick-up más solicitado en compañías mineras del Perú (*Anexo 04*).

## **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad**

### **2.4.1. Técnicas de investigación:**

#### *a.1. Análisis de documentos:*

Aplicado para la búsqueda de normativa relacionada a la correcta implementación de estas tecnologías, recopilando información de catálogos de fabricantes, tesis, datos estadísticos y papers.

#### *a.2. Observación:*

Permitió recopilar datos cuantitativos, características de funcionamiento, y visualizar el comportamiento redundante en los diversos acontecimientos suscitados en relación al objeto de estudio propuesto.

### **2.4.2. Instrumentos de investigación:**

#### *a.1. Ficha de registro de datos:*

Se implementó el registro de información, siguiendo una estructura de búsqueda, basado en la obtención de información relevante para esta investigación de fuentes confiables y citables a fin de garantizar la veracidad de la información obtenida (*Ver anexo 05*).

#### *a.2. Guía de observación:*

Utilizando un formato adecuado para la correcta visualización de los factores intervinientes al rededor del objeto de estudio, se garantizó la repetibilidad de análisis para los diferentes casos accidentológicos encontrados y morfologías estructurales propuestas (*Ver anexo 06*).

#### **2.4.3. Validez:**

La validez de la información recopilada en esta investigación, se pueden corroborar en bases de datos fiables y referenciadas de bancos estadísticos actuales y variables de estudio correctamente seleccionadas con la finalidad de brindar parámetros fieles a las fuerzas implicadas en la realidad de los siniestros automovilísticos, de igual forma se corrobora la correcta interpretación de los resultados obtenidos por simulación computacional con el apoyo y aprobación de tres jurados con amplia experiencia y capacidad en el tema.

#### **2.4.4. Confiabilidad:**

El análisis matemático y computacional se realizó siguiendo las pautas en la normativa internacional vigente y documentación válida recopilada.

#### **2.5. Aspectos éticos:**

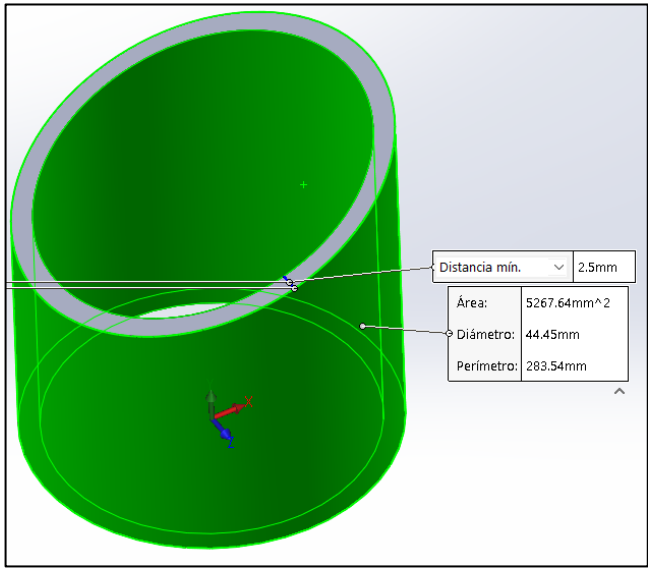
Los principios éticos que validan este proyecto de investigación provienen del código de ética perteneciente al Colegio de Ingenieros del Perú (CIP) y al respectivo código de la prestigiosa Universidad Señor de Sipán (USS), haciendo énfasis en que la recopilación y obtención de datos provienen de fuentes citadas y de validez académica, evitando incurrir en plagio y apropiación de ideas pertenecientes a otros autores.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Selección del material:

El material seleccionado para realizar el análisis y correr la simulación de la jaula internas antivuelco en formato tubular, corresponde al acero estructural ASTM A36, material seleccionado por normativa (FIA, 2020), el cual especifica la implementación de “Acero al carbono no aleado conformado en frío sin soldadura con un contenido un máximo del 0,3% de carbono”. De igual forma con la ayuda de fichas de registro de datos (Anexo 07) y guías de observación (Anexo 08), se rescató la información correspondiente al diámetro y espesor comercial de los perfiles tubulares implementados, en la *tabla 08* se detallan las propiedades y características.

Tabla 8: Detalle de perfil tubular

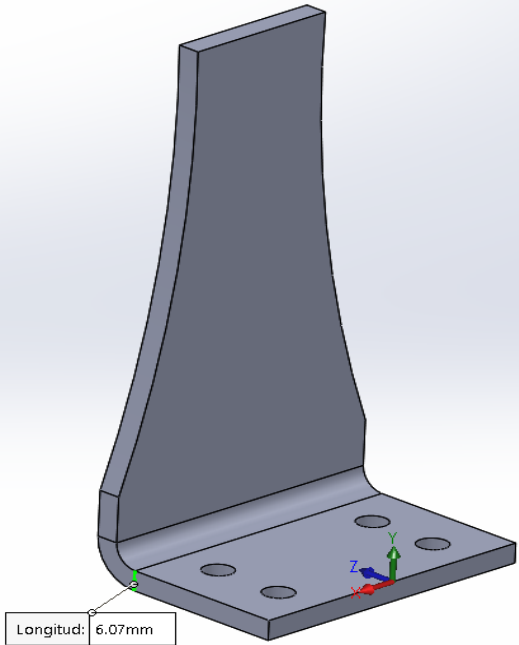
Jaula interna antivuelco (Tubular)		
Material:	Acero Estructural ASTM A36	
Contenido de carbono:	Máximo de 0.29%	
Estructura:	Perfil tubular de 45mm de diámetro (1.75 pulgadas) espesor de 2.5mm.	
		
Propiedades mecánicas:		
Propiedad:	Valor	Unidad
Módulo Elástico:	200000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson:	0.26	Adim
Módulo Cortante:	79300	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de Masa:	7850	Kg/m <sup>3</sup>
Límite de Tracción:	400	N/mm <sup>2</sup>
Límite Elástico	250	N/mm <sup>2</sup>

Fuente: Propia

Para la estructura que comprende la jaula interna antivuelco invisible, se utilizó acero balístico de 6mm (AR500), información obtenida de páginas oficiales de comercializadores e instaladores de estas estructuras, muy orientadas al blindaje de vehículos y seguridad en general (*Anexo 07*).

Las propiedades y características generales se aprecian en la *tabla 09* (Farzad Hejazi & Izian Abd Karim, 2016):

*Tabla 9: Detalle de perfil laminar.*

Jaula interna antivuelco (Laminar)		
Material:	Acero Balístico (AR-500)	
Estructura:	Perfil Laminar de 6mm de espesor (calibre 3).	
		
Propiedades mecánicas:		
Propiedad:	Valor	Unidad
Módulo Elástico:	205000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson:	0.26	Adim
Módulo Cortante:	357000	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de Masa:	7880	Kg/m <sup>3</sup>
Límite de Tracción:	1550	N/mm <sup>2</sup>
Límite Elástico	1200	N/mm <sup>2</sup>

*Fuente: (Farzad Hejazi & Izian Abd Karim, 2016)*

Actualmente existen infinidad de aceros y aleaciones con propiedades y características muy diferentes según requerimiento, muchas industrias del rubro de seguridad y blindajes de vehículos implementan aceros balísticos, que se caracterizan por tener propiedades mejoradas, como su elevada resistencia a los impactos, medidos en

Brinell (HB), tener la disponibilidad de estos aceros les facilita también la implementación de estos materiales en jaulas internas antivuelco.

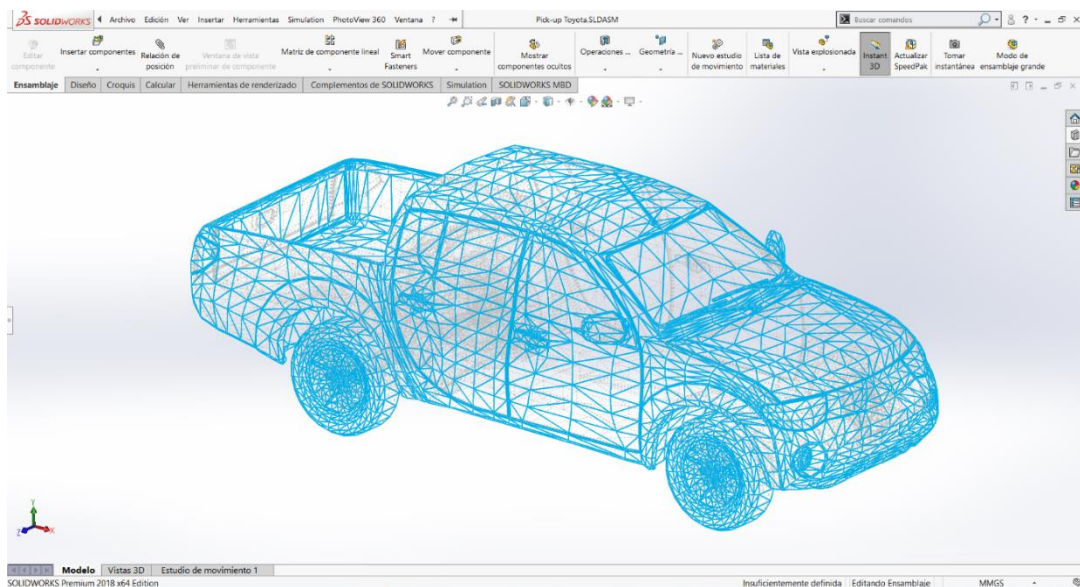
Es así que se procedió a seleccionar el Acero Balístico AR500 por contar con información detallada de sus propiedades mecánicas para su correspondiente análisis.

### 3.2. Geometría estructural de jaula antivuelco:

La geometría de la jaula interna anti vuelco, depende directamente de la morfología interna de la cabina donde se instalará, con eso en mente y el modelo de chasis seleccionado (Pick-up), se consideró prudente definir el modelo vehicular liviano más utilizado en minería en el Perú, para proceder a modelar en 3D su correspondiente jaula interna antivuelco.

Según reporte emitido por la Asociación Automotriz del Perú (AAP, 2020), Toyota con su modelo Hilux representa el sector líder con mayor participación en la minería peruana contando con cerca de 6700 unidades vendidas en el año 2019 (Mundo Trucks, 2019).

Por lo mencionado con anterioridad el automóvil seleccionado para realizar el modelado geométrico en 3D de la jaula antivuelco, es la camioneta Toyota Hilux en su versión 2015 (*Ver figura 08*), y el software utilizado es SolidWorks en su versión 2018.



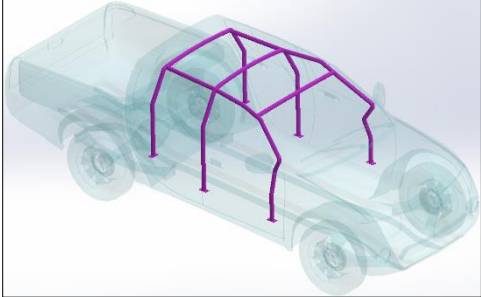
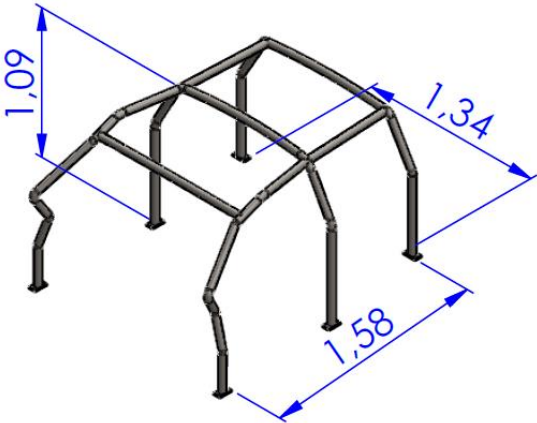
*Figura 8: Modelo 3D de vehículo Pick-up*  
*Fuente: 3D WAREHOUSE*



**a. Jaula interna antivuelco Tubular:**

En la *tabla 10* se detalla la geometría, ubicación y condiciones que se tuvieron en cuenta para el modelado de la estructura:

*Tabla 10:* Detalle de jaula antivuelco tubular.

Jaula interna antivuelco en formato tubular	
Ubicación	Detalle
	- Acero ASTM A36
	- 42.2mm de diámetro (1 <sup>1/4</sup> SCH-40)
	- 3.56mm de espesor
	- 46.40 Kg
	- Estructura definida como soldada
	- Radio de curvatura $\geq 3x(\text{Diámetro})$
	- La geometría de la jaula interna antivuelco TUBULAR, recorre de manera superficial la cabina, anclándose al chasis, evitando comprometer otros sistemas de protección como cinturones de seguridad y bolsas de aire, consta de 1 arco central principal, 1 arco posterior y 2 semiarcos laterales con un travesaño de soporte antes de llegar al parabrisas.
	

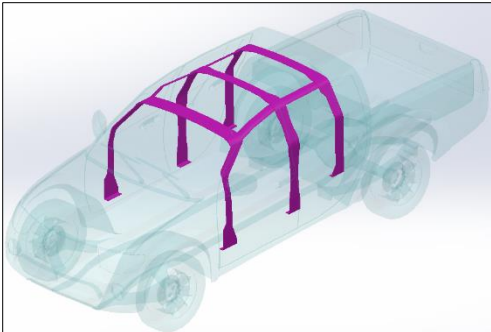
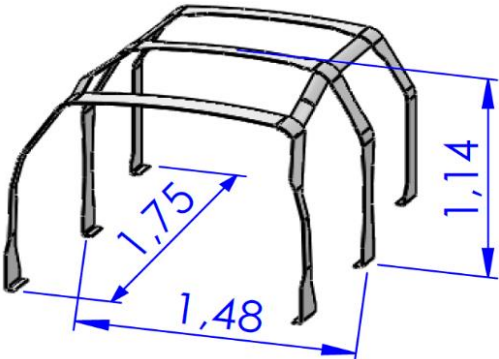
*Fuente: Propia.*

Se modifico el diámetro y el pesor del tubo por modelos comerciales en Perú, a fin de mantener los parámetros usados realmente a nivel nacional (*Anexo 08*).

**b. Jaula interna antivuelco Laminar:**

En la *tabla 11* se detalla la geometría, ubicación y condiciones que se tuvieron en cuenta para el modelado de la estructura:

*Tabla 11: Detalle de jaula antivuelco laminar.*

Jaula interna antivuelco en formato Laminar	
Ubicación	Detalle
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acero balístico AR500</li> <li>- 6mm de espesor</li> <li>- 72.10 Kg</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructura definida como soldada</li> <li>- La geometría de la jaula interna antivuelco LAMINAR, recorre de manera superficial la carrocería, anclándose a esta por soldadura, evitando comprometer otros sistemas de protección, pero con más libertad para recubrir zonas críticas, consta principalmente de láminas contraplacadas a la estructura de la carrocería, generando un acorazado invisible que no ocupa volumen al interior y puede ser recubierta por el propio tapizado del vehículo a fin de mantener la estética.</li> </ul>
	

Fuente: Propia

Los demás detalles geométricos de cada estructura se pueden visualizar en el *Anexo 09*.

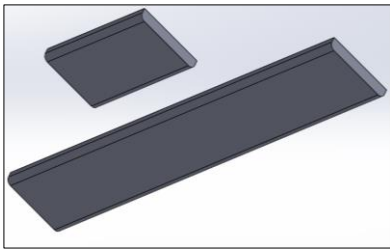
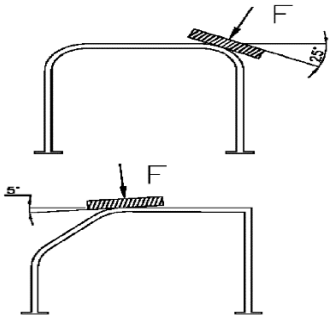
### 3.3. Condiciones iniciales:

Actualmente en el Perú no existe una normativa que regule los parámetros básicos que deben tener estos accesorios vehiculares (Jaulas antivuelco), solo dan cabida a que de instalarse en el vehículo estos no deben presentar un riesgo para el conductor y demás pasajeros (MTC, 2003), sin embargo desde el punto de vista de vehículos de competición y turismo, existe una extensa lista de requerimientos para estos sistemas pasivos de seguridad, estandarizando las fuerzas que deben soportar y bajo qué circunstancias la deformación es permisible.

Con lo mencionado anteriormente la presente investigación utilizará las cargas estáticas solicitadas según la normativa (FIA, 2020), ver *tabla 12*.

#### a. Cargas Federación Internacional de Automovilismo:

*Tabla 12: Cargas solicitadas por FIA*

<b>Cargas estáticas solicitados por la Federación Internacional de Automovilismo</b>	
La fuerza que debe soportar el vehículo, es directamente proporcional al peso del mismo:	
<b>Carga en barra Central:</b>	$75 \times (W_{vehicular} + 150Kg)N$ Deformación máxima permisible de 50mm en dirección de la fuerza
	Para distribuir bien la carga, se implementa una geometría rectangular rígida de las siguientes dimensiones: Largo: Ancho del arco principal + 100mm Ancho: $250 \pm 50mm$ Espesor: 40mm
<b>Carga en barra frontal:</b>	$35 \times (W_{vehicular} + 150Kg)N$
 (Vista frontal y lateral respectivamente)	El distribuidor de carga tendrá las siguientes dimensiones: Largo: $450 \pm 50mm$ Ancho: $250 \pm 50mm$ Espesor: 40mm El distribuidor se colocará de la siguiente manera: Inclinación frontal: $5^\circ$ Inclinación lateral: $25^\circ$

Fuente: FIA

Es válido resaltar que las fuerzas aplicadas, son por mucho sobredimensionadas a

fin de salvaguardar la integridad física de los ocupantes, esto se debe a que esta normativa se aplica a vehículos que se desplazan a velocidades superiores a lo que se ve comúnmente en el parque automotor del Perú.

**b. Cargas RMA Group:**

Con lo mencionado anteriormente la empresa RMA ASIA AUTOMOTIVE GROUP con sede Tailandia (RMA Group, 2020), implementó una normativa dirigida únicamente a vehículos utilitarios ligeros, para diferentes marcas reconocidas a nivel mundial, replanteando las cargas que debe soportar como mínimo el cuerpo estructural de las jaulas internas antivuelco (*Ver tabla 13*).

*Tabla 13: Cargas según RMA Group*

Normativa RMA GROUP		
Fuerza de Carga Vertical (N)	Fuerza de Carga Lateral (N)	Fuerza de Carga Longitudinal (N)
$4.0 \times g \times W_{Bruto}$	$1.5 \times g \times W_{Bruto}$	$1.0 \times g \times W_{Bruto}$

*Fuente: RMA Group*

**c. Características del vehículo:**

*Tabla 14: Características de vehículo estudiado.*

Características:	
Marca:	Toyota
Modelo:	Hilux
Carrocería:	Pick Up
P. Bruto:	2705 kg
P. Neto:	1767 kg
Carga Útil:	938 kg
Longitud:	5.26 m
Altura:	1.86 m
Ancho:	1.835 m

*Fuente: Propia.*

### 3.4. Análisis estático:

#### 3.4.1. Análisis de Jaula interna antivuelco tubular:

##### a. Análisis estático bajo normativa FIA:

Según lo mencionado con anterioridad se procede a estimar las fuerzas que debe soportar la jaula antivuelco tubular a fin de considerarse aprobada por las reglas impuestas por la Federación Internacional de Automovilismo:

##### a.1. Carga en barra central:

La carga en Newtons designada para esta simulación está en función al peso del vehículo, calculado con la siguiente formula:

$$F = 75 \times (W_{vehiculo} + 150Kg)N$$

Donde:

$F$  = Fuerza aplicada en Newtons

75 = Constante de Fórmula

$W_{vehiculo}$  = Peso Neto Vehicular

150kg = Representa carga útil

La fórmula final se puede presentar de la siguiente manera en este caso de aplicación:

$$F = 75 \times (W_{Bruto})N$$

Donde:

$W_{Bruto}$  = Peso bruto vehicular


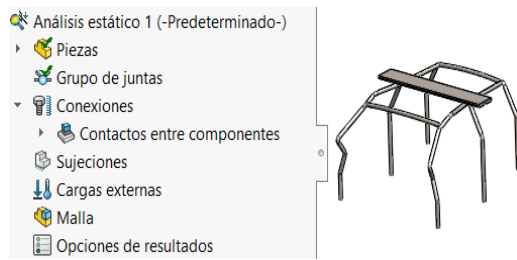
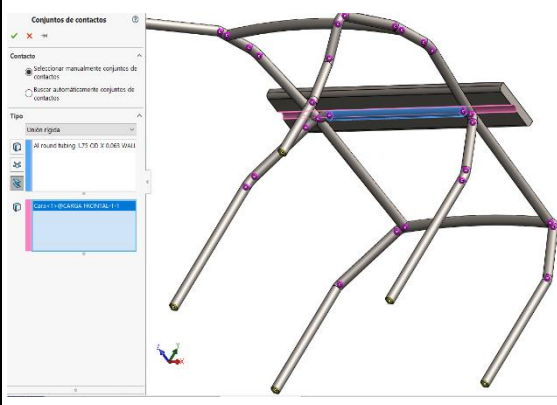
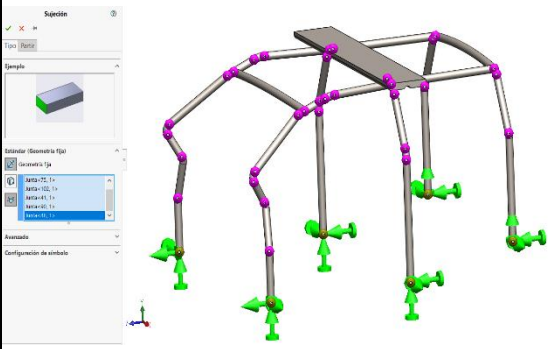
Teniendo así que la barra principal de la jaula interna antivuelco debe soportar 75 veces su propio peso para ser aprobada por el FIA.

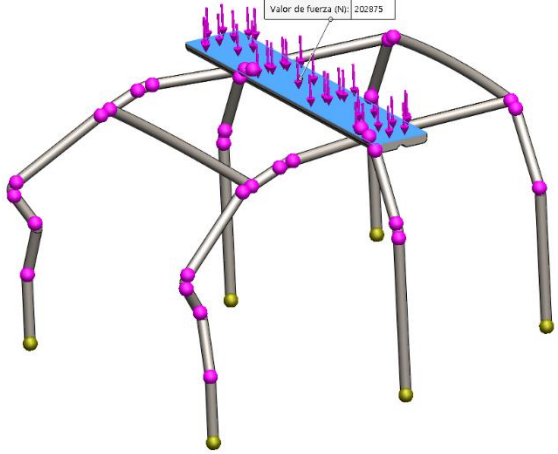
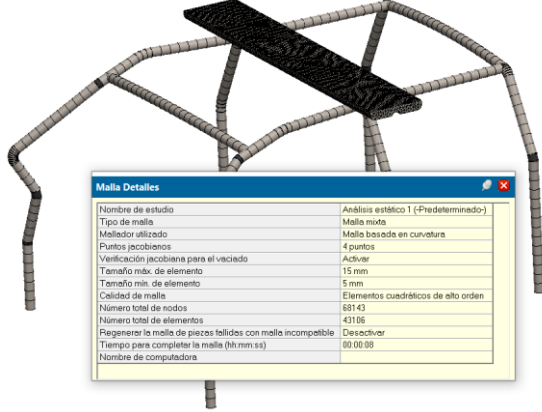
$$F = 202\ 875.00\ N$$

$$F = 202.875\ KN$$

Con la fuerza definida se procedió a realizar la simulación en el software SolidWorks de la siguiente manera (Ver tabla 15):

Tabla 15: Tabla de proceso de simulación

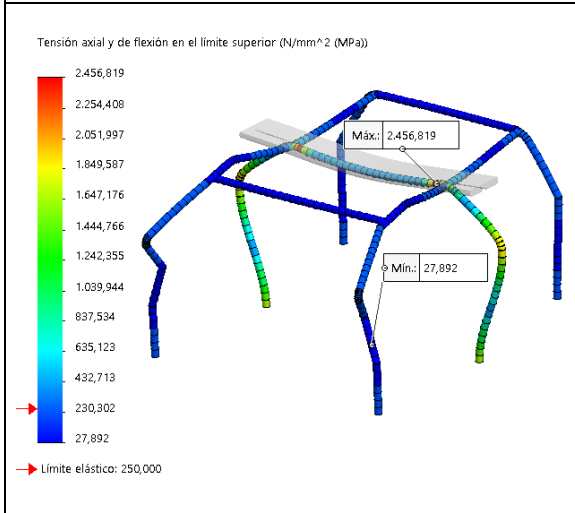
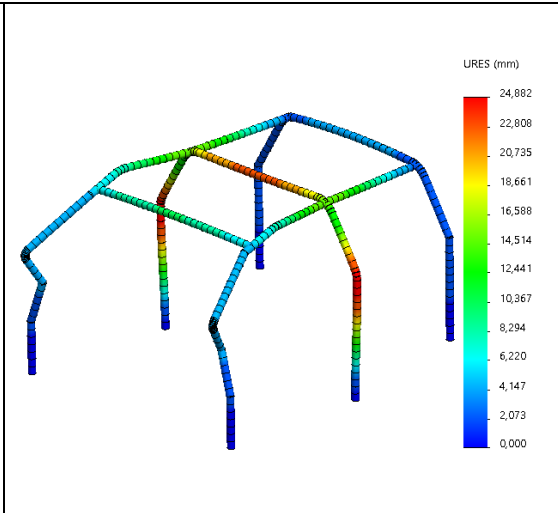
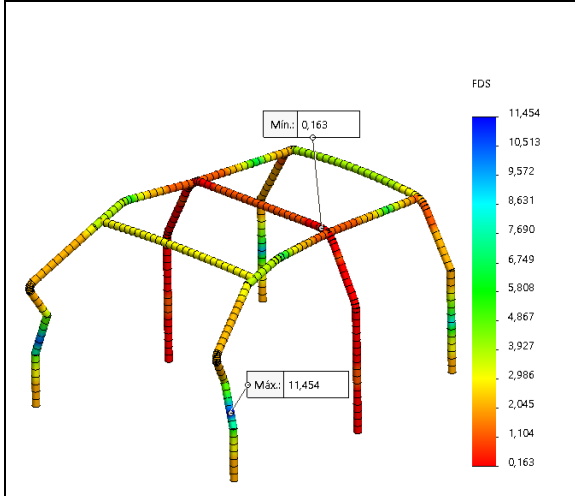
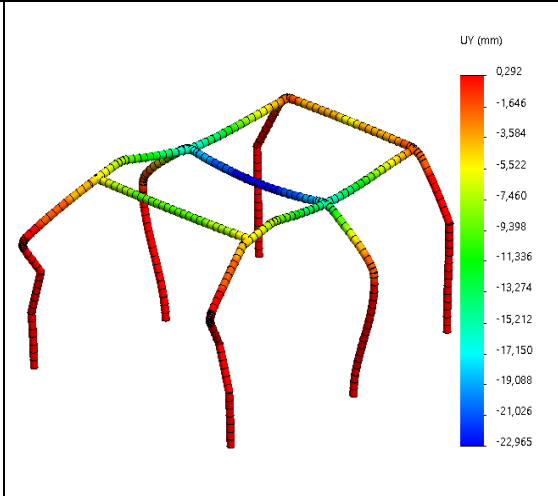
<b>TABLA DE PROCESOS: SIMULACIÓN CARGA EN BARRA CENTRAL-JAULA TUBULAR</b>		
Nº	Gráfico:	Descripción:
1		<p>En primera instancia se define el ensamble a simular, que representa la jaula antivuelco con un bloque en el arco central para dirigir la fuerza que soportará la estructura, a fin de apoyar correctamente el bloque, se realizó un canal y se colocó sobre el arco con las relaciones de posición correspondientes.</p>
2		<p>La simulación a realizar será un análisis estático tridimensional.</p>
3		<p>Se definen los contactos existentes en el ensamblaje, “unión rígida”, entre el bloque de fuerza y la viga principal que compone el arco central de la estructura, al definirlo como unión rígida le permite comportarse con un único elemento, distribuyendo la fuerza de manera homogénea, necesario para que el software interprete correctamente el cálculo.</p>
4		<p>En el apartado de sujeción se restringe la movilidad de las patas de la estructura, estableciéndolas como geometría fija, se selecciona cada junta libre y se limita su rotación y traslación, simulando la fijación al chasis del vehículo.</p>

5		<p>Se coloca la carga en posición vertical sobre el bloque, una fuerza de 202.875 kN, representando 75 veces el peso bruto del vehículo.</p>																												
6	 <table border="1" data-bbox="392 927 820 1137"> <thead> <tr> <th colspan="2">Malla Detalles</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nombre de estudio</td> <td>Análisis estático 1 (Predeterminado)</td> </tr> <tr> <td>Tipo de malla</td> <td>Malla mixta</td> </tr> <tr> <td>Mallador utilizado</td> <td>Malla basada en curvatura</td> </tr> <tr> <td>Puntos jacobianos</td> <td>4 puntos</td> </tr> <tr> <td>Verificación jacobiana para el vaciado</td> <td>Activar</td> </tr> <tr> <td>Tamaño máx. de elemento</td> <td>15 mm</td> </tr> <tr> <td>Tamaño mín. de elemento</td> <td>5 mm</td> </tr> <tr> <td>Calidad de malla</td> <td>Elementos cuadráticos de alto orden</td> </tr> <tr> <td>Número total de nodos</td> <td>68143</td> </tr> <tr> <td>Número total de elementos</td> <td>43108</td> </tr> <tr> <td>Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible</td> <td>Desactivar</td> </tr> <tr> <td>Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)</td> <td>00:00:09</td> </tr> <tr> <td>Nombre de computadora</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Malla Detalles		Nombre de estudio	Análisis estático 1 (Predeterminado)	Tipo de malla	Malla mixta	Mallador utilizado	Malla basada en curvatura	Puntos jacobianos	4 puntos	Verificación jacobiana para el vaciado	Activar	Tamaño máx. de elemento	15 mm	Tamaño mín. de elemento	5 mm	Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden	Número total de nodos	68143	Número total de elementos	43108	Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar	Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:09	Nombre de computadora		<p>El mallado realizado, comprende una malla mixta basada en curvatura, de un tamaño máximo de elemento de 15mm y un mínimo de 5mm.</p>
Malla Detalles																														
Nombre de estudio	Análisis estático 1 (Predeterminado)																													
Tipo de malla	Malla mixta																													
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura																													
Puntos jacobianos	4 puntos																													
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar																													
Tamaño máx. de elemento	15 mm																													
Tamaño mín. de elemento	5 mm																													
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden																													
Número total de nodos	68143																													
Número total de elementos	43108																													
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar																													
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:09																													
Nombre de computadora																														

Fuente: Propia.

Finalizado el ingreso de condiciones iniciales en el software se procede a correr la simulación, mostrando los siguientes resultados (Ver tabla 16):

Tabla 16: Resultados simulación carga arco central

RESULTADOS:	
 <p>Tensión axial y de flexión en el límite superior (N/mm<sup>2</sup> (MPa))</p> <p>Máx.: 2,456,819 Min.: 27,892</p> <p>→ Límite elástico: 250,000</p>	 <p>URES (mm)</p>
<p><b>Tensión de Von Mises:</b> Se visualizan esfuerzos en un rango de 27 MPa a 2 456 MPa, siendo el límite elástico del acero ASTM A36 de solo 250 MPa.</p>	<p><b>Desplazamientos resultantes:</b> Los desplazamientos resultantes en la jaula antivuelco después de aplicada las fuerzas, no superan el límite permitido por el FIA de 50mm, llegando a 24.882mm</p>
 <p>FDS</p> <p>Min.: 0,163 Máx.: 11,454</p>	 <p>UY (mm)</p>
<p><b>Factor de Seguridad:</b> El factor de seguridad mínimo de la estructura es de 0.163 en la zona donde se aplicó la carga, esto se debe a que los esfuerzos están muy próximos al límite elástico del material.</p>	<p><b>Deformación en dirección de la fuerza (Y):</b> El desplazamiento máximo de la estructura se da en dirección a la fuerza aplicada en el arco central, con 22.965 mm en dirección a Y negativo.</p>

Fuente: Propia

### a.2. Carga en barra frontal:

La Federación Internacional de Automovilismo (FIA, 2020), estipula que la carga aplicada a la barra frontal del vehículo tiene que cumplir con un ángulo de inclinación determinado a fin de simular un impacto lateral durante una volcadura, dicha fuerza también depende directamente del peso vehicular:



$$F = 35 \times (W_{vehículo} + 150Kg)N$$

Reemplazando  $(W_{vehículo} + 150Kg)$  por el peso bruto vehicular de la camioneta estudiada, la formula queda de la siguiente manera:

$$F = 35 \times (W_{Bruto})N$$

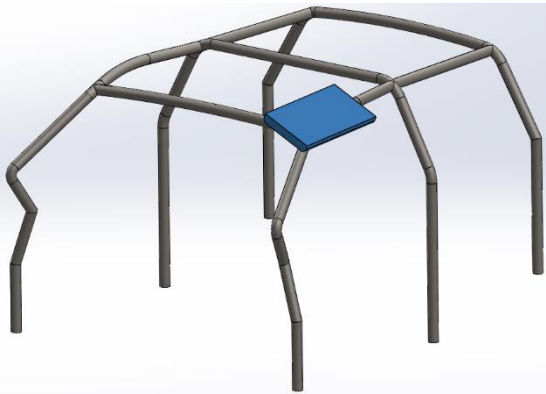
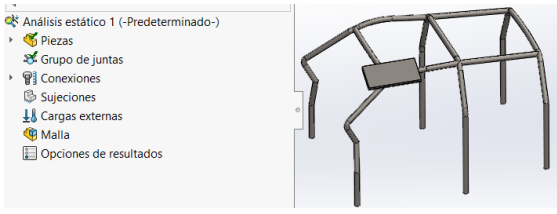
Teniendo así que la barra frontal de la jaula interna antivuelco debe soportar 35 veces su propio peso para ser aprobada por el FIA:

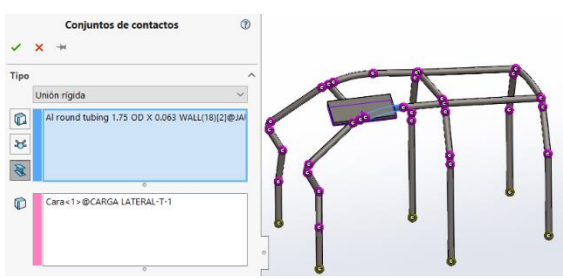
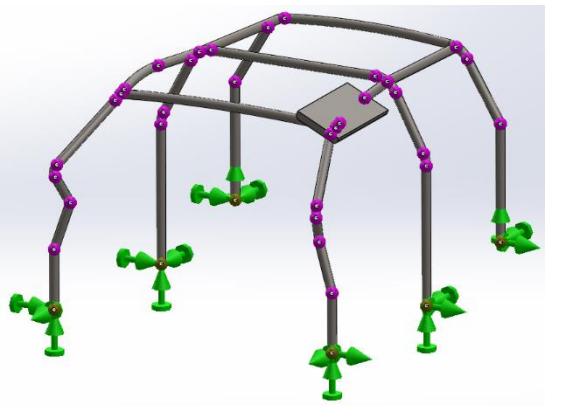
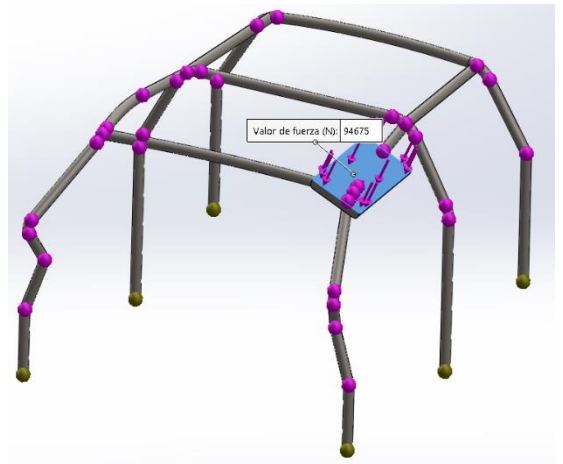
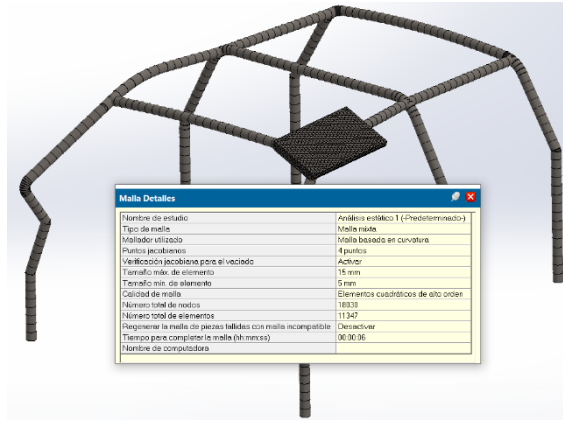
$$F = 94\,675.00\,N$$

$$F = 94.675\,KN$$

Definida la fuerza se procede a simular (Ver tabla 17):

Tabla 17: Tabla de proceso de simulación 2

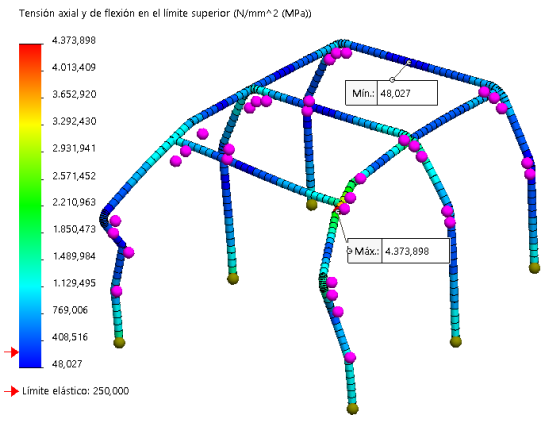
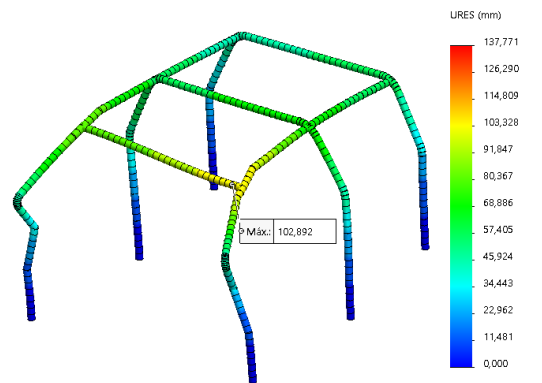
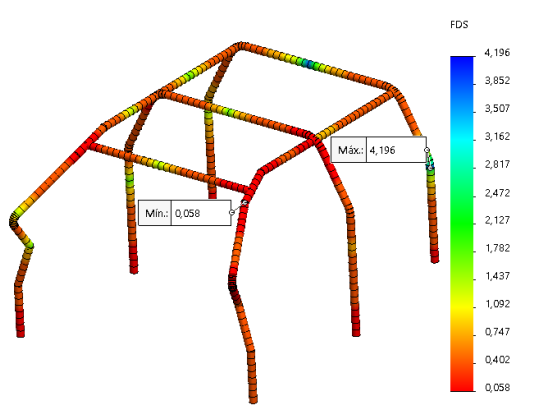
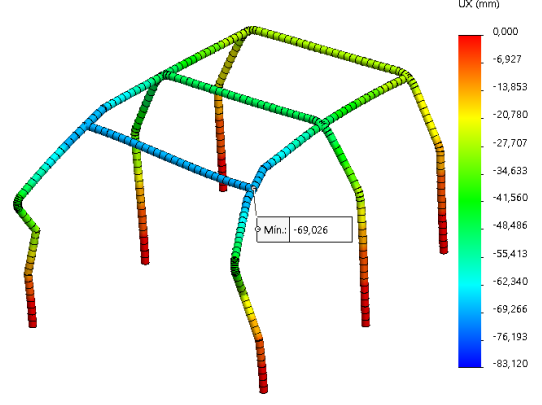
<b>TABLA DE PROCESOS: SIMULACIÓN CARGA EN BARRA FRONTAL-JAULA TUBULAR</b>		
N°	Gráfico:	Descripción:
1		<p>Se define el ensamble a simular, que representa la jaula antivuelco con un bloque en el arco frontal, el bloque se coloca respetando lo estipulado por la normativa de la FIA, inclinación lateral de 25° y frontal de 5° a fin de dirigir correctamente la fuerza.</p>
2		<p>La simulación a realizar será un análisis estático tridimensional.</p>

3		<p>Se definen los contactos existentes en el ensamblaje, como unión rígida, entre el bloque de fuerza y la viga frontal-lateral que compone la jaula antivuelco.</p>																												
4		<p>En el apartado de sujeción se restringe la movilidad de las patas de la estructura, estableciéndolas como geometría fija, se selecciona cada junta libre y se limita su rotación y traslación, simulando la fijación al chasis del vehículo.</p>																												
5		<p>Se coloca la carga en posición normal a la cara externa del bloque, para esta simulación la fuerza utilizada es de 94.675 kN, representando 35 veces el peso bruto del vehículo.</p>																												
6	 <table border="1" data-bbox="416 1711 783 1883"> <thead> <tr> <th colspan="2">Malla Detalles</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nombre de estado:</td> <td>Análisis estático 1 (Flechamiento)</td> </tr> <tr> <td>Tipo de malla:</td> <td>Malla mixta</td> </tr> <tr> <td>Mallador utilizado:</td> <td>Malla basada en curvatura</td> </tr> <tr> <td>Puntos jacobiianos:</td> <td>4 puntos</td> </tr> <tr> <td>Verificación jacobiiana para el veciado:</td> <td>Activar</td> </tr> <tr> <td>Tamaño máx. de elemento:</td> <td>15 mm</td> </tr> <tr> <td>Tamaño mín. de elemento:</td> <td>5 mm</td> </tr> <tr> <td>Calidad de malla:</td> <td>Elementos cuadráticos de alto orden</td> </tr> <tr> <td>Número total de nodos:</td> <td>18333</td> </tr> <tr> <td>Número total de elementos:</td> <td>11347</td> </tr> <tr> <td>Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible:</td> <td>Desactivar</td> </tr> <tr> <td>Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):</td> <td>00:00:06</td> </tr> <tr> <td>Nombre de computadora:</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Malla Detalles		Nombre de estado:	Análisis estático 1 (Flechamiento)	Tipo de malla:	Malla mixta	Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura	Puntos jacobiianos:	4 puntos	Verificación jacobiiana para el veciado:	Activar	Tamaño máx. de elemento:	15 mm	Tamaño mín. de elemento:	5 mm	Calidad de malla:	Elementos cuadráticos de alto orden	Número total de nodos:	18333	Número total de elementos:	11347	Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible:	Desactivar	Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:06	Nombre de computadora:		<p>El mallado realizado, comprende una malla mixta basada en curvatura, de un tamaño máximo de elemento de 15mm y un mínimo de 5mm.</p>
Malla Detalles																														
Nombre de estado:	Análisis estático 1 (Flechamiento)																													
Tipo de malla:	Malla mixta																													
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura																													
Puntos jacobiianos:	4 puntos																													
Verificación jacobiiana para el veciado:	Activar																													
Tamaño máx. de elemento:	15 mm																													
Tamaño mín. de elemento:	5 mm																													
Calidad de malla:	Elementos cuadráticos de alto orden																													
Número total de nodos:	18333																													
Número total de elementos:	11347																													
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible:	Desactivar																													
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:06																													
Nombre de computadora:																														

Fuente: Propia.

Al correr la simulación se obtuvo los siguientes resultados (Ver tabla 18):

Tabla 18: Resultados simulación carga barra frontal

RESULTADOS:	
 <p>Tensión axial y de flexión en el límite superior (N/mm<sup>2</sup> (MPa))</p> <p>Máx.: 4,373,898</p> <p>Min.: 48,027</p> <p>Limite elástico: 250,000</p>	 <p>URES (mm)</p> <p>Máx.: 102,892</p>
<p><b>Tensión de Von Mises:</b>  <i>Los esfuerzos resultantes de la estructura en general, están por debajo del límite de elástico, sin embargo, la zona de contacto con la carga, se ve muy afectada 4 373 MPa.</i></p>	<p><b>Desplazamientos resultantes:</b>  <i>Desplazamientos resultantes de aproximadamente 10cm en la zona de impacto.</i></p>
 <p>FDS</p> <p>Máx.: 4,196</p> <p>Min.: 0,058</p>	 <p>LX (mm)</p> <p>Min.: -69,026</p>
<p><b>Factor de Seguridad:</b>  <i>Factor de seguridad al límite debido a la cercanía de esfuerzos de Von Mises con el límite elástico del material 250 MPa.</i></p>	<p><b>Deformación en dirección de la fuerza (X):</b>  <i>El desplazamiento horizontal (eje x), es de aproximadamente 70mm.</i></p>

Fuente: Propia

**b. Análisis estático bajo la normativa RMA:**

La normativa propuesta por (RMA Group, 2020), deriva directamente de la normativa del FIA, pero adaptada a vehículos livianos con cualidades utilitarias, al servicio de mineras, petroleras, zonas accidentadas, entre otros.

De modo que la ubicación de las fuerzas se mantiene en ambas normativas y el

factor variable es la fuerza aplicada en cada simulación:

**b.1. Fuerzas de Carga Vertical (N):**

Se implementa la siguiente ecuación:

$$F = 4.0 \times g \times W_{Bruto}(N)$$

Donde:

$4.0 =$  Constante estandarizada por norma RMA

$g =$  aceleración de la gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

$W_{bruto} =$  Peso bruto vehicular

De esa manera tenemos:

$$F = 4.0 \times 9.81 \times 2705(N)$$

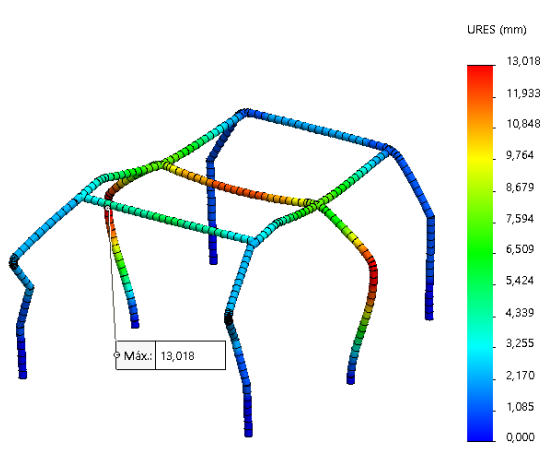
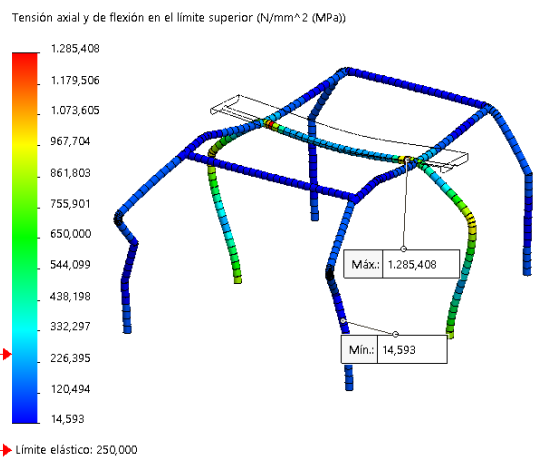
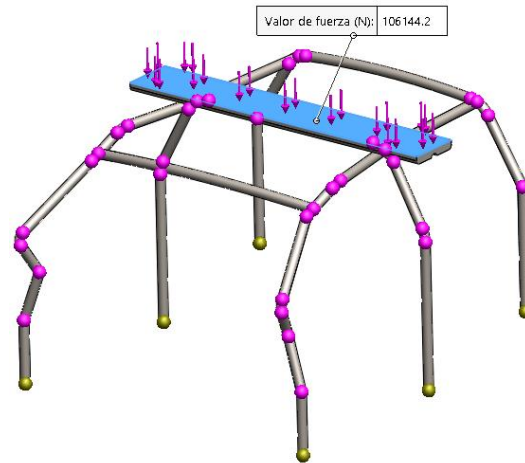
$$F = 106144.2 \text{ N}$$

$$F = 106.1442 \text{ kN}$$

La metodología de simulación será la misma que en el apartado anterior, a continuación, se presenta los resultados obtenidos (*Ver tabla 19*):

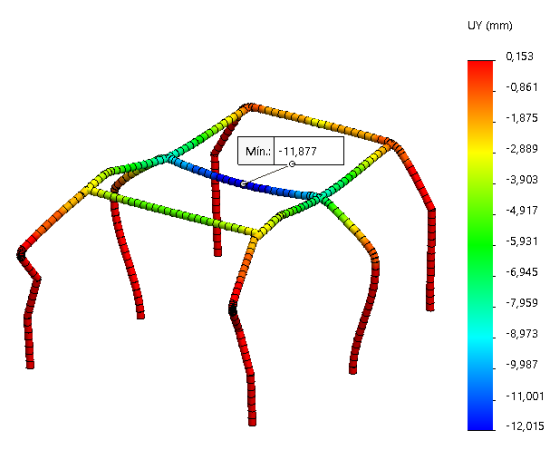
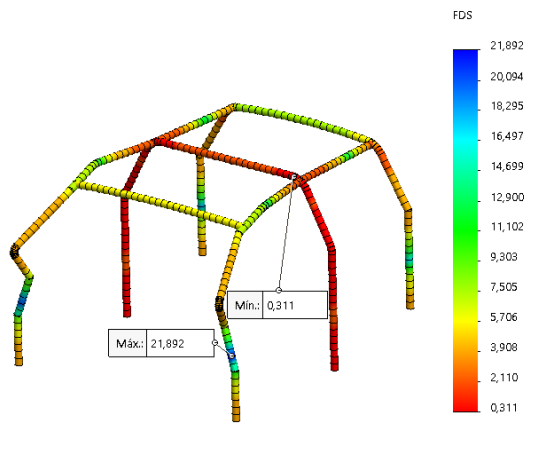
Tabla 19: Resultados simulación carga vertical

**RESULTADOS:**



**Tensión de Von Mises:**  
 El gráfico de colores observado en el análisis, detalla una propagación de esfuerzos a lo largo del arco central, mostrándose las uniones como las más afectadas.

**Desplazamientos resultantes:**  
 Desplazamiento resultante de 13 mm, con mayor incidencia en los soportes laterales.



**Factor de Seguridad:**  
 El factor de seguridad se ve afectado por los

**Deformación en dirección de la fuerza**

esfuerzos concertados en las uniones, mostrando en el análisis un mínimo de 0.311.	(Y): El desplazamiento de la barra central es de 11.877 mm en dirección de la fuerza (-y).
--	---

Fuente: Propia

**b.2. Fuerzas de Carga Lateral (N):**

Dicha carga se formula bajo la siguiente ecuación:

$$F = 1.5 \times g \times W_{Bruto}(N)$$

Donde:

1.5 = Constante estandarizada por norma RMA

$g$  = aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$W_{bruto}$  = Peso bruto vehicular

Tenemos:

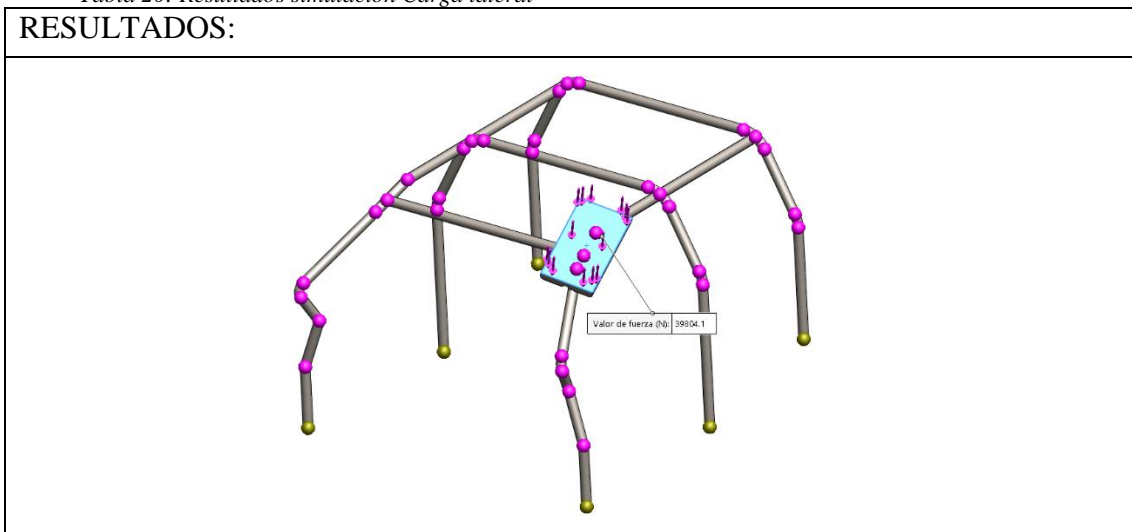
$$F = 1.5 \times 9.81 \times 2705(N)$$

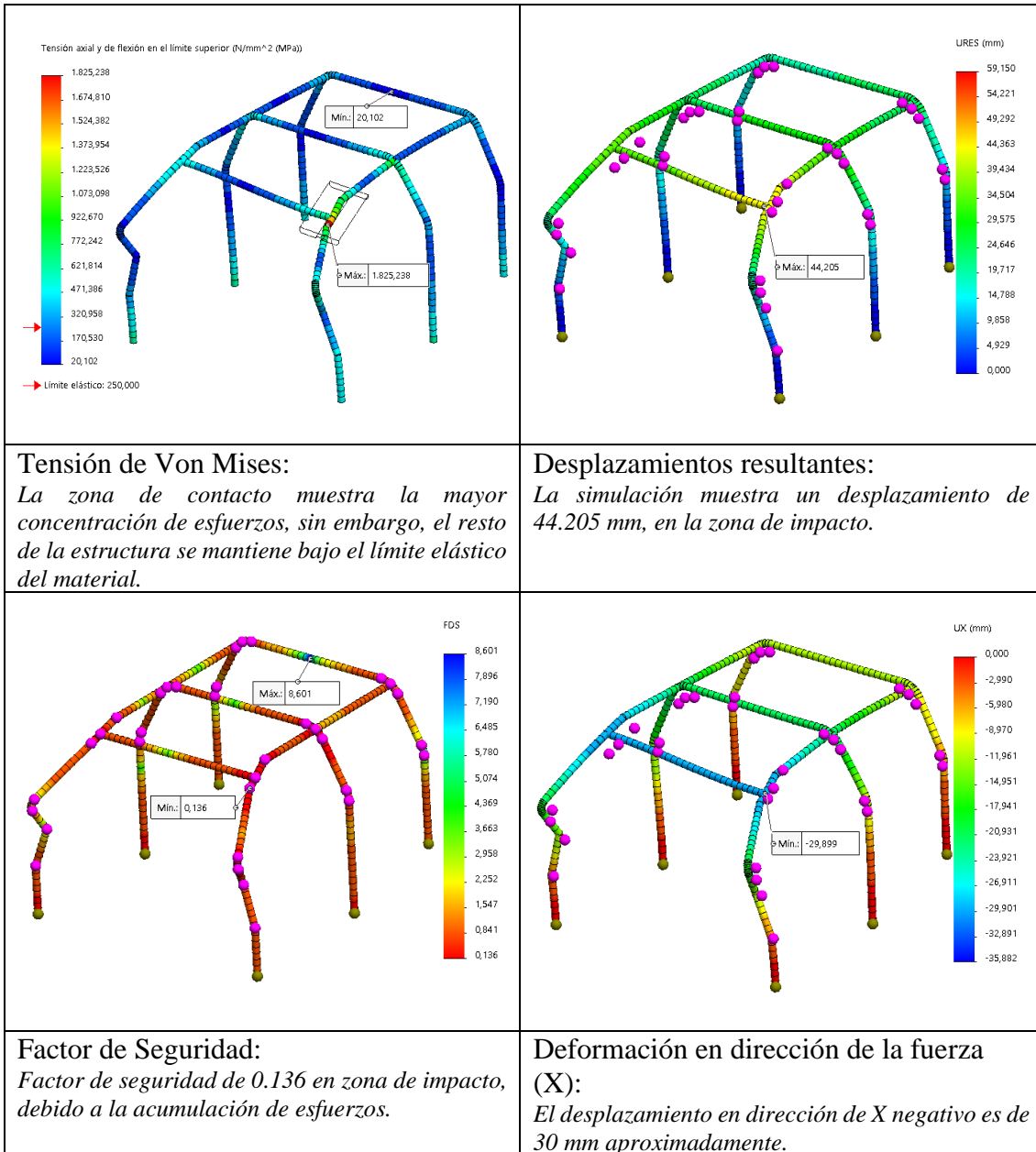
$$F = 39804.1 N$$

$$F = 39.8041 kN$$

De esa manera queda representada la fuerza a aplicar al lateral de la jaula antivuelco a fin de comprobar su validez bajo normativa RMA (Ver tabla 20).

Tabla 20: Resultados simulación Carga lateral





Fuente: Propia

**b.3. Fuerzas de Carga Longitudinal (N):**

Adicionalmente dentro de la normativa (RMA Group, 2020), se solicita que la jaula interna antivuelco soporte una carga longitudinal, a fin de validar su diseño, dicha fuerza se calcula con la siguiente formula:

$$F = 1.0 \times g \times W_{Bruto}(N)$$

Donde:

1.0 = Constante estandarizada por norma RMA

$g = \text{aceleración de la gravedad } (9.81 \text{ m/s}^2)$

$W_{bruto} = \text{Peso bruto vehicular}$

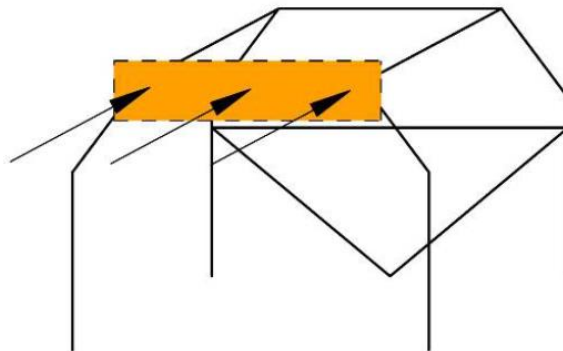
Reemplazando tenemos:

$$F = 1.0 \times 9.81 \times 2705 \text{ N}$$

$$F = 26536.05 \text{ N}$$

$$F = 26.536 \text{ kN}$$

La ubicación de la carga se realiza respetando el siguiente gráfico (Ver figura 09):



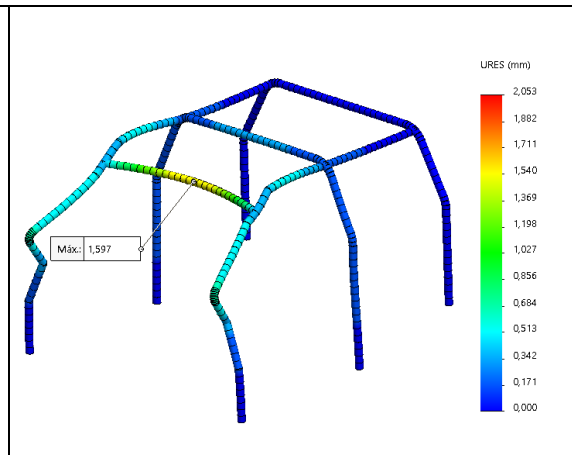
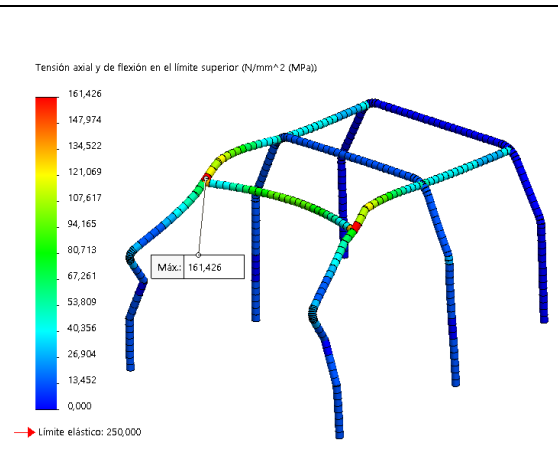
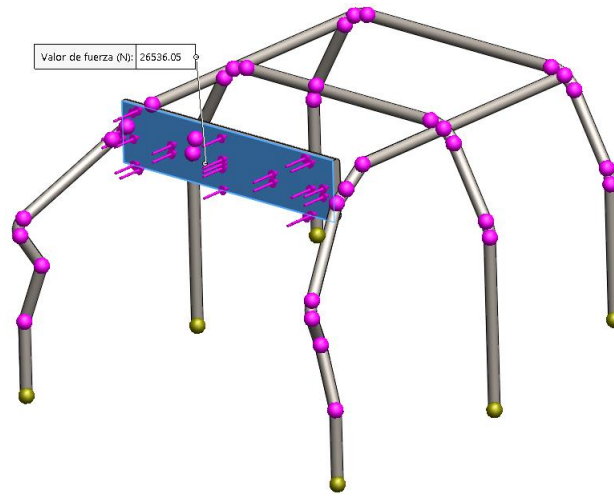
Longitudinal load (dual cab ROPS shown)

*Figura 9: Posición de carga Longitudinal.  
Fuente: RMA group.*



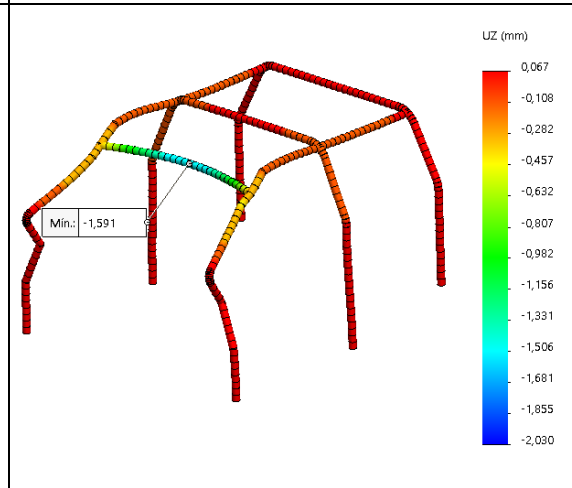
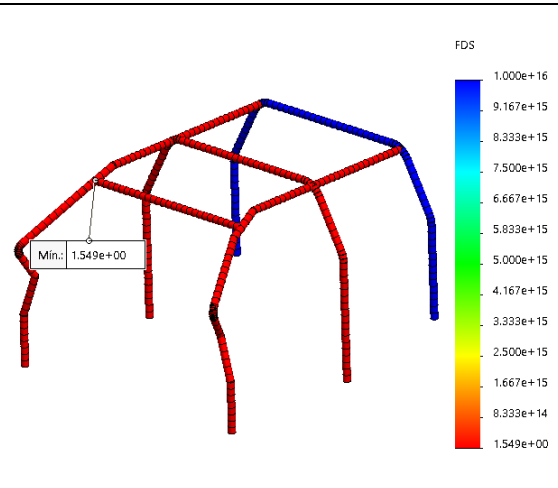
Tabla 21: Resultados simulación Carga Longitudinal.

**RESULTADOS:**



**Tensión de Von Mises:**  
*Máxima tensión de Von Mises en uniones 161 MPa.*

**Desplazamientos resultantes:**  
*Deformación de 1.6 mm aprox.*



**Factor de Seguridad:**  
*Factor de seguridad mínimo de 1.5*

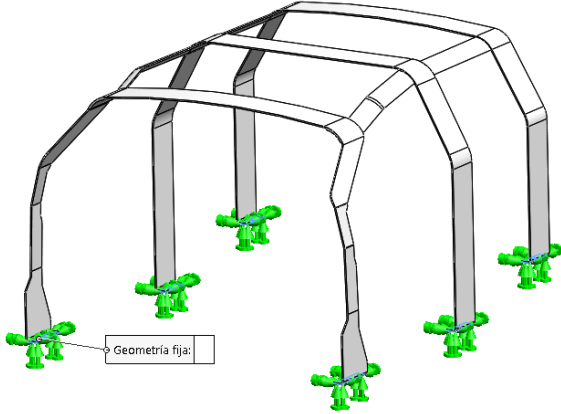

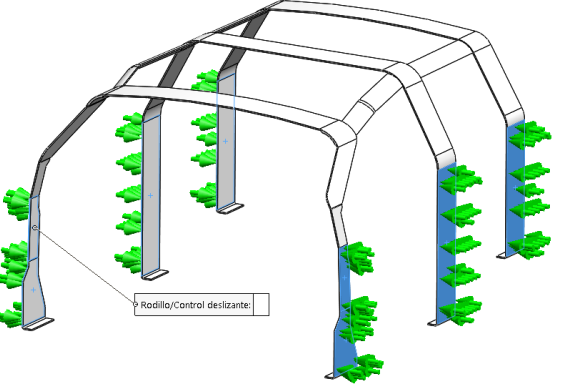

**Deformación en dirección de la fuerza (Z):**  
*Deformación en dirección Z negativo de 1.5mm.*

### 3.4.1. Análisis de Jaula interna antivuelco Laminar:

#### a. Análisis estático bajo normativa FIA:

A continuación, se aplicará las mismas pautas y procedimientos realizados con anterioridad en la simulación de la jaula antivuelco tubular, salvo por una modificación en el tipo de sujeción (Ver tabla 22):

Tabla 22: Sujeción jaula laminar

<p>Sujeción:</p>  <p>Geometría fija:</p>	
<p>Geometría fija:</p>	<p>Representa la unión rígida de la jaula laminar al chasis.</p>
 <p>Rodillo/Control deslizante:</p>	
<p>Rodillo deslizante:</p>	<p>Simulará la soldadura de la lámina a la carrocería, este tipo de sujeción limitará el movimiento lateral de la estructura actuando como lo haría en la realidad al estar vinculado al propio armazón del vehículo.</p>

Fuente: Propia

Una vez definidas las condiciones iniciales y las nuevas sujeciones se simularán las cargas.

**a.1. Carga en barra central:**

Se aplica una fuerza en la barra central ya definida con anterioridad:

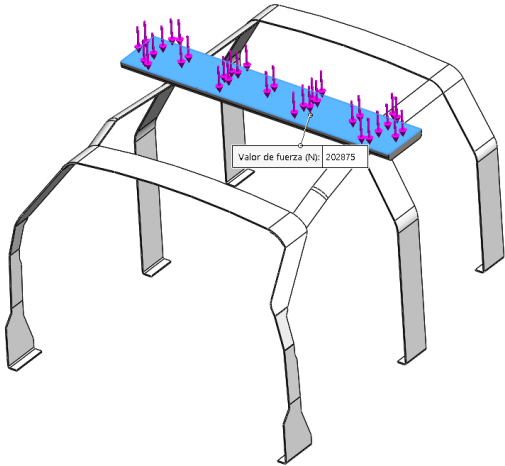
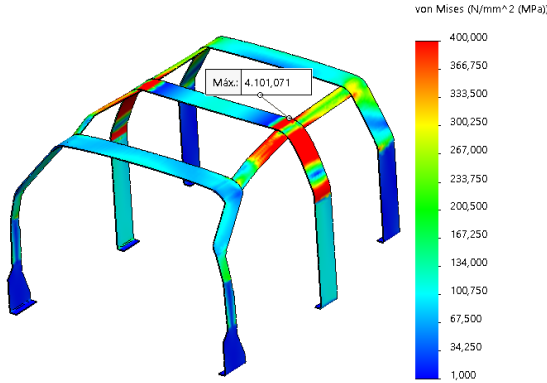
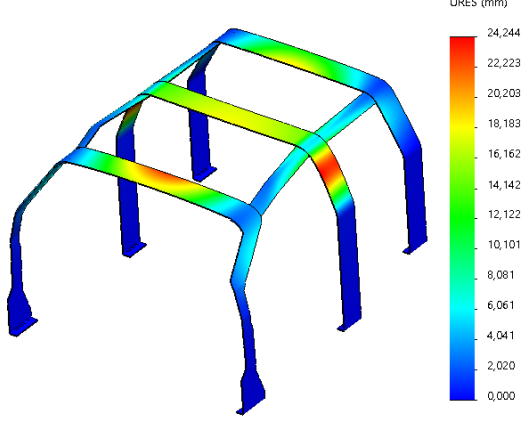
$$F = 75 \times (W_{Bruto})N$$

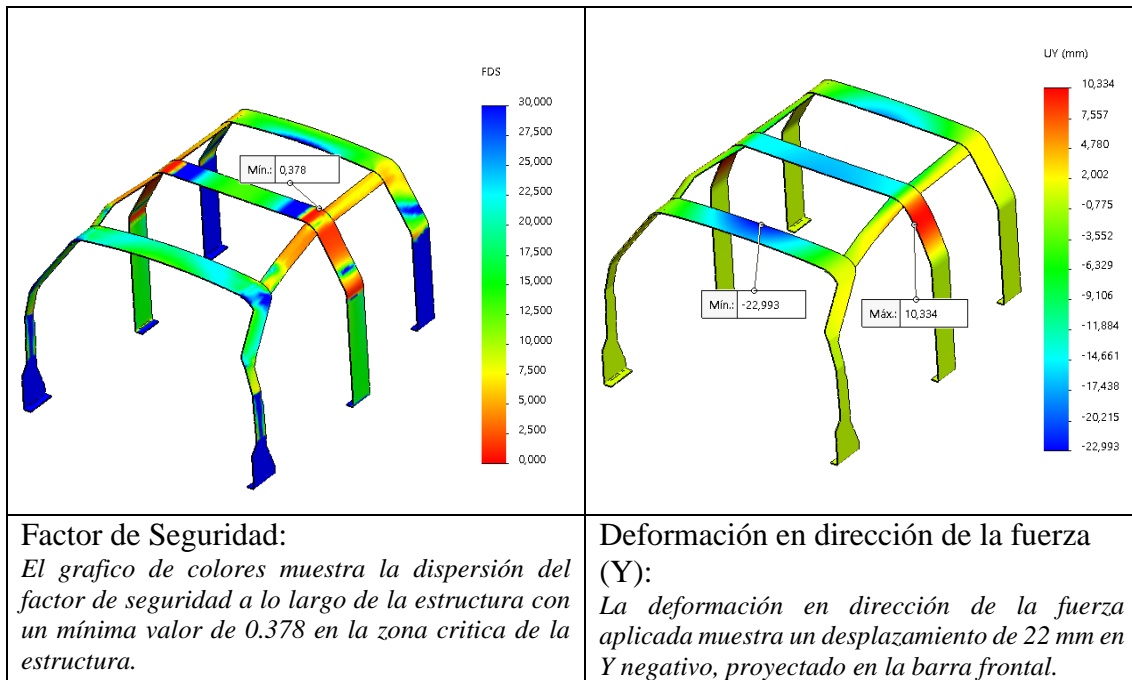
$$F = 202\,875.00\,N$$

$$F = 202.875\,KN$$

Obteniendo los siguientes resultados (Ver tabla 23):

Tabla 23: Resultados Simulación carga en barra central

RESULTADOS:	
	
	
<p><b>Tensión de Von Mises:</b> <i>La tensión se distribuye a los laterales de la jaula, mostrando en las zonas rojas alrededor de 4 101.07 MPa.</i></p>	<p><b>Desplazamientos resultantes:</b> <i>La deformación resultante obtenida tras la simulación muestra un máximo de 24 mm.</i></p>



*Fuente: propia*

**a.2. Carga en barra frontal:**

La inclinación lateral y frontal del bloque se realiza siguiendo las pautas establecidas por el FIA, y la magnitud de la fuerza se calculó de la siguiente formula:

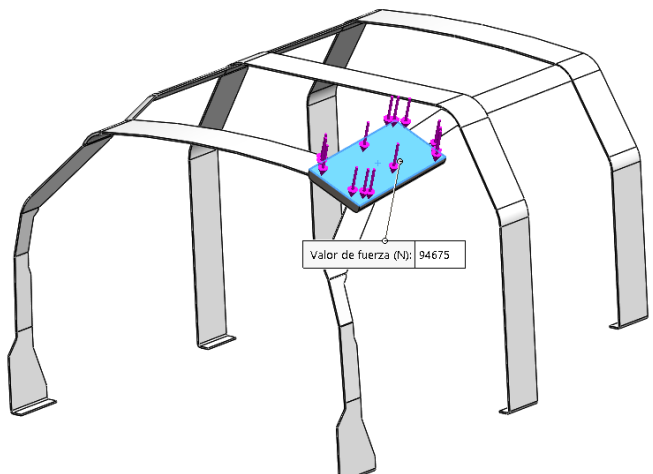
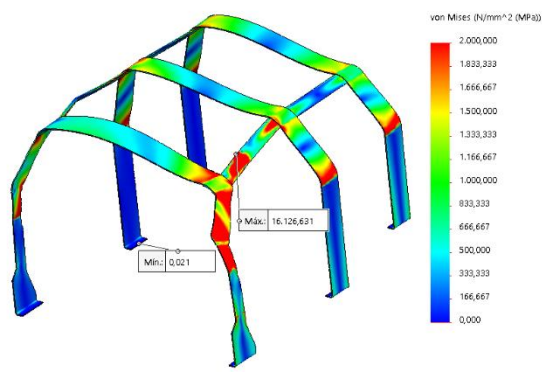
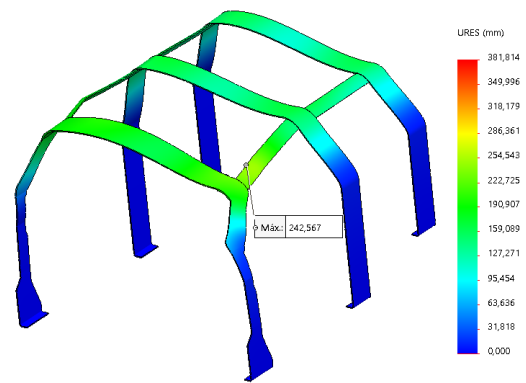
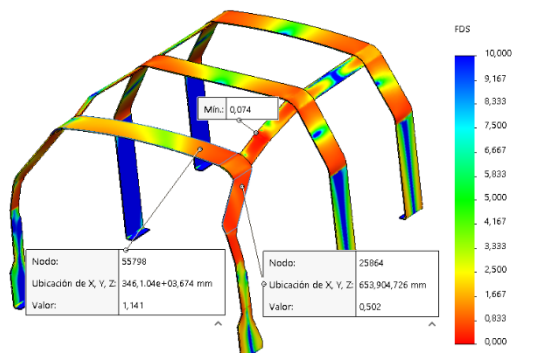
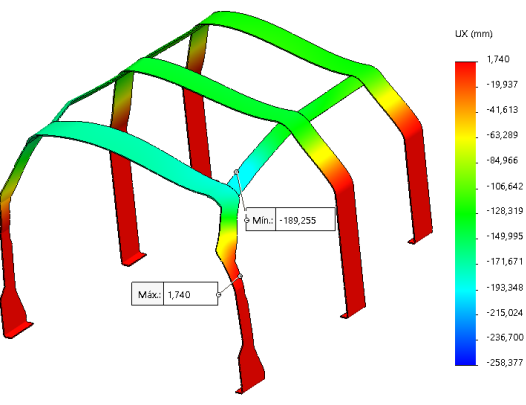
$$F = 35 \times (W_{Bruto})N$$

$$F = 94\,675.00\,N$$

$$F = 94.675\,KN$$

Los resultados obtenidos son los siguientes (*Ver tabla 24*):

Tabla 24: Resultados simulación carga en barra frontal

RESULTADOS:	
 <p>Valor de fuerza (N): 94675</p>	
 <p>von Mises (N/mm<sup>2</sup> (MPa))</p> <p>Mín.: 0,021</p> <p>Máx.: 16,126,631</p>	 <p>URES (mm)</p> <p>Máx.: 242,567</p>
<p><b>Tensión de Von Mises:</b> Tensión máxima en zona de contacto de 16000 MPa.</p>	<p><b>Desplazamientos resultantes:</b> La deformación calculada en simulación es de 24.2 cm aproximadamente.</p>
 <p>FDS</p> <p>Mín.: 0,074</p> <p>Nodo: 55798 Ubicación de X, Y, Z: 346,104e+03,674 mm Valor: 1,141</p> <p>Nodo: 25864 Ubicación de X, Y, Z: 653,904,726 mm Valor: 0,502</p>	 <p>UX (mm)</p> <p>Mín.: -189,255</p> <p>Máx.: 1,740</p>
<p><b>Factor de Seguridad:</b> Factor de seguridad mínimo en la zona de concentración de tensiones es de 0.074.</p>	<p><b>Deformación en dirección de la fuerza (X):</b> Se aprecia un desplazamiento en x negativo de 18cm.</p>

Fuente: Propia

**b. Análisis estático bajo la normativa RMA:**

**b.1. Fuerzas de Carga Vertical (N):**

Se implementa la siguiente ecuación:

$$F = 4.0 \times g \times W_{Bruto}(N)$$

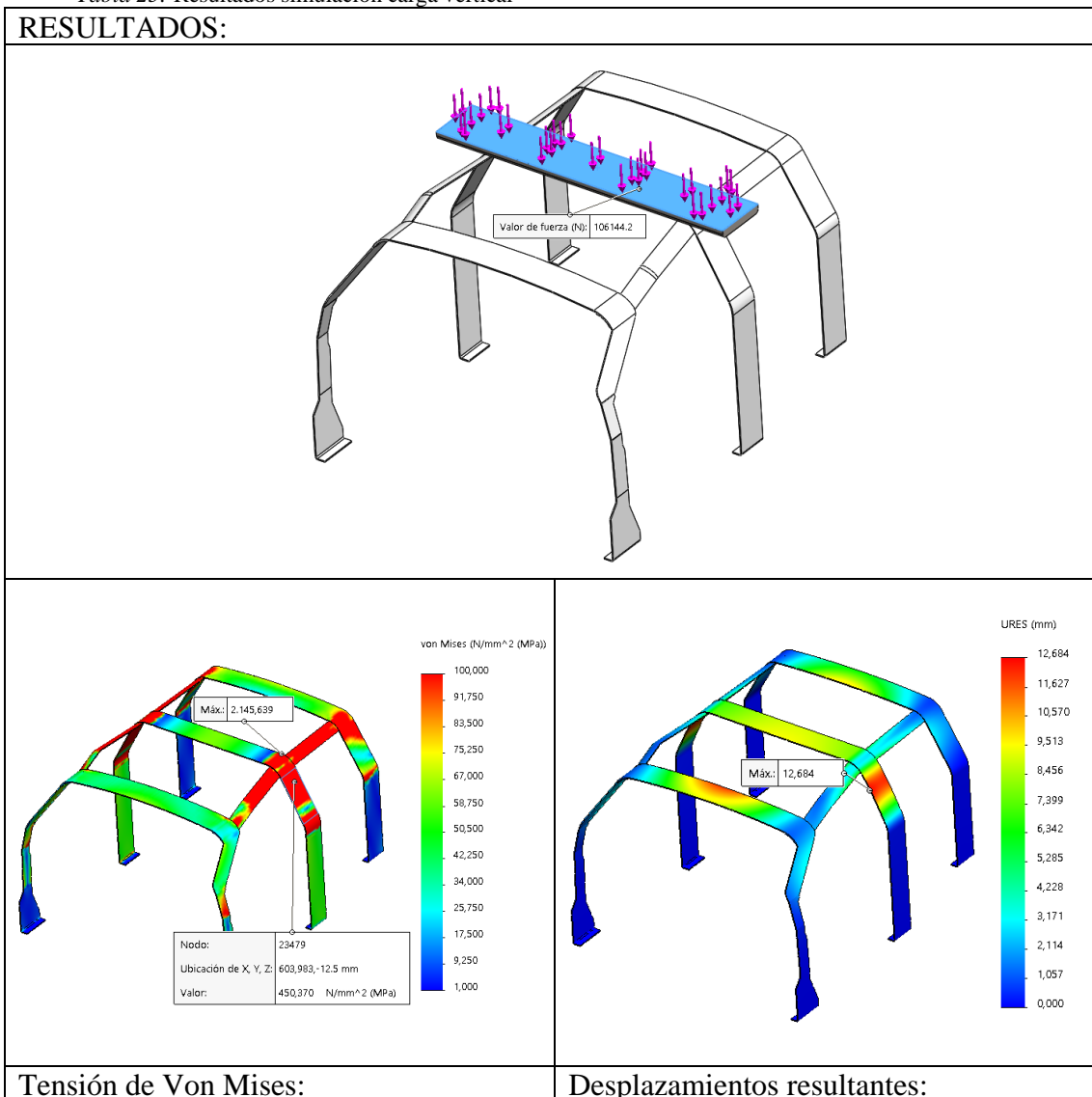
$$F = 4.0 \times 9.81 \times 2705(N)$$

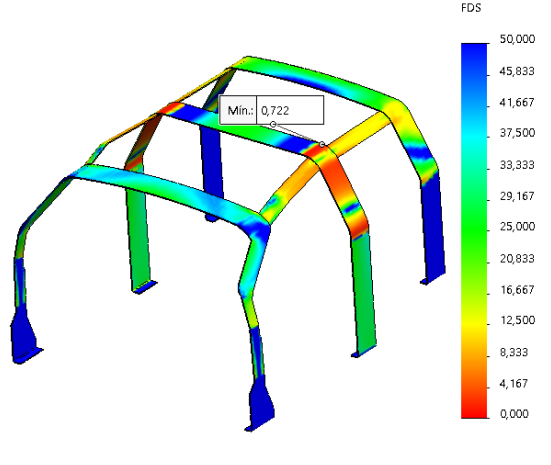
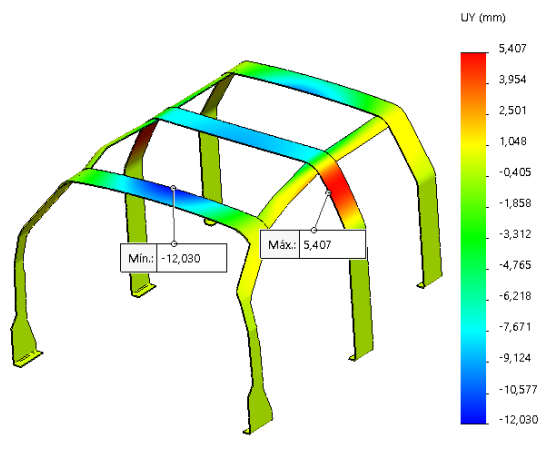
$$F = 106144.2 N$$

$$F = 106.1442 kN$$

Y se muestran los siguientes resultados (Ver tabla 25):

Tabla 25: Resultados simulación carga vertical



<p>Tensión máxima en zona de concentración de esfuerzos de 2 145 MPa.</p>	<p>Desplazamientos resultantes de manera lateral de 12mm.</p>
	
<p>Factor de Seguridad: Factor de seguridad mínimo en zona de concentración de esfuerzos de 0.722.</p>	<p>Deformación en dirección de la fuerza (Y): El desplazamiento máximo en Y negativo de 12mm.</p>

Fuente: Propia

**b.2. Fuerzas de Carga Lateral (N):**

La fuerza aplicada es la siguiente:

$$F = 1.5 \times g \times W_{Bruto}(N)$$

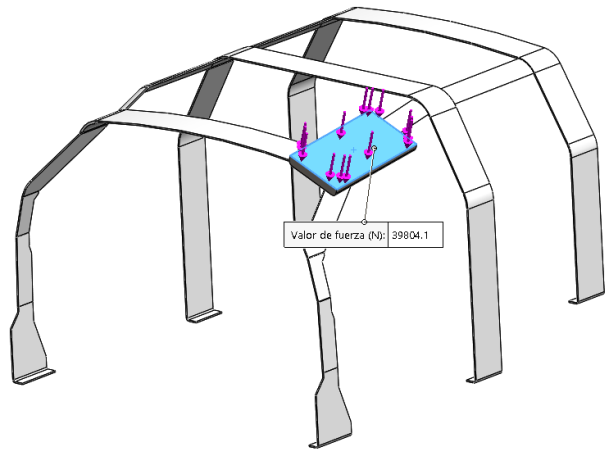
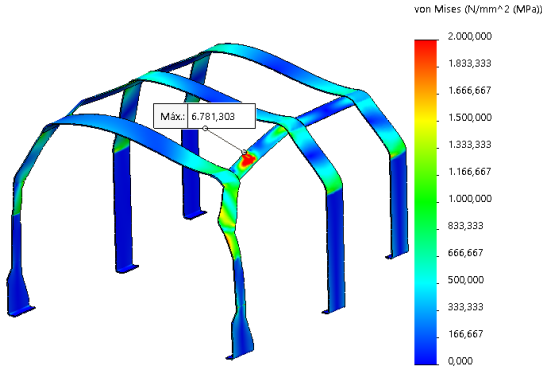
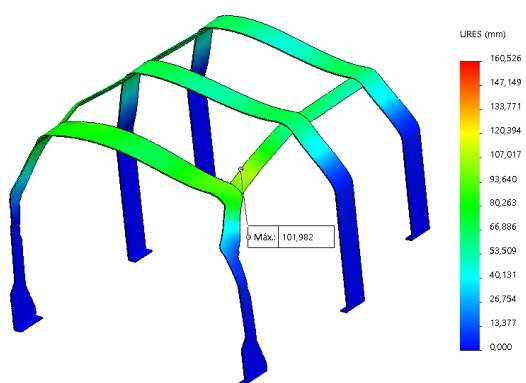
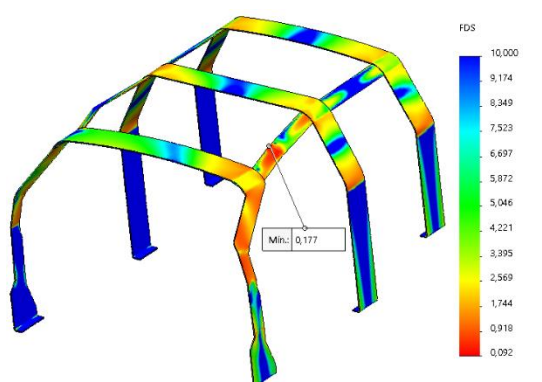
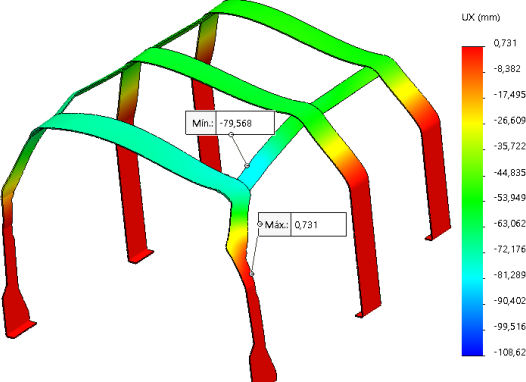
$$F = 1.5 \times 9.81 \times 2705(N)$$

$$F = 39804.1 N$$

$$F = 39.8041 kN$$

Se obtuvo lo siguiente (Ver tabla 26):

Tabla 26: Resultados simulación Carga Lateral

RESULTADOS:	
	
	
<p><b>Tensión de Von Mises:</b>  <i>La tensión máxima de esfuerzos en zona de concentración es de 6 781 MPa.</i></p>	<p><b>Desplazamientos resultantes:</b>  <i>Desplazamiento resultante máximo de 101.9mm.</i></p>
	
<p><b>Factor de Seguridad:</b>  <i>El factor de seguridad mínimo en zona de concentración de cargas es 0.177.</i></p>	<p><b>Deformación en dirección de la fuerza (X):</b>  <i>El desplazamiento máximo de la estructura en dirección X negativo es de 80 mm aprox.</i></p>

Fuente: Propia.



**b.3. Fuerzas de Carga Longitudinal (N):**

La fuerza utilizada para la simulación de carga frontal o longitudinal se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$F = 1.0 \times g \times W_{Bruto}(N)$$

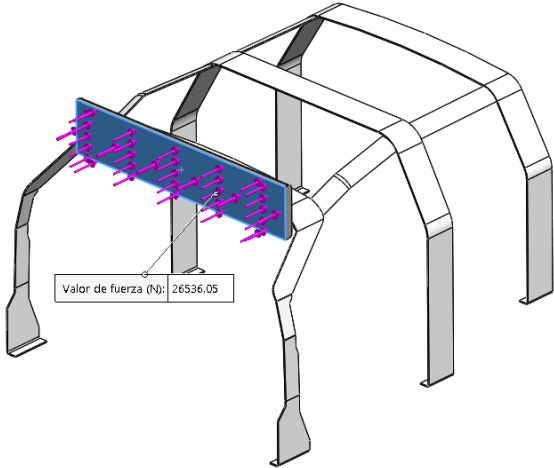
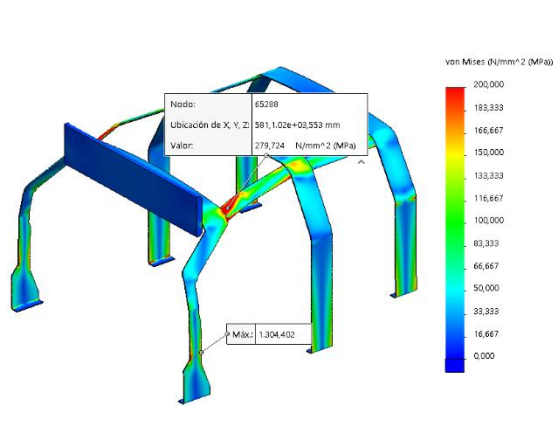
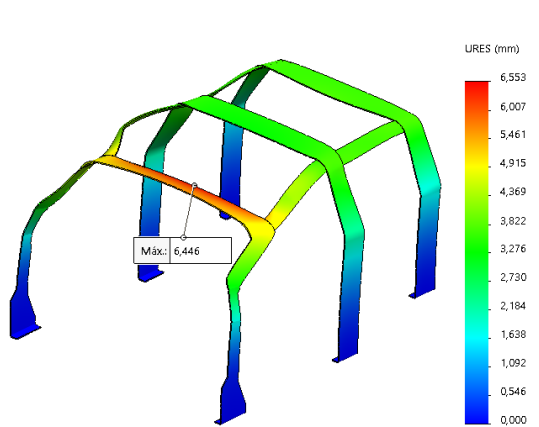
$$F = 1.0 \times 9.81 \times 2705 N$$

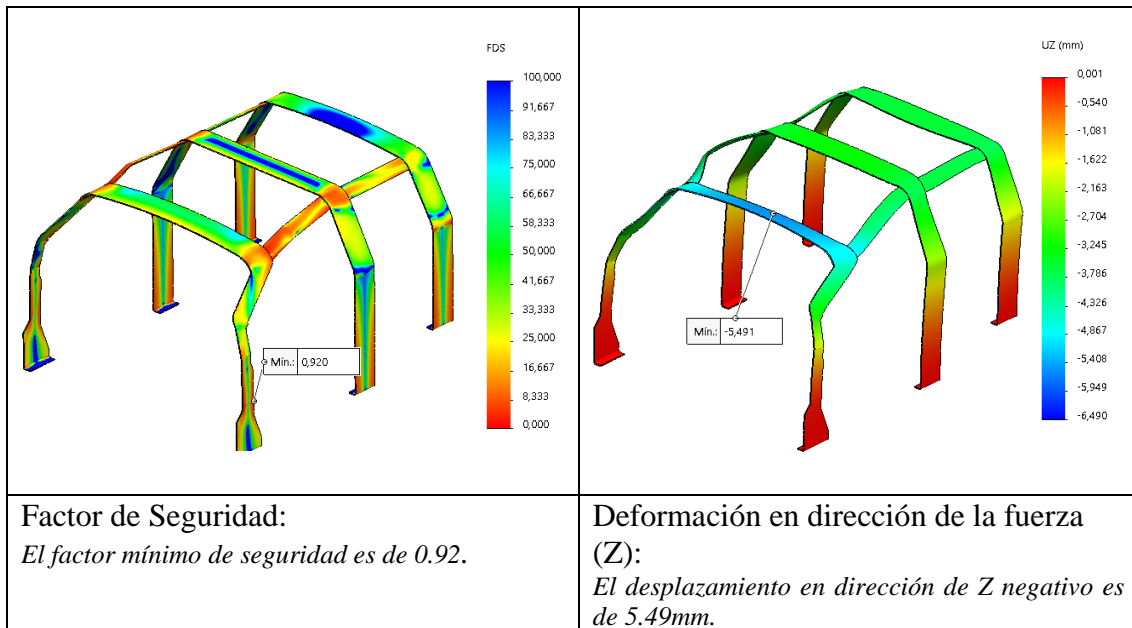
$$F = 26536.05 N$$

$$F = 26.536 kN$$

Definida la fuerza para la simulación, se obtuvo los siguientes resultados (Ver tabla 27):

Tabla 27: Resultados simulación Carga Longitudinal

RESULTADOS:	
	
	
<p><b>Tensión de Von Mises:</b> Tensión máxima de Von Mises de 1 304 MPa.</p>	<p><b>Desplazamientos resultantes:</b> La deformación resultante de la simulación muestra un desplazamiento de 6.5mm.</p>



Fuente: Propia

### 3.5. DISCUSIÓN:

#### 3.5.1. Resumen de resultados:

En la *tabla 28* se presenta el resumen de resultados obtenidos tras la simulación:

*Tabla 28: Resumen de Resultados.*

Normativa FIA			
Simulación:	Resultados:	Jaula Interna Antivuelco Tubular	Jaula Interna Antivuelco Laminar
<i>Carga Barra central:</i> 202 875 N	$\sigma_{Von\ mises}$ :	2456.8 MPa	4101.071 MPa
	<i>Def. Resultante:</i>	24 mm	24 mm
	<i>F.D.S:</i>	0.163	0.378
	<i>Def. (Y):</i>	22.9 mm	22 mm
<i>Carga Barra frontal:</i> 94 675 N	$\sigma_{Von\ mises}$ :	4373.8 MPa	16000 MPa
	<i>Def. Resultante:</i>	102.89 mm	242 mm
	<i>F.D.S:</i>	0.058	0.074
	<i>Def. (X):</i>	69 mm	180 mm
Normativa RMA			
<i>Carga Vertical:</i> 106 144.2 N	$\sigma_{Von\ mises}$ :	1285.4 MPa	2145 MPa
	<i>Def. Resultante:</i>	13 mm	12 mm
	<i>F.D.S:</i>	0.311	0.722
	<i>Def. (Y):</i>	11 mm	12 mm
<i>Carga Lateral:</i> 39 804.1 N	$\sigma_{Von\ mises}$ :	1825.2 MPa	6781 MPa
	<i>Def. Resultante:</i>	44.2 mm	101 mm
	<i>F.D.S:</i>	0.136	0.177
	<i>Def. (X):</i>	29.8 mm	80 mm
<i>Carga</i>	$\sigma_{Von\ mises}$ :	161.4 MPa	1304 MPa

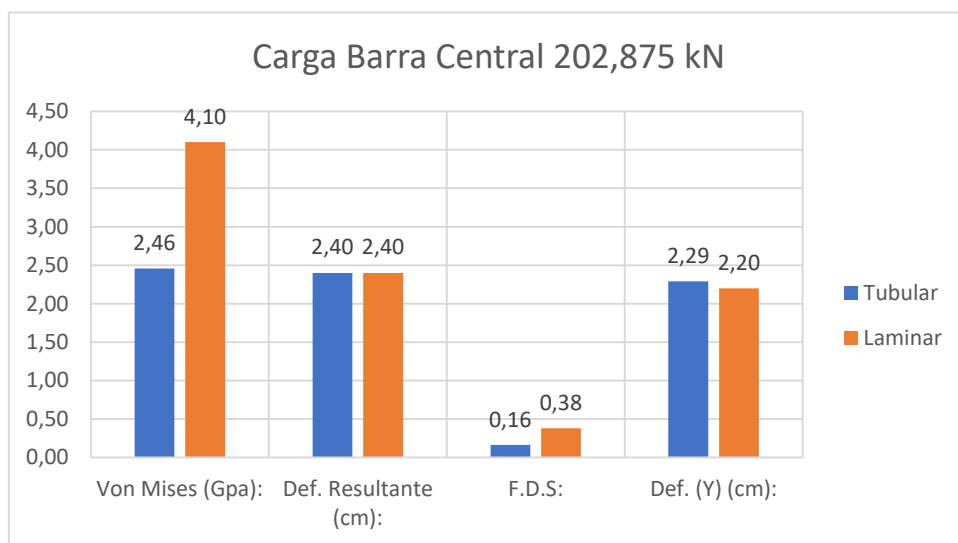
<i>Longitudinal:</i> 26 536.05 N	<i>Def. Resultante:</i>	1.6 mm	6.5 mm
	<i>F.D.S:</i>	1.5	0.92
	<i>Def. (Z):</i>	1.5 mm	5.49 mm

*Fuente: Propia*

Con la finalidad de interpretar los resultados, se presenta a continuación a manera de gráficos de barras la comparación de las 2 estructuras con sus correspondientes simulaciones:

**a. Simulación según norma FIA:**

**a.1. Carga en Barra Central:**



*Figura 10: Comparación carga en barra central según norma FIA*

*Fuente: propia*

**a.2. Carga en barra frontal:**

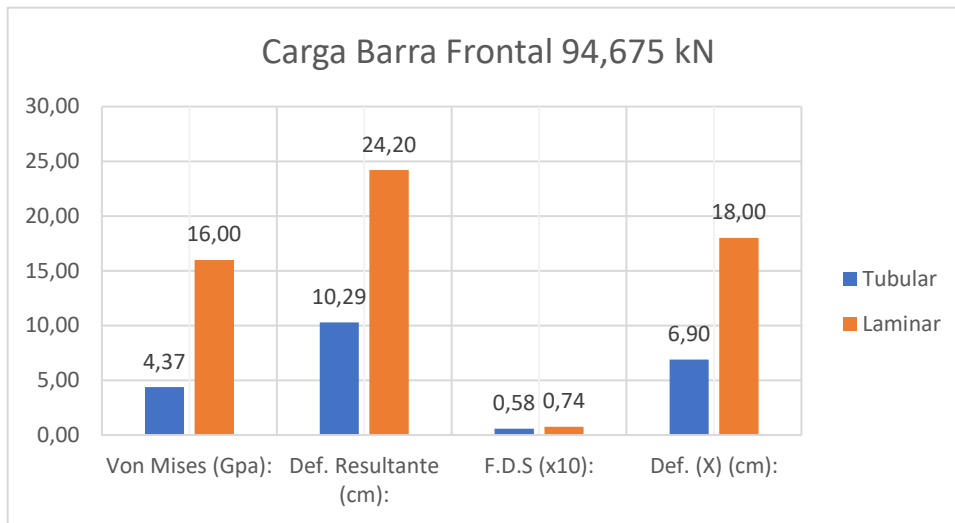


Figura 11: Comparación carga en barra frontal según norma FIA  
Fuente: Propia

**b. Simulación según norma RMA:**

**b.1. Carga vertical:**

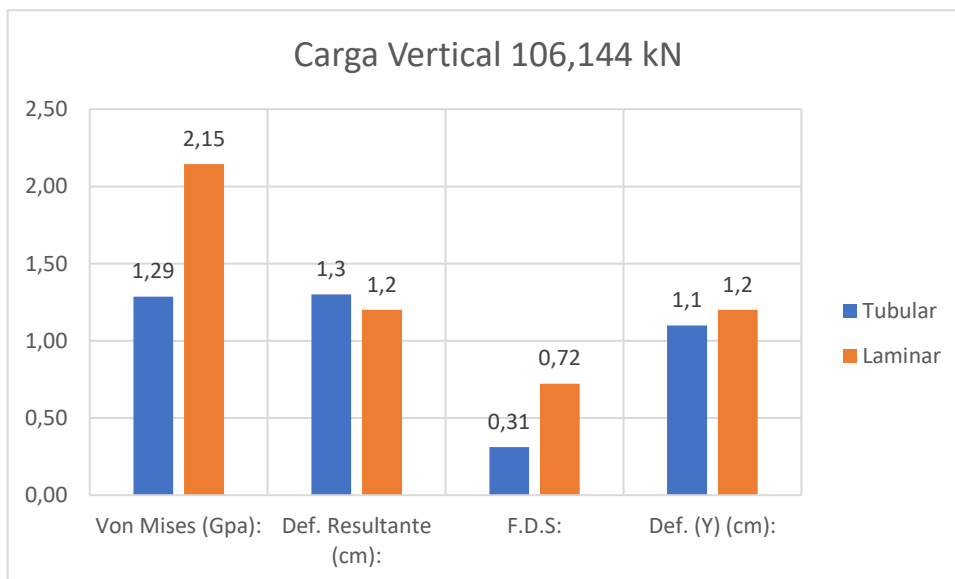
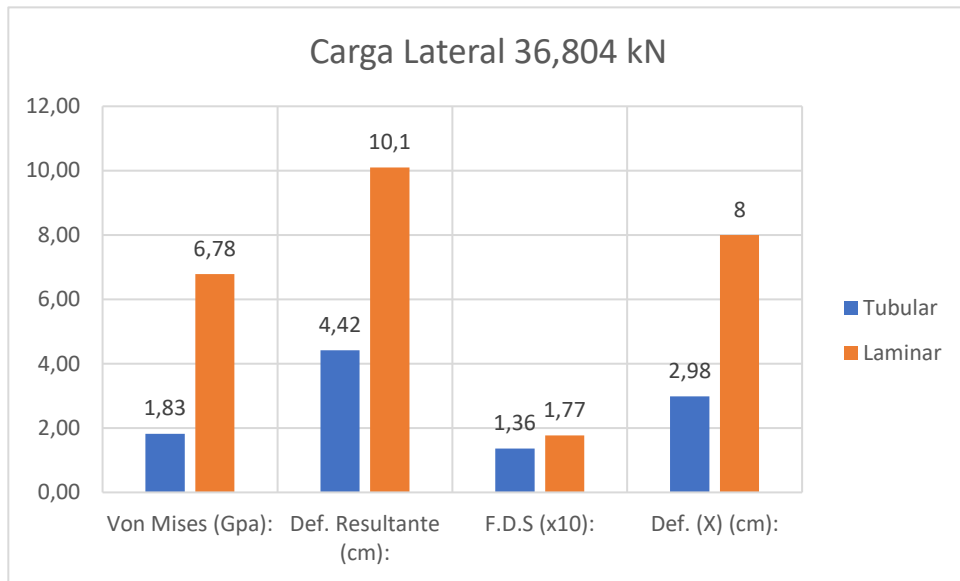


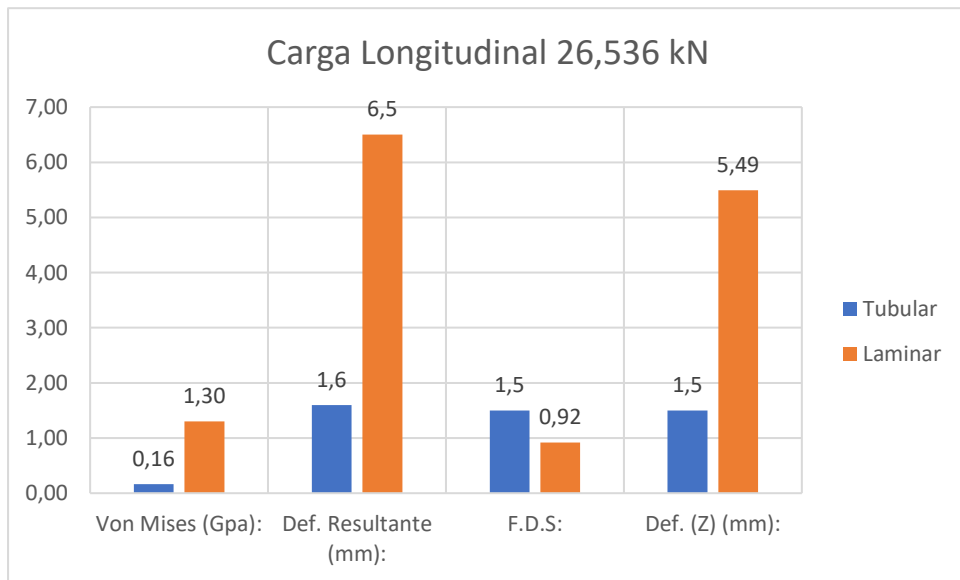
Figura 12: Comparación carga vertical según norma RMA  
Fuente: Propia

**b.2. Carga Lateral:**



*Figura 13: Comparación carga lateral según norma RMA  
Fuente: Propia*

**b.3. Carga Longitudinal:**



*Figura 14: Comparación carga longitudinal según norma RMA  
Fuente: Propia*

Los resultados muestran que la estructura tubular disipa mejor los esfuerzos a lo largo del mismo, mostrando una concentración de esfuerzos de Von Mises inferior a la

presentada por la estructura laminar, este resultado se puede correlacionar con la geometría cilíndrica que compone la estructura, de manera que se autosoporte, generando una segunda capa de rigidez al interior de la cabina vehicular, por otro lado la estructura laminar se pensó para generar un refuerzo adicional a la estructura ya existente (Carrocería), con lo cual por si sola no brinda mayor consistencia estructural al ser analizada.

Tomando la comparativa de grafico de barras en el apartado de deformación resultante (Def. Resultante), visualizamos mayor incidencia en los impactos laterales sobre la barra frontal (parte superior del parabrisa), indicando mayor grado de deformación en la jaula antivuelco laminar, con un máximo de 24 cm en función a una carga de 94 kN, según el estándar normado por el FIA la deformación permisible es de solo 50mm (5cm), pero para la norma americana FMVSS-216 se encuentra dentro del rango de 10 pulgadas permisibles de deformación, pasado este límite se considera letal para los ocupantes.

El factor de seguridad está en relación directa con las propiedades físicas del material, por lo tanto, al variar éste se puede obtener mayor o menor desempeño en función a lo que se busca, siendo el caso del mercado peruano la implementación de materiales disponibles en el sector para el caso de las estructuras tubulares es acero ASTM A36 y para las jaulas internas laminares acero Balístico de múltiples marcas, para este caso en particular AR-500. La diferencia de materiales se manifiesta en una superioridad en el factor de seguridad de la estructura laminar. Pero a pesar de esto se visualizan solo niveles mínimos alcanzados sin ver proyecciones superiores en este factor, por ese motivo se consideró apropiado analizar a detalle el F.D.S en el siguiente apartado.

El desplazamiento en dirección a la fuerza aplicada, al igual que en las deformaciones resultantes, se generan mayores desplazamientos a los laterales, apreciándose mayor desplazamiento en la estructura laminar, dicho desplazamiento está dentro de rango de la normativa americana FMVSS-216 y la norma RMA, sin embargo, sigue superando lo estipulado por el FIA.

### **3.5.2. Distribución del factor de seguridad a lo largo de las estructuras:**

El factor de seguridad obtenido en los análisis anteriores, muestra un bajo

nivel debido a la gran concentración de esfuerzos en zonas de intersección de las armaduras presentadas, por tal se consideró oportuno analizar qué es lo que sucede en realidad a lo largo de la estructura y mostrar sugerencias adaptables a estas situaciones de carga particulares.

La normativa proporcionada por la empresa RMA Group al ser la más vinculada con nuestro caso de estudio (Vehículos utilitarios ligeros-Pick Up), será la que se usará para entender el comportamiento del factor de seguridad:

**a. Factor de seguridad Carga Vertical:**

**a.1. Jaula interna tubular – F.D.S:**

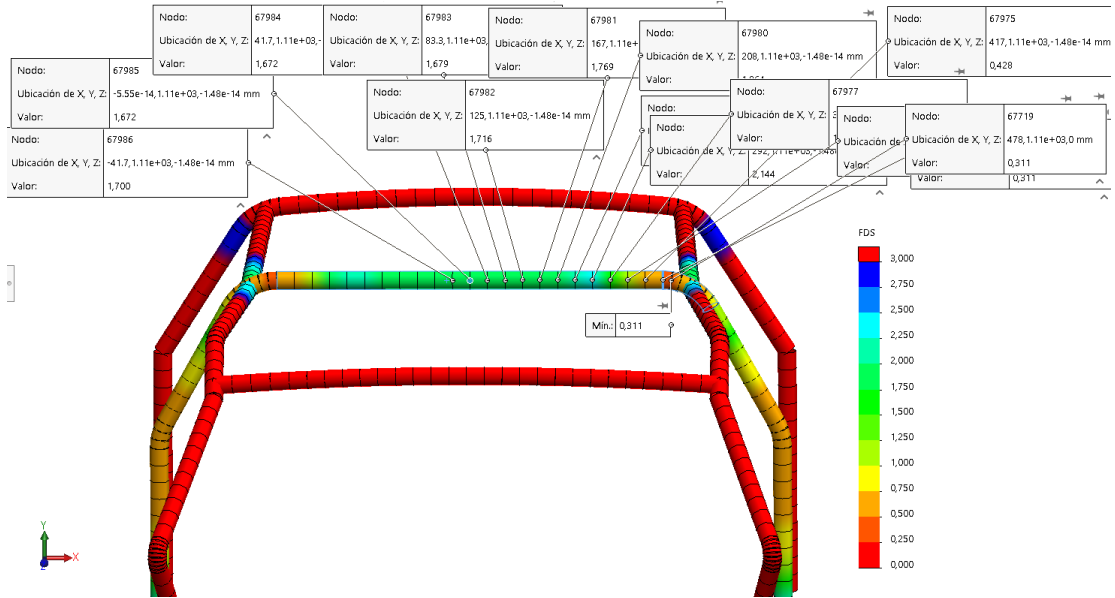


Figura 15: Recorrido FDS-carga vertical-Jaula Tubular  
Fuente: Propia

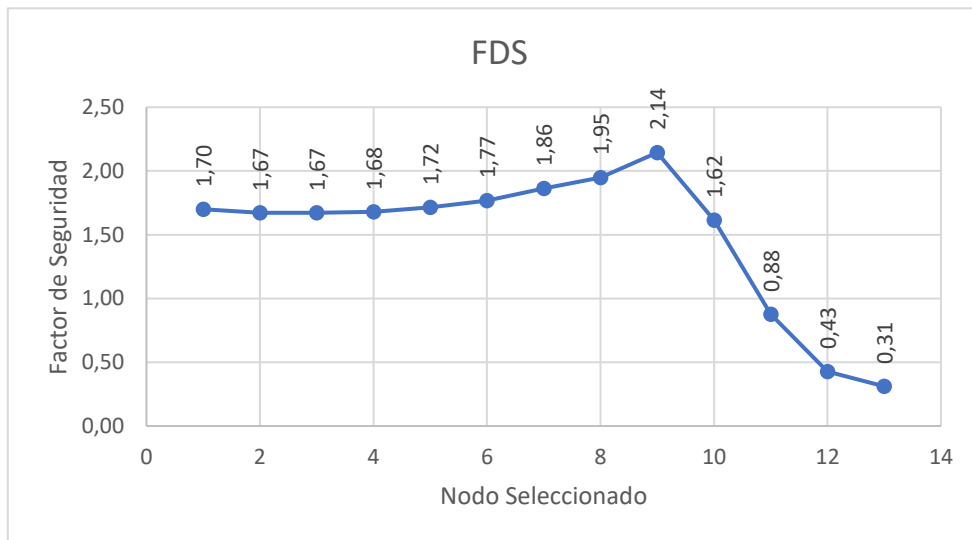


Figura 16: Curva FDS-carga vertical-Jaula Tubular  
Fuente: Propia



a.2. *Jaula interna laminar – F.D.S:*

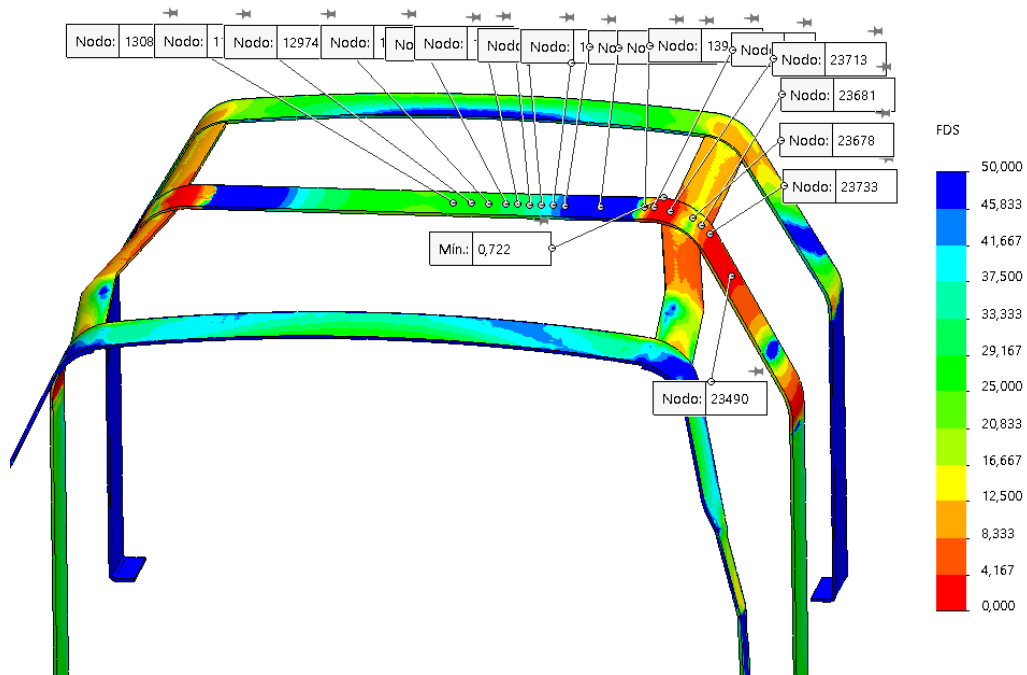


Figura 17: Recorrido FDS-carga vertical-Jaula Laminar  
Fuente: Propia

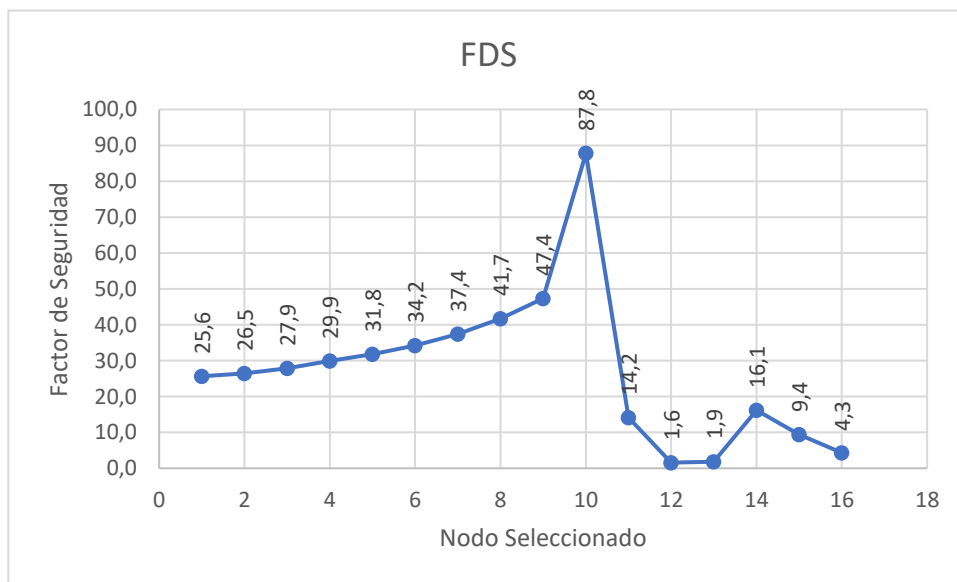


Figura 18: Curva FDS-carga vertical-Jaula Laminar  
Fuente: Propia

**b. Factor de seguridad Carga Lateral:**

**b.1. Jaula interna tubular – F.D.S:**

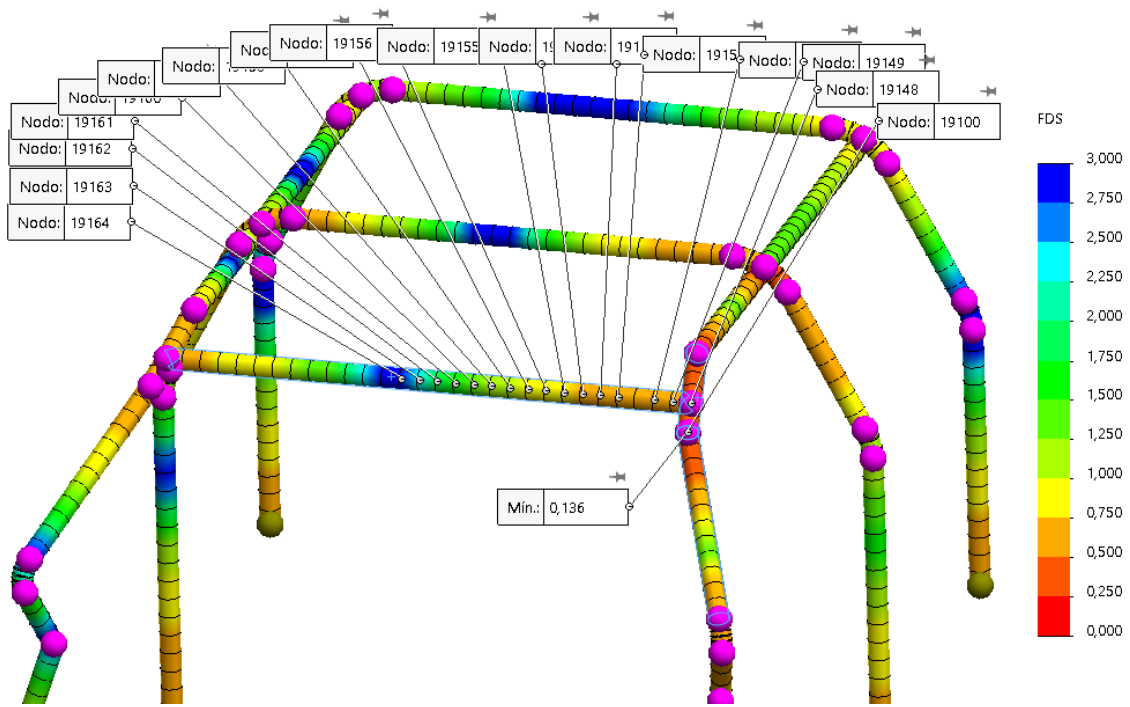


Figura 19: Recorrido FDS-carga lateral-Jaula Tubular  
Fuente: Propia

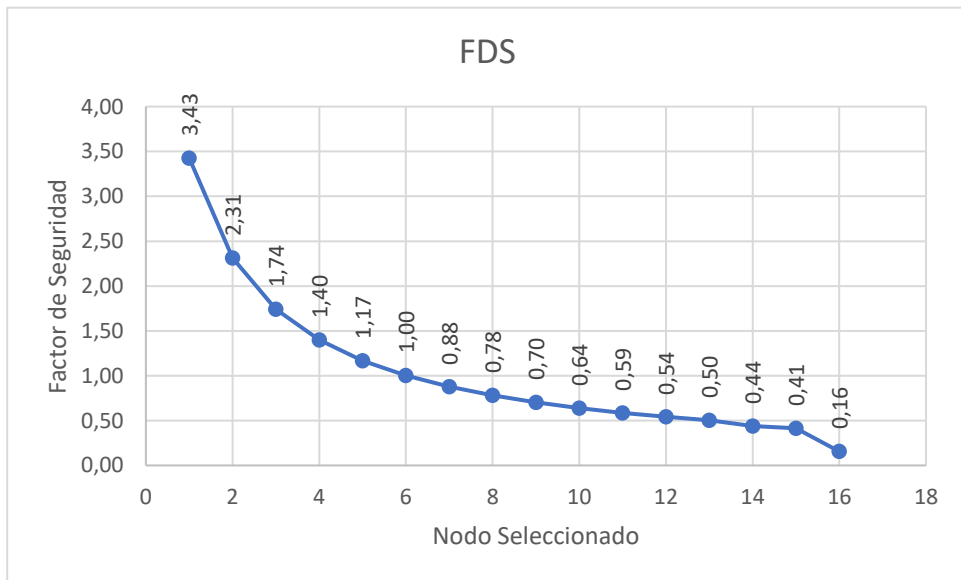


Figura 20: Curva FDS-carga lateral-Jaula Tubular  
Fuente: Propia

**b.2. Jaula interna laminar – F.D.S:**

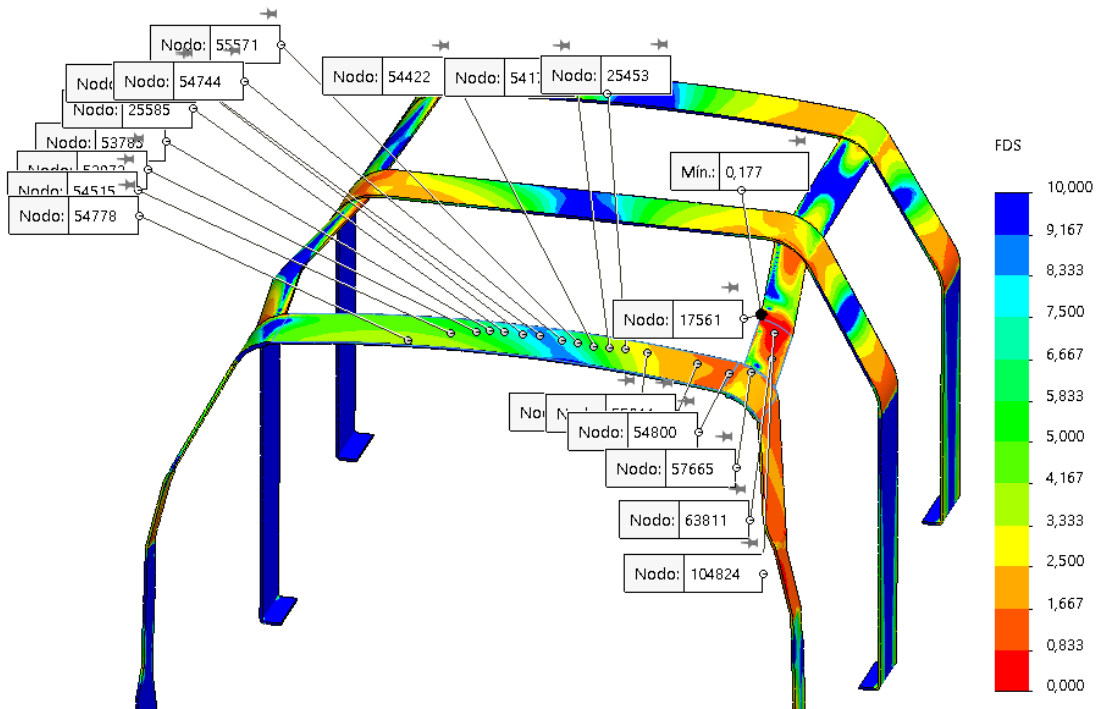


Figura 21: Recorrido FDS-carga lateral-Jaula Laminar  
Fuente: Propia

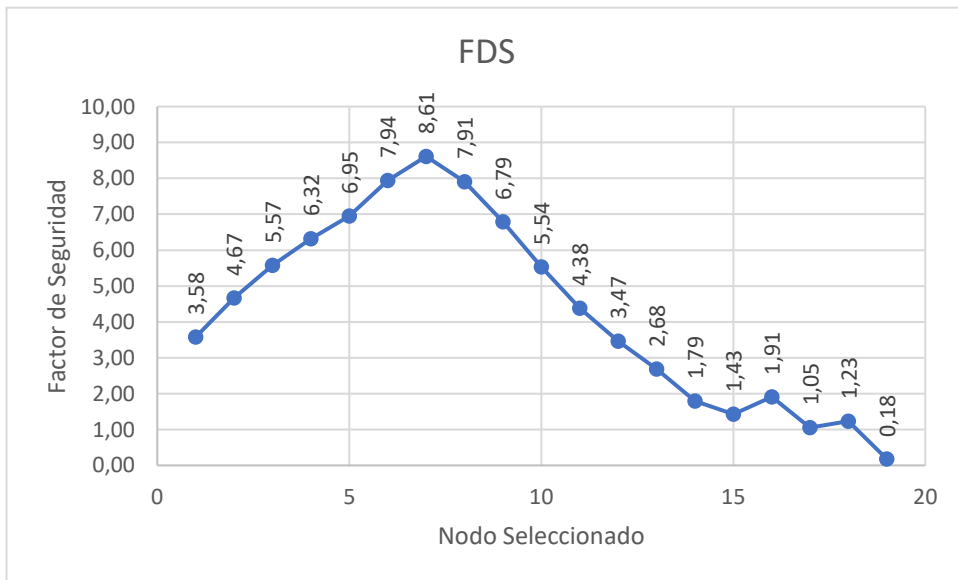


Figura 22: Curva FDS-carga lateral-Jaula Laminar

Fuente: Propia

**c. Factor de seguridad Carga Longitudinal:**

**c.1. Jaula interna tubular – F.D.S.:**

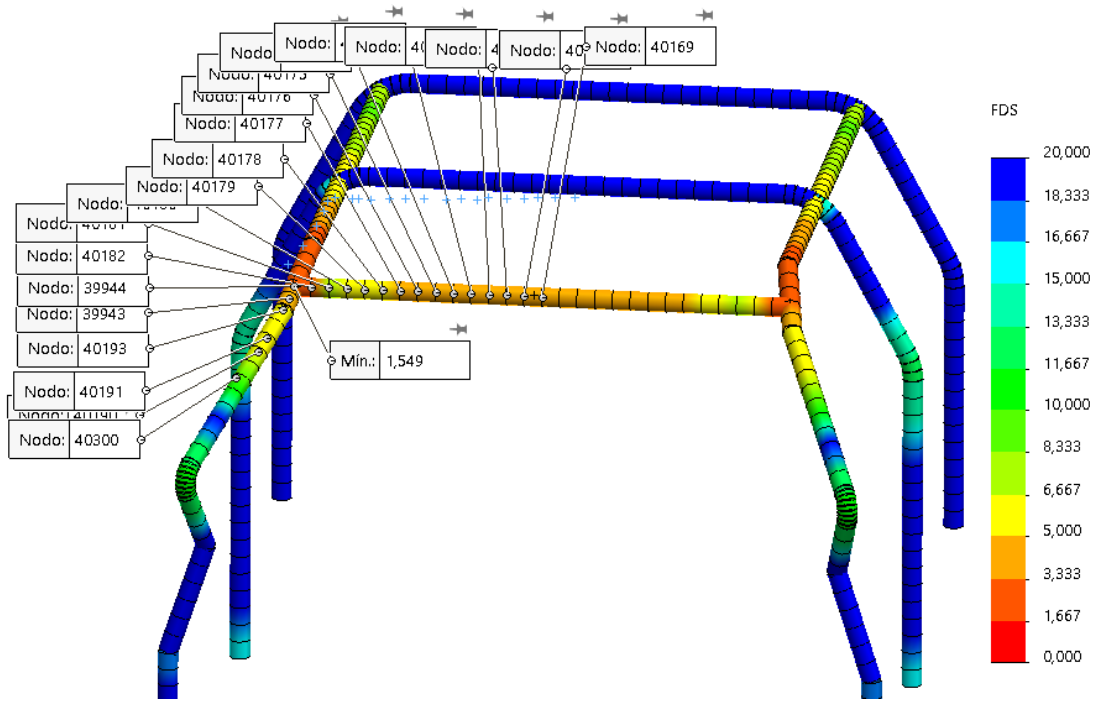


Figura 23: Recorrido FDS-carga longitudinal-Jaula Tubular  
Fuente: Propia

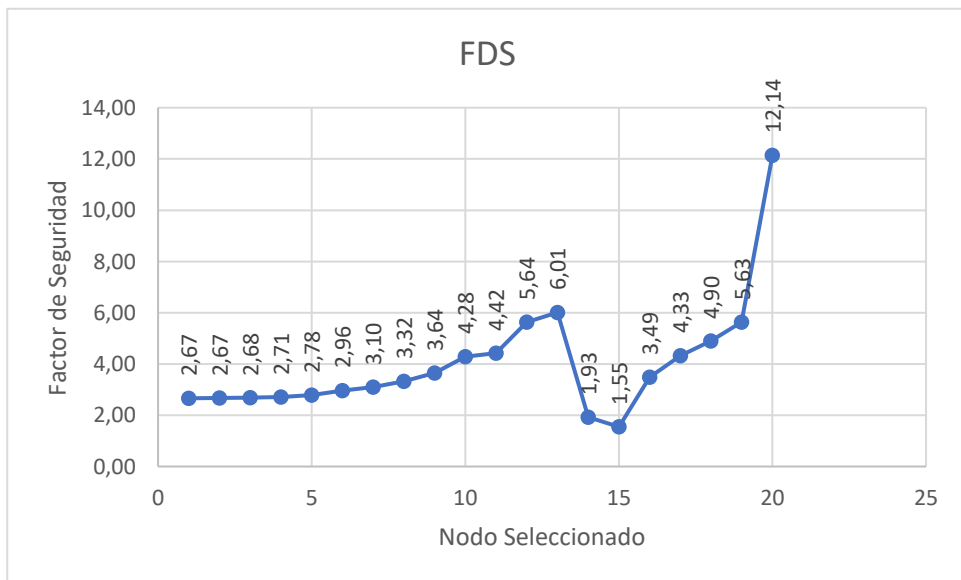


Figura 24: Curva FDS-carga longitudinal-Jaula Tubular  
Fuente: Propia

c.2. Jaula interna laminar – F.D.S:

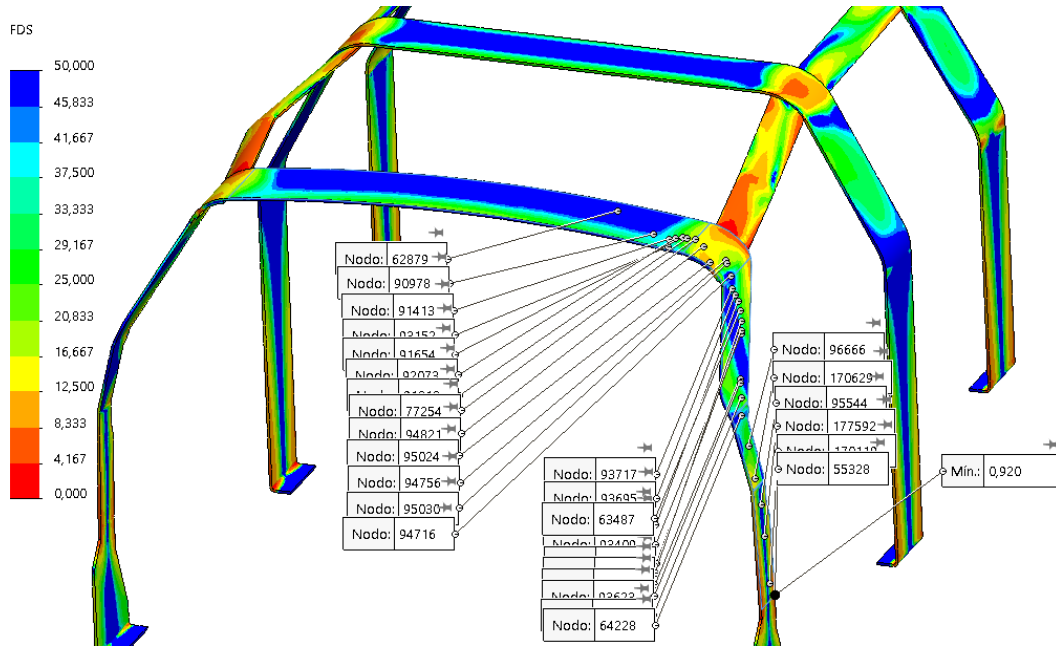


Figura 25: Recorrido FDS-carga longitudinal-Jaula Laminar  
Fuente: Propia

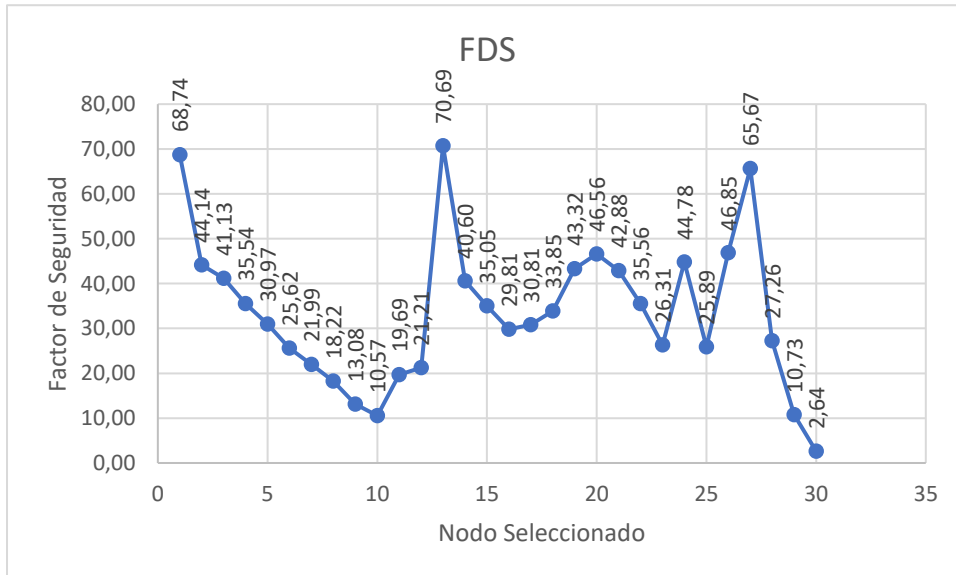


Figura 26: Curva FDS-carga longitudinal-Jaula Laminar  
Fuente: Propia

Los datos obtenidos muestran un panorama interesante y concluyente, el factor de seguridad de la jaula interna laminar cuenta con un elevado F.D.S a lo largo de su estructura en comparación con la tubular que si bien es cierto tiene una distribución homogénea, está es superada por mucho con la estructura laminar.

En ambos diseños el punto débil se manifiesta con el valor mínimo de su factor de seguridad ubicado predominantemente en las uniones e intersecciones de soldadura, haciendo énfasis de que las estructuras analizadas son las que comúnmente se observan en el mercado peruano, se puede asumir que ciertas mejoras, como lo serían refuerzos en las uniones se obtendría un mejor desempeño de cada uno.

#### **IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:**

##### **4.1. CONCLUSIONES:**

- a.- Las geometrías y dimensiones contempladas en el estudio se basaron en lo estipulado por la normativa internacional de la FIA y la normativa americana FMVSS-216, contrastadas con las jaulas internas antivuelco comercializadas a nivel nacional.
- b.- Los diferentes escenarios y fuerzas involucradas en una situación de volcadura vehicular, se tomaron en cuenta desde una perspectiva estadística de investigaciones anteriores, y considerando las normativas pertinentes a través de ensayos cuasi-estáticos propuestos.
- c.- Los cálculos analíticos realizados, fueron los visualizados durante una volcadura, impacto vertical, impacto lateral e impacto frontal teniendo en cuenta la aceleración vehicular y el peso propio del vehículo.
- d.- El modelo de cada jaula interna antivuelco se realizó a través del software de ingeniería SolidWorks, ayudado de las dimensiones tomadas en campo y el modelo 3D del vehículo analizado (Pick-up).
- e.- Durante el proceso de simulación por elementos finitos, se tuvo en consideración obtener, los esfuerzos máximos de Von mises, Deformación resultante, Factor de seguridad y el desplazamiento máximo en dirección a la fuerza aplicada.
- f.- Finalmente se realizó la comparativa y se evaluó los diferentes resultados obtenidos en cada circunstancia, para cada estructura, mostrando mayor concentración de esfuerzos de Von mises la jaula interna antivuelco laminar

llegando a tener 370.5% más esfuerzos en relación a la estructura tubular, por otro lado las deformaciones resultantes se visualizan con menor intensidad en la jaula interna antivuelco tubular, manifestándose este resultado debido a la geometría cilíndrica que compone el perfil estructural, sin embargo esto no significa una ventaja sobre la jaula laminar, puesto que en la práctica se interpretaría como una desaceleración más brusca, generando daños graves a los ocupantes, por las fuerzas G en su interior, de igual forma la estructura laminar se adecua mejor a la deformación programada del vehículo, dando indicios de una mejora estructural al chasis, en un análisis más detallado del factor de seguridad, se demostró el buen comportamiento estructural que tendrían las estructuras de mejorarse las uniones soldadas e intersecciones en el diseño.

#### **4.2. RECOMENDACIONES:**

- a.- Puesto que la perspectiva asumida en este proyecto de investigación fue puramente analítico y simulado de manera computacional, es recomendable visualizar el comportamiento de ambos tipos de jaulas internas antivuelco de manera experimental en pruebas de campo, probando las situaciones de vuelco más comunes.
- b.- Un apartado a observar a lo largo de la investigación es la gran variedad de diseños presentes en el mercado nacional, con lo cual es conveniente analizar cual sería la que ofrece una mejor protección teniendo en cuenta que una estructura más rígida no ofrecerá dicha protección puesto que puede producir frenados bruscos durante una volcadura y el ocupante podría lesionarse debido a la inercia.
- c.- La investigación aborda la simulación cuasi-estática de las jaulas de protección sin embargo se recomienda analizar un tipo específico de accidente y evaluarlo de manera dinámica a fin de tener un panorama de comportamiento más acorde con lo experimentado en la realidad.

## V. Referencias:

- AAP. (10 de 10 de 2020). *Asociación Automotriz del Perú*. Obtenido de <https://aap.org.pe/estadisticas/informe-estadistico-automotor/>
- Aiport Metals. (2018). Roll Cage Technology and Development Throughout the Years. *Aiport Metals (Australia)*, 2.
- BCRP. (14 de 10 de 2020). *Banco Central de Reserva del Perú*. Obtenido de <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/anuales/resultados/PM05942FA/html>
- Beer. (2010). *Mecánica Vectorial para Ingenieros Dinámica* (Setima ed.). México: McGraw Hill interamericana.
- Brambati, G., & Hernán, J. (2011). *Jaulas internas y barras externas antivuelco para camionetas pick-up*. Argentina: Petrotecnia.
- Chakraborty, S., & Kumar Neopanay, H. (2014). *Static Analysis of Roll Cage*. INDIA: International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering.
- Clerck, J. D. (2014). Topics in Modal Analysis I. En *Proceedings of the 32nd IMAC, A Conference and Exposition on Structural Dynamics* (págs. 13-23). USA: Springer.
- DECRETO SUPREMO N° 058-2003-MTC. (2003). Ley General de Transporte y Tránsito Terrestre-N° 27181. *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*, 121.
- Dutt Gautam, G., Pratap Singh, K., Prajapati, A., & Norkey, G. (2020). *Design optimization of roll cage for formula one vehicle by using finite element analysis*. India: ELSEVIER.
- Farzad Hejazi, A. F., & Izian Abd Karim, M. S. (2016). Numerical and experimental evaluation of a developed nonlinear curved spring element under compression force. *Elsevier*, 115-125.
- Farzad Hejazi, A. F., & Izian Abd Karim, M. S. (2016). Numerical and experimental evaluation of a developed nonlinear curved spring element under compression force. *ELSEVIER*, 115-125.
- FIA. (2020). Federacion internacional de Automovilismo . *Homologaciones del FIA*, 7-18.



- Gaguancela Sañaicela, J. C., & Puente Castro, S. R. (2016). Caracterización de partes reparadas de vehículos siniestrados. *Escuela Politécnica Nacional*, 99.
- Guasumba Maila, J. E. (2019). *Análisis estructural de chasis tubular tipo Jaula Nissan Tiida sometido a prueba de impacto lateral basado en simulación por el Método de Elementos Finitos*. Ecuador: Universidad Internacional SEK.
- Hibbeler Russell. (2010). *Ingeniería Mecánica Dinámica* (Decimo Segunda ed.). Mexico: Prentice Hall.
- INEI. (10 de 12 de 2018). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Obtenido de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib0979/index.html](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0979/index.html)
- Karikalan, L. (2018). DESIGN AND DEVELOPMENT OF ROLL CAGE FOR ALL TERRAIN VEHICLES. *International Journal of Modern Trends in Engineering and Research*, 66-71.
- Moura, H., & Oliveira, A. (2014). *UMA ESTRUTURA PROTETORA CONTRA CAPOTAMENTO E IMPACTO (R.O.P.S.) PARA SER EXTERNAMENTE MONTADA SOBRE UM VEÍCULO 4X4*. Brasil: Blucher Engineering Proceedings.
- MTC. (2003). REGLAMENTO NACIONAL DE VEHÍCULOS. En M. d. Perú. Lima: El Peruano.
- Mundo Trucks. (26 de Septiembre de 2019). *Toyota presenta la nueva Hilux 2020, la camioneta más utilizada por la minería en Perú*. Obtenido de <https://www.mundotrucks.com.pe/toyota-presenta-la-nueva-hilux-2020-la-camioneta-mas-utilizada-por-la-mineria-en-peru/#:~:text=Toyota%20presenta%20la%20nueva%20Hilux,por%20la%20miner%C3%ADa%20en%20Per%C3%BA>
- OIT. (10 de 10 de 2020). *Organizacion Internacional del Trabajo*. Obtenido de [https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS\\_008562/lang-es/index.htm](https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_008562/lang-es/index.htm)
- OMS. (10 de 10 de 2020). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de <https://www.who.int/es>
- OSINERGMIN. (10 de 10 de 2020). *Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería*. Obtenido de [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/mineria/estadisticas](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/estadisticas)

eindicadores/accidentes-mortales/Boletin-GSM-Accidentes-Mortales-2020-03.pdf

- RMA Group. (22 de 10 de 2020). *LIGHT VEHICLE ROLLOVER PROTECTION STRUCTURE (ROPS)*. Obtenido de [http://www.miningrops.com.au/downloads/test\\_protocol\\_RMA.pdf](http://www.miningrops.com.au/downloads/test_protocol_RMA.pdf)
- Rumbo Minero. (2019). Mercado de Pick ups: El mejor aliado de la minería sobre ruedas. *Revista Rumbo Minero Minería y Energía*, 2.
- Safiuddeen, Balaji, & ShabeerHussain. (2020). *Comparative design and analysis of roll cage for automobiles*. Chennai: ELSEVIER.
- SERNAGEOMIN. (5 de 11 de 2019). *Servicio Nacional de Geología y Minería*. Obtenido de Accidentabilidad Minera año 2019: <https://www.sernageomin.cl/pdf/Presentacion-Accidentes-2019.pdf>
- Shigley. (2003). *Diseño de ingeniería mecánica* (Sexta ed.). México: McGraw-Hill.
- SST-Minería. (2010). REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO MINERÍA. *Decreto Supremo N° 055-2010-EM*.
- Statista. (2018). *Reporte Estadístico de Accidentes de Tránsito*. EE.UU: Statista.

# VI. ANEXOS:

## ANEXO 1: Protocolos FIA

Anexo 1 (aproximado) - Anexo 1 (aprox. 202)	
<p><b>1.1.1</b> Los miembros de la junta de seguridad...</p> <p><b>1.1.2</b> Los miembros de la junta de seguridad...</p> <p><b>1.2</b> Seguridad y verificación por una ERS de acuerdo a los requisitos de homologación para vehículos de seguridad...</p> <p><b>1.3</b> Seguridad y verificación por una ERS de acuerdo a los requisitos de homologación para vehículos de seguridad...</p> <p><b>1.4</b> Seguridad y verificación por una ERS de acuerdo a los requisitos de homologación para vehículos de seguridad...</p> <p><b>1.5</b> Seguridad y verificación por una ERS de acuerdo a los requisitos de homologación para vehículos de seguridad...</p> <p><b>1.6</b> Seguridad y verificación por una ERS de acuerdo a los requisitos de homologación para vehículos de seguridad...</p> <p><b>1.7</b> Seguridad y verificación por una ERS de acuerdo a los requisitos de homologación para vehículos de seguridad...</p> <p><b>1.8</b> Seguridad y verificación por una ERS de acuerdo a los requisitos de homologación para vehículos de seguridad...</p> <p><b>1.9</b> Seguridad y verificación por una ERS de acuerdo a los requisitos de homologación para vehículos de seguridad...</p> <p><b>1.10</b> Seguridad y verificación por una ERS de acuerdo a los requisitos de homologación para vehículos de seguridad...</p>	<p><b>1.1.1</b> The safety committee shall be fully accessible to the driver and the passengers.</p> <p><b>1.1.2</b> The safety committee shall be fully accessible to the driver and the passengers.</p> <p><b>1.2</b> The safety committee shall be fully accessible to the driver and the passengers.</p> <p><b>1.3</b> The safety committee shall be fully accessible to the driver and the passengers.</p> <p><b>1.4</b> The safety committee shall be fully accessible to the driver and the passengers.</p> <p><b>1.5</b> The safety committee shall be fully accessible to the driver and the passengers.</p> <p><b>1.6</b> The safety committee shall be fully accessible to the driver and the passengers.</p> <p><b>1.7</b> The safety committee shall be fully accessible to the driver and the passengers.</p> <p><b>1.8</b> The safety committee shall be fully accessible to the driver and the passengers.</p> <p><b>1.9</b> The safety committee shall be fully accessible to the driver and the passengers.</p> <p><b>1.10</b> The safety committee shall be fully accessible to the driver and the passengers.</p>
<p><b>2.1</b> Definición</p> <p><b>2.2</b> Estructura de seguridad</p> <p><b>2.3</b> Área de seguridad</p> <p><b>2.4</b> Área principal de seguridad</p> <p><b>2.5</b> Área lateral de seguridad</p> <p><b>2.6</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>2.7</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>2.8</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>2.9</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>2.10</b> Área de seguridad lateral</p>	<p><b>2.1</b> Definition</p> <p><b>2.2</b> Safety structure</p> <p><b>2.3</b> Safety area</p> <p><b>2.4</b> Main safety area</p> <p><b>2.5</b> Lateral safety area</p> <p><b>2.6</b> Lateral safety area</p> <p><b>2.7</b> Lateral safety area</p> <p><b>2.8</b> Lateral safety area</p> <p><b>2.9</b> Lateral safety area</p> <p><b>2.10</b> Lateral safety area</p>
<p><b>3.1</b> Definición</p> <p><b>3.2</b> Estructura de seguridad</p> <p><b>3.3</b> Área de seguridad</p> <p><b>3.4</b> Área principal de seguridad</p> <p><b>3.5</b> Área lateral de seguridad</p> <p><b>3.6</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>3.7</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>3.8</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>3.9</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>3.10</b> Área de seguridad lateral</p>	<p><b>3.1</b> Definition</p> <p><b>3.2</b> Safety structure</p> <p><b>3.3</b> Safety area</p> <p><b>3.4</b> Main safety area</p> <p><b>3.5</b> Lateral safety area</p> <p><b>3.6</b> Lateral safety area</p> <p><b>3.7</b> Lateral safety area</p> <p><b>3.8</b> Lateral safety area</p> <p><b>3.9</b> Lateral safety area</p> <p><b>3.10</b> Lateral safety area</p>

Anexo 1 (aproximado) - Anexo 1 (aprox. 202)	
<p><b>4.1</b> Definición</p> <p><b>4.2</b> Estructura de seguridad</p> <p><b>4.3</b> Área de seguridad</p> <p><b>4.4</b> Área principal de seguridad</p> <p><b>4.5</b> Área lateral de seguridad</p> <p><b>4.6</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>4.7</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>4.8</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>4.9</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>4.10</b> Área de seguridad lateral</p>	<p><b>4.1</b> Definition</p> <p><b>4.2</b> Safety structure</p> <p><b>4.3</b> Safety area</p> <p><b>4.4</b> Main safety area</p> <p><b>4.5</b> Lateral safety area</p> <p><b>4.6</b> Lateral safety area</p> <p><b>4.7</b> Lateral safety area</p> <p><b>4.8</b> Lateral safety area</p> <p><b>4.9</b> Lateral safety area</p> <p><b>4.10</b> Lateral safety area</p>
<p><b>5.1</b> Definición</p> <p><b>5.2</b> Estructura de seguridad</p> <p><b>5.3</b> Área de seguridad</p> <p><b>5.4</b> Área principal de seguridad</p> <p><b>5.5</b> Área lateral de seguridad</p> <p><b>5.6</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>5.7</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>5.8</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>5.9</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>5.10</b> Área de seguridad lateral</p>	<p><b>5.1</b> Definition</p> <p><b>5.2</b> Safety structure</p> <p><b>5.3</b> Safety area</p> <p><b>5.4</b> Main safety area</p> <p><b>5.5</b> Lateral safety area</p> <p><b>5.6</b> Lateral safety area</p> <p><b>5.7</b> Lateral safety area</p> <p><b>5.8</b> Lateral safety area</p> <p><b>5.9</b> Lateral safety area</p> <p><b>5.10</b> Lateral safety area</p>
<p><b>6.1</b> Definición</p> <p><b>6.2</b> Estructura de seguridad</p> <p><b>6.3</b> Área de seguridad</p> <p><b>6.4</b> Área principal de seguridad</p> <p><b>6.5</b> Área lateral de seguridad</p> <p><b>6.6</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>6.7</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>6.8</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>6.9</b> Área de seguridad lateral</p> <p><b>6.10</b> Área de seguridad lateral</p>	<p><b>6.1</b> Definition</p> <p><b>6.2</b> Safety structure</p> <p><b>6.3</b> Safety area</p> <p><b>6.4</b> Main safety area</p> <p><b>6.5</b> Lateral safety area</p> <p><b>6.6</b> Lateral safety area</p> <p><b>6.7</b> Lateral safety area</p> <p><b>6.8</b> Lateral safety area</p> <p><b>6.9</b> Lateral safety area</p> <p><b>6.10</b> Lateral safety area</p>



**201.1.7** Permisos de altura de techos / Roof height permissions  
 En caso regular, de la estructura de cualquier tipo, excepto en los Algeps 201.12, 201.13 y 201.14, los techos pueden seguir la inclinación del terreno.  
 Para complementos sin refuerzo, en el caso del Algeps 201.12 solamente puede usarse un solo refuerzo para su montaje, solo uno por Algeps, excepto en el caso del Algeps 201.12, donde se permite un máximo de tres (3) refuerzos de la misma dirección de la estructura de la zona de aplicación para la zona de 10' (3 metros) por la inclinación en los Algeps 201.13 y 201.14.



**201.1.8** Permisos de inclinación de techos / Roof slope permissions  
 Criterio único: inclinación a 45° sobre la horizontal o la derivación "W" en cualquier dirección (ver Algeps 201.12).  
 Solo refuerzo pasivo por gravedad y estabilidad de que sea suficiente en una línea única por el ángulo de la construcción prevista (20').  
 No refuerzo superior hasta estar a una distancia de 200mm de la parte superior o inferior (dependiendo) y el refuerzo longitudinal (dependiendo) por Algeps 201.12 (para el montaje).  
 Los techos de altura de hasta 4 metros de altura del eje de apoyo de la zona de aplicación de la zona de aplicación.



**201.1.9** Permisos de inclinación de techos / Roof slope permissions  
 • Inclinación longitudinal de una pendiente.  
 • Inclinación del techo perpendicularmente según Algeps 201.12.  
 • Inclinación de la parte superior de Algeps 201.12.  
 • Los techos de la parte superior de la zona de aplicación de Algeps 201.12, deben estar reforzados por un sistema de 2 ganchos empalmados con un espaciamiento de 200mm.  
 • Los techos de la parte superior de la zona de aplicación de Algeps 201.12, deben estar reforzados por un sistema de 2 ganchos empalmados con un espaciamiento de 200mm.  
 • Los techos de la parte superior de la zona de aplicación de Algeps 201.12, deben estar reforzados por un sistema de 2 ganchos empalmados con un espaciamiento de 200mm.

en el caso de estar, siempre que cumpla con los Dimensiones del Algeps 201.2.11.  
**202.1** Techo y refuerzo especiales / Special members and reinforcement  
 Excepto otros refuerzos permitidos en el artículo 201.6.1.1.1, los techos y refuerzos especiales en los Algeps 201.12 y 201.13 y 201.14 y 201.15, no requieren permisos especiales de altura.  
 Todos los techos y refuerzos especiales requerirán permisos de altura por separado y serán evaluados caso a caso.  
 They may be either permitted or restricted by means of dimensional permits.  
 All members and reinforcements required above may be used separately or combined with one another.

**202.1.1** Permisos de altura de techos / Roof height permissions  
 El Algeps 202.1.1 puede ser reemplazado por el Algeps 201.21, en el caso de que se incline un refuerzo en el Algeps 201.21, en el caso de que se incline un refuerzo en el Algeps 201.21, en el caso de que se incline un refuerzo en el Algeps 201.21.

**202.1.2** Permisos de inclinación de techos / Roof slope permissions  
 El refuerzo pasivo por gravedad y estabilidad de que sea suficiente en una línea única por el ángulo de la construcción prevista (20').  
 El refuerzo pasivo por gravedad y estabilidad de que sea suficiente en una línea única por el ángulo de la construcción prevista (20').

**202.1.3** Permisos de inclinación de techos / Roof slope permissions  
 La inclinación del Algeps 201.21 puede ser reemplazada por el Algeps 201.21, en el caso de que se incline un refuerzo en el Algeps 201.21, en el caso de que se incline un refuerzo en el Algeps 201.21, en el caso de que se incline un refuerzo en el Algeps 201.21.

**202.1.4** Permisos de inclinación de techos / Roof slope permissions  
 Los techos de altura de hasta 4 metros de altura del eje de apoyo de la zona de aplicación de la zona de aplicación.  
 Los techos de altura de hasta 4 metros de altura del eje de apoyo de la zona de aplicación de la zona de aplicación.

**202.1.5** Permisos de inclinación de techos / Roof slope permissions  
 Los techos de altura de hasta 4 metros de altura del eje de apoyo de la zona de aplicación de la zona de aplicación.  
 Los techos de altura de hasta 4 metros de altura del eje de apoyo de la zona de aplicación de la zona de aplicación.



**203.1** Permisos de altura de techos / Roof height permissions  
 En caso regular, de la estructura de cualquier tipo, excepto en los Algeps 203.12, 203.13 y 203.14, los techos pueden seguir la inclinación del terreno.  
 Para complementos sin refuerzo, en el caso del Algeps 203.12 solamente puede usarse un solo refuerzo para su montaje, solo uno por Algeps, excepto en el caso del Algeps 203.12, donde se permite un máximo de tres (3) refuerzos de la misma dirección de la estructura de la zona de aplicación para la zona de 10' (3 metros) por la inclinación en los Algeps 203.13 y 203.14.



**203.1.1** Permisos de inclinación de techos / Roof slope permissions  
 Criterio único: inclinación a 45° sobre la horizontal o la derivación "W" en cualquier dirección (ver Algeps 203.12).  
 Solo refuerzo pasivo por gravedad y estabilidad de que sea suficiente en una línea única por el ángulo de la construcción prevista (20').  
 No refuerzo superior hasta estar a una distancia de 200mm de la parte superior o inferior (dependiendo) y el refuerzo longitudinal (dependiendo) por Algeps 203.12 (para el montaje).  
 Los techos de altura de hasta 4 metros de altura del eje de apoyo de la zona de aplicación de la zona de aplicación.



**203.1.2** Permisos de inclinación de techos / Roof slope permissions  
 • Inclinación longitudinal de una pendiente.  
 • Inclinación del techo perpendicularmente según Algeps 203.12.  
 • Inclinación de la parte superior de Algeps 203.12.  
 • Los techos de la parte superior de la zona de aplicación de Algeps 203.12, deben estar reforzados por un sistema de 2 ganchos empalmados con un espaciamiento de 200mm.  
 • Los techos de la parte superior de la zona de aplicación de Algeps 203.12, deben estar reforzados por un sistema de 2 ganchos empalmados con un espaciamiento de 200mm.  
 • Los techos de la parte superior de la zona de aplicación de Algeps 203.12, deben estar reforzados por un sistema de 2 ganchos empalmados con un espaciamiento de 200mm.

**204.1** Configuración mínima de la estructura de seguridad / Minimum configuration of the safety cage  
 La configuración mínima de la estructura de seguridad se define en el artículo 204.1.1.1.1.  
 La configuración mínima de la estructura de seguridad se define en el artículo 204.1.1.1.1.

Dimensiones (mm)	Con refuerzo	Sin refuerzo	Con refuerzo	Sin refuerzo	Con refuerzo	Sin refuerzo
altura	204.1.1.1.1	204.1.1.1.1	204.1.1.1.1	204.1.1.1.1	204.1.1.1.1	204.1.1.1.1
anchura	204.1.1.1.1	204.1.1.1.1	204.1.1.1.1	204.1.1.1.1	204.1.1.1.1	204.1.1.1.1
profundidad	204.1.1.1.1	204.1.1.1.1	204.1.1.1.1	204.1.1.1.1	204.1.1.1.1	204.1.1.1.1



**204.1.1** Techo y refuerzo especiales / Special members and reinforcement  
 Excepto otros refuerzos permitidos en el artículo 201.6.1.1.1, los techos y refuerzos especiales en los Algeps 201.12 y 201.13 y 201.14 y 201.15, no requieren permisos especiales de altura.  
 Todos los techos y refuerzos especiales requerirán permisos de altura por separado y serán evaluados caso a caso.  
 They may be either permitted or restricted by means of dimensional permits.  
 All members and reinforcements required above may be used separately or combined with one another.

**204.1.2** Permisos de altura de techos / Roof height permissions  
 El Algeps 204.1.2 puede ser reemplazado por el Algeps 201.21, en el caso de que se incline un refuerzo en el Algeps 201.21, en el caso de que se incline un refuerzo en el Algeps 201.21, en el caso de que se incline un refuerzo en el Algeps 201.21.

**204.1.3** Permisos de inclinación de techos / Roof slope permissions  
 El refuerzo pasivo por gravedad y estabilidad de que sea suficiente en una línea única por el ángulo de la construcción prevista (20').  
 El refuerzo pasivo por gravedad y estabilidad de que sea suficiente en una línea única por el ángulo de la construcción prevista (20').





## ANEXO 2: Normas FMVSS

### CAPÍTULO 2. DEFINICIÓN DE LA LEY FMVSS 208

Ley FMVSS 208. Las siglas provienen del nombre en inglés: “Federal Motor Vehicle Safety Standards”. Estas normas son emitidas especialmente para mercado americano, y hoy rigen muchas operaciones en el diseño, montaje, pruebas, etc., de la producción de autos. A continuación se nombran en forma general algunas de ellas:

FMVSS 102. Secuencia de la palanca de cambios de transmisión, bloqueo de arranque y efecto de frenado de la transmisión

FMVSS 103. Sistemas de desempañado y deshelado de parabrisas

FMVSS 104. Sistemas de lavado y secado de parabrisas

FMVSS 105. Sistemas de frenado hidráulicos y eléctricos

FMVSS 108. Lámparas, dispositivos reflectores y equipo asociado

FMVSS 109. Llantas nuevas

FMVSS 201. Protección del ocupante en impacto interior

FMVSS 202. Cabeceras

FMVSS 203. Protección contra impacto del conductor del sistema de la columna de dirección

FMVSS 205. Cristales

FMVSS 206. Componentes de retención de puertas y cerrojos

FMVSS 207. Asientos

FMVSS 214. Protección de impacto lateral

FMVSS 216. Resistencia a penetración del techo

FMVSS118. Sistema de apertura de ventanillas, divisiones y sistemas quemacoco

FMVSS 121. Sistemas de frenado de aire

FMVSS124. Sistemas de control de aceleración

FMVSS125. Dispositivos de advertencia

Entre otras.

Y para el caso de interés, FVMSS 208. “Occupant Crash Protection”, propuesta por empresa armadora americana<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> D. Chrysler

## ANEXO 3: Camionetas Mineras Perú

### Camionetas más usadas en la minería peruana el 2019 que usaron "trabatuercas"

13/01/2020(<https://trabatuercas.com/2020/01/13/>)

Seguridad (<https://trabatuercas.com/seguridad/>), Trabatuercas (<https://trabatuercas.com/trabatuercas/>)

Debido a que las unidades mineras se ubican en zonas de difícil acceso se requiere de un transporte seguro y adecuado para trasladar no solo a las personas que trabajan en el lugar y necesitan movilizarse de un punto a otro, sino también para llevar materiales e insumos que necesitan la mina. Nuestros "trabatuercas" son el mejor aliado para la seguridad de las tuercas en camionetas de faena minera.

De ahí, que las camionetas pick ups se han convertido en el socio ideal de esta industria por sus múltiples ventajas que exponemos en el siguiente artículo:



Usualmente los carros de faena minera son 4x4 robustos y dureros. Estos vehículos cuentan con una serie de elementos de seguridad como frenos ABS, barra anti-incautación externa e interna, control de tracciones, etc. Las ventas de este tipo de carros Pick Up han aumentado en el último año un 13.31%.

#### CAMIONETA FORD RANGER:

Recientemente la marca New Ford Ranger presentó un vehículo que promete revolucionar el segmento de las pick-ups al ofrecer 13 sistemas de seguridad semiautónomos y contar con tecnología avanzada. Esta camioneta viene con dos motorizaciones preparadas para las altas exigencias del rubro como: el Nuevo Motor Ford Puma 2.2L de 160 CV de potencia y 385 Nm de torque. Además New Ford Ranger incorpora tecnologías como: el Asistente de Pre-Collision con detección de peatones y vehículos que aplica los frenos de manera autónoma.



#### CAMIONETA TOYOTA HILUX:

Las camionetas Hilux de Toyota se han convertido en una importante herramienta en el desarrollo de la actividad minera y con los años ha registrado importantes mejoras que le permiten superar los desafíos que propone la geografía peruana.

Una de las camionetas líder en este mercado es el modelo Hilux de Toyota por su fuerte presencia en la actividad productiva del país y, entre ellas, la minera. Se estima que al menos el 50% de las ventas de este modelo se destina al sector minero.

Hilux 2020 viene con motor de 2GD de 2.4L con 147 caballos de fuerza (HP) de potencia y 40.7 kilogramos por metro de torque, con caja manual de 6 velocidades, con motor 1GD de 2.8L, con 174 HP y 42.6 Kgm.

Puedes encontrar "trabatuercas" para Toyota Hilux en: <https://www.trabatuercas.com> (<https://www.trabatuercas.com/v/>)



#### CAMIONETA NISSAN FRONTIER:

Las camionetas son una de las principales herramientas que se utilizan en el sector minero para el transporte de personal, vistas a campamentos, carga, entre otras actividades, por lo que es necesario que éstas cuenten con una serie de características particulares para responder a las exigencias, como la fuerza y robustez.

La nueva Nissan Frontier cuenta con un chasis doble C, que lo hace más versátil y resistente como vehículo de trabajo. Además, tiene un motor de 2.5L que le da una potencia insuperable, y cuenta con la capacidad de carga de 1 tonelada y 3.5 toneladas de arrastre. Además esta unidad posee doble tracción (4x4), con una potencia superior a los 180 HP neumáticos todo terreno, y netómeros, para garantizar un adecuado rendimiento en situaciones extremas.

Cuenta también con tecnologías Control de Descenso en Pendientes (DTC), cuya función es mantener el vehículo a velocidad constante en caminos empinados; y el Asistente de Ascenso en Pendientes (HSA), que detecta el ángulo de inclinación de la carrocería, y asigna la presión necesaria en los frenos para hacer



#### CAMIONETA MITSUBISHI L200:

Más fuerte y robusto. Los faros delanteros están ubicados a mayor altura y en los extremos del frontal, lo que facilita la iluminación de una zona más amplia, incrementando la seguridad.

Un motor más potente y fuerte: El nuevo Motor 4N15 de 2.4L con bloque de aluminio Turbo Diesel de geometría variable con sistema de inyección Common Rail brinda mayor potencia, fuerza y menos niveles de CO.

Transmisión 6 velocidades: Disfruta de la conducción sin perder capacidad de respuesta con la transmisión automática y manual, ambas de 6 velocidades de suave accionamiento.

Seguridad sólida para recorrer el Perú

La carrocería RISE (Evolución Reforzada de Seguridad de Impacto) aumenta de manera notable la seguridad al absorber eficazmente la energía y mantener la integridad de la cabina en caso de colisión.

Puedes encontrar "trabatuercas" para Mitsubishi L200 en: <https://www.trabatuercas.com> (<https://www.trabatuercas.com/v>)



Los seguros "trabatuercas" son fabricados con poliuretano de primera generación. No se degrada con el sol, nuestros seguros "trabatuercas" no se quiebran ni se demiten.

El sistema de seguridad de "trabatuercas" está pensado para prevenir que las tuercas pierdan el apriete. Los "trabatuercas" impiden que la vibración actúe sobre las tuercas de las ruedas.

Los accesorios "trabatuercas" son recomendados para:

- Camionetas pick up 4x4 y camiones de faena minera.
- Vehículos de tránsito en caminos agrestes.
- Vehículos para transporte de personas.



## ANEXO 4: Pick-up más vendida Perú

2/11/2020

Toyota del Perú ha vendido más de 3,000 camionetas a mineras este año – Energininas  
<https://docs.google.com/forms/d/1t4L7qWzGSRW11AKYVJc-4E-T0WQz2T7HsgjRv05u/cell>



Foto: https://energininas.com/toyota/

### Toyota del Perú ha vendido más de 3,000 camionetas a mineras este año

2/11/2020

Toyota del Perú ha vendido más de 3,000 camionetas a mineras este año – Energininas

Toyota indicó que en lo que va del año ha vendido más de 6,700 unidades pick ups en el Perú y estima que más del 50% de esas ventas ha sido destinado a la actividad minera. Una vez más la Hilux se consolida como la camioneta con mayor participación del mercado en el sector minero.

Durante la presentación de la Hilux en el stand Perumín, la compañía automotriz también brindó datos importantes sobre la relevancia de la región Arequipa para la marca y sus expectativas para los siguientes años. Arequipa es una plaza estratégica para la marca Toyota. Si bien la Hilux nos posiciona en la región como líderes en el segmento pick ups con una participación de mercado de 68% y con resultados de venta en la región durante los primeros siete meses de 959 unidades, existen otras categorías de Toyota que también han tenido muy buena acogida por parte del público aceptor, como el SUV.

Refiere que existe un alto interés por los nuevos modelos que han lanzado en los últimos dos años como son las SUV Ruzh, Suv4 con su nueva versión híbrida, el city car modelo Agga con excelentes resultados de ventas y la nueva Hilux 2020, recientemente lanzada y con muy buena aceptación en el mercado. Arequipa ocupa el segundo lugar en la compra de vehículos nuevos, según el último reporte emitido por la Asociación Automotriz del Perú.

Autor: Jean Pierre Fernandez (jfernandez@prensagrupo.com)

[https://energininas.com/toyota-del-peru-ha-vendido-mas-de-3000-camionetas-a-mineras-este-ano/?utm\\_source=rss&utm\\_medium=rss&utm\\_campaign=...](https://energininas.com/toyota-del-peru-ha-vendido-mas-de-3000-camionetas-a-mineras-este-ano/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=...) 3/8

2/11/2020

Toyota del Perú ha vendido más de 3,000 camionetas a mineras este año – Energininas

Toyota del Perú aprovechó el último Perumín 34 para presentar oficialmente el modelo Hilux 2020, la camioneta con mayor participación en actividades relacionadas con la minería en el Perú. Este vehículo fue calificado por el Programa de Evaluación de Vehículos Nuevos para Latinoamérica y el Caribe, Latin NCAP, con 5 estrellas (la calificación más alta) en protección para pasajeros adultos y niños.

"En Toyota estamos enfocados en la mejora continua, sigue implementando nuevas tecnologías como los sistemas de seguridad pasiva y activa que permitan incrementar la seguridad de las personas al interior de un vehículo", afirmó Yehude Simon, gerente de Relaciones Públicas de Toyota del Perú.

Este año, la nueva camioneta Hilux doble cabina viene mejor equipada con 7 airbags repartidos en frontales (piloto y copiloto), rodill (piloto), laterales y cortina (delantero y posterior). Además, hemos mejorado el sistema de frenado y control de estabilidad (VSC) adicionalmente el sistema HAC (asistente de partida en pendiente) y control de bamboleo de remolque (TSC), asercó el ejecutivo de la marca japonesa.

Asimismo, el representante de la empresa japonesa señaló que esta nueva generación cuenta con un control de tracción para cualquier terreno en todas sus versiones como equipamiento de serie, para brindar una excelente aceleración y conducción en caminos irregulares con baja tracción como los terrenos que se enfrenta el sector minero.



La nueva Hilux 2020 cuenta con motores 2.0 de 2.4L, con 147 caballos de fuerza (HP) de potencia y 40.7 kilogramos por metro (kg/m) de torque, con caja manual de 6 velocidades, y el motor 3.0 de 2.8L, con 144 HP y 42.7 kg/m (con caja manual) o 45.7 kg/m (con caja automática). Ambos motores cuentan con un turbo compresor de geometría variable con intercooler, el cual permite una excelente respuesta en todo el rango de conducción. El modelo Hilux estará disponible en todos los concesionarios de Toyota a nivel nacional, desde US\$75,800 hasta US\$44,000, dependiendo de la versión.

Toyota y su relación con la Minería

[https://energininas.com/toyota-del-peru-ha-vendido-mas-de-3000-camionetas-a-mineras-este-ano/?utm\\_source=rss&utm\\_medium=rss&utm\\_campaign=...](https://energininas.com/toyota-del-peru-ha-vendido-mas-de-3000-camionetas-a-mineras-este-ano/?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=...) 2/8

## ANEXO 5: Modelo Ficha Registro de datos

Ficha de registro de datos:




<b>Registro de Datos</b>	<i>Título:</i>	<b>USS</b>
<b>Datos Bibliográficos:</b>	<b>Búsqueda:</b>	
<b>Imágenes:</b>	<b>Contenido:</b>	

**ANEXO 6: Modelo Guía de observación**

<b>Guías de observación de Jaulas Antivuelco</b>		<b>USS</b>
<b>Responsable:</b>		
<b>Lugar:</b>	<b>Fecha:</b>	
	<b>Hora:</b>	
<b>Datos del Vehículo:</b>	<b>Datos de la Jaula:</b>	
<b>Descripción:</b>		
<b>Fotos:</b>		

## ANEXO 7: Recopilación de fichas de registro



Ficha de registro de datos:

<b>Registro de Datos</b>	<b>Título:</b> Perfil tubular comercial en Perú	<b>USS</b>
<b>Datos Bibliográficos:</b>		<b>Búsqueda:</b>
<a href="http://www.perumetalescorporacion.com/tubo_A53.php">http://www.perumetalescorporacion.com/tubo_A53.php</a>		Enlace de referencia, búsqueda de perfiles comerciales en metalmecánicas de Perú para fabricación de jaulas interna antivuelco par camionetas mineras.
<b>Imágenes:</b>		<b>Contenido:</b>
  		El contenido rescatado hace referencia al diámetro y espesor de tubería más comercial empleado en el país, tubería de 1 <sup>1/2</sup> pulgadas con diámetro exterior de 42.2mm y espesor nominal de 3.56mm. Empresa PERUMETALES.

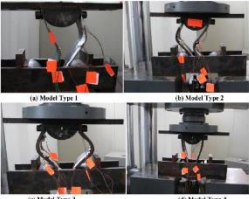
Ficha de registro de datos:

<b>Registro de Datos</b>	<b>Título:</b> Características jaulas Internas Antivuelco Laminares	<b>USS</b>
<b>Datos Bibliográficos:</b>		<b>Búsqueda:</b>
<a href="http://www.americansecurityarmor.com/galeria/jaula-hidden.html">http://www.americansecurityarmor.com/galeria/jaula-hidden.html</a>		Galería de instalación – montaje de jaula invisible antivuelco
<b>Imágenes:</b>		<b>Contenido:</b>
  		El diseño de jaula Laminar se basa en el desmontaje de la tapicería del vehículo a fin de instalar un refuerzo en forma de placas de acero balístico que genere una segunda armadura de protección durante un accidente automovilístico o volcadura. Su ventaja es a nivel estético y ahorro de espacio, su desventaja es su elevado costo en comparación con su versión tubular y su tiempo de instalación que puede llegar a ser de 2 semanas como mínimo.

Ficha de registro de datos:

<b>Registro de Datos</b>	<b>Título:</b> Material de jaulas invisibles (laminar)	<b>USS</b>
<b>Datos Bibliográficos:</b>		<b>Búsqueda:</b>
G.A.P Grupo Arenda Perú <a href="https://issuu.com/sandradelavega/docs/catalogoweb">https://issuu.com/sandradelavega/docs/catalogoweb</a>		La búsqueda pretendió determinar el material utilizado para la fabricación de jaulas laminares antivuelco usados en el sector de protección y blindajes.
<b>Imágenes:</b>		<b>Contenido:</b>
 <p><b>5. JAULA ANTIVUELCO INVISIBLE EN ACERO BALÍSTICO</b></p> 		La búsqueda me dirigió hasta la empresa de protección y seguridad en vehículos que implementa acero balístico en sus jaulas internas laminares (Invisibles), a parte de otras actividades relacionadas.

Ficha de registro de datos:

<b>Registro de Datos</b>	<b>Título:</b> Características mecánicas del acero balístico AR-500	<b>USS</b>																					
<b>Datos Bibliográficos:</b>		<b>Búsqueda:</b>																					
<a href="https://www.researchgate.net/publication/283862392_Numerical_and_experimental_evaluation_of_a_developed_nonlinear_curved_spring_element_under_compression_force">https://www.researchgate.net/publication/283862392_Numerical_and_experimental_evaluation_of_a_developed_nonlinear_curved_spring_element_under_compression_force</a>		Papper de estudio por ensayos experimentales en banco de pruebas de acero balístico AR-500																					
<b>Imágenes:</b>		<b>Contenido:</b>																					
<p>Table 1 Material specifications in finite element simulation.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Material Type</th> <th>ASTM A36</th> <th>AR-500</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Yield strength:</td> <td>2.5 e + 008 N/m<sup>2</sup></td> <td>1.2 e + 008 N/m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Tensile strength:</td> <td>4 e + 008 N/m<sup>2</sup></td> <td>15.5 e + 008 N/m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Elastic modulus:</td> <td>2 e + 011 N/m<sup>2</sup></td> <td>2.05 e + 011 N/m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Poisson's ratio:</td> <td>0.26</td> <td>0.26</td> </tr> <tr> <td>Mass density:</td> <td>7850 kg/m<sup>3</sup></td> <td>7800 kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Shear modulus:</td> <td>7.93 e + 010 N/m<sup>2</sup></td> <td>35.7 e + 010 N/m<sup>2</sup></td> </tr> </tbody> </table> 		Material Type	ASTM A36	AR-500	Yield strength:	2.5 e + 008 N/m <sup>2</sup>	1.2 e + 008 N/m <sup>2</sup>	Tensile strength:	4 e + 008 N/m <sup>2</sup>	15.5 e + 008 N/m <sup>2</sup>	Elastic modulus:	2 e + 011 N/m <sup>2</sup>	2.05 e + 011 N/m <sup>2</sup>	Poisson's ratio:	0.26	0.26	Mass density:	7850 kg/m <sup>3</sup>	7800 kg/m <sup>3</sup>	Shear modulus:	7.93 e + 010 N/m <sup>2</sup>	35.7 e + 010 N/m <sup>2</sup>	Existen gran variedad de aceros considerados balísticos según tratamientos que reciben para incrementar su tenacidad, en este caso de estudio se implementó el acero AR-500 por contar con todos los datos de sus características mecánicas para su apropiada simulación.
Material Type	ASTM A36	AR-500																					
Yield strength:	2.5 e + 008 N/m <sup>2</sup>	1.2 e + 008 N/m <sup>2</sup>																					
Tensile strength:	4 e + 008 N/m <sup>2</sup>	15.5 e + 008 N/m <sup>2</sup>																					
Elastic modulus:	2 e + 011 N/m <sup>2</sup>	2.05 e + 011 N/m <sup>2</sup>																					
Poisson's ratio:	0.26	0.26																					
Mass density:	7850 kg/m <sup>3</sup>	7800 kg/m <sup>3</sup>																					
Shear modulus:	7.93 e + 010 N/m <sup>2</sup>	35.7 e + 010 N/m <sup>2</sup>																					

Ficha de registro de datos:

<b>Registro de Datos</b>	<b>Título:</b> Venta de Jaulas invisibles (Laminares)	<b>USS</b>
<b>Datos Bibliográficos:</b>		<b>Búsqueda:</b>
<a href="https://www.protemax.com.pe/productos/automotriz-productos/jaulas-invisibles-antivuelco/jaulas-invisibles/jaulas-invisibles/">https://www.protemax.com.pe/productos/automotriz-productos/jaulas-invisibles-antivuelco/jaulas-invisibles/jaulas-invisibles/</a> <a href="http://www.optimum.com.pe/seguridad/jaula-antivuelco.html">http://www.optimum.com.pe/seguridad/jaula-antivuelco.html</a>		Empresas encargadas de comercializar este tipo de productos como opción a las jaulas internas antivuelco convencionales.
<b>Imágenes:</b>		<b>Contenido:</b>
 		Dentro del sector encontramos algunas empresas direccionadas principalmente a la seguridad automovilística del tipo blindajes, venta e instalación de láminas para cristales y para brizas, y adicionalmente instalación de sistemas ROPS y FOPS, en particular el modelo Hidden que corresponde a la jaula interna laminar con un espesor estándar de 6mm.

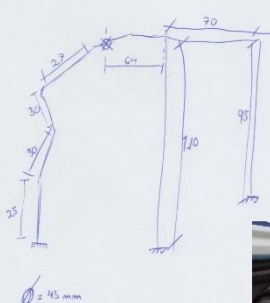


### ANEXO 8: Recopilación de guías de observación

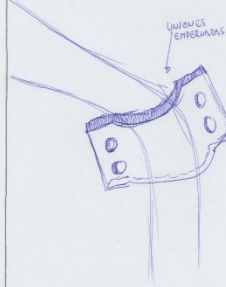

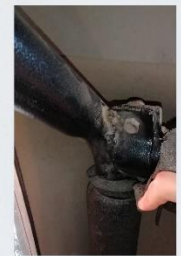
Guías de observación de Jaulas Antivuelco		USS
Responsable: <u>VICTOR ANGELES ROCCA</u>		
Lugar: <u>CHILAYO</u>	Fecha: <u>10/10/2020</u>	
	Hora: <u>15:00</u>	
Datos del Vehículo:	Datos de la Jaula:	
<u>HIUX 2015</u>	<u>TUBERÍA 5111 530 1 1/4" SCH-40</u> <u>CORANTURA: 126 mm Ø</u>	
Descripción:		
<u>CATEGORÍA: PICK-UP</u> <u>PESO: 2705</u> <u>PUNTO: 1767</u> <u>CORSA UTIL: 998</u>	<u>LARGO: 526cm</u> <u>ALTO: 1.66m</u> <u>ANCHO: 1.855m</u>	
Fotos:		

Guías de observación de Jaulas Antivuelco		USS
Responsable: <u>VICTOR ANGELES ROCCA</u>		
Lugar: <u>LAMBAYEQUE</u>	Fecha: <u>10/10/2020</u>	
	Hora: <u>14:13</u>	
Datos del Vehículo:	Datos de la Jaula:	
<u>TOYOTA 4x4</u>	<u>- 1 ARCO CANTAL</u> <u>- 1 ARCO POSTERIOR</u> <u>- 2 ARCOS TRANSVERSALES</u>	
Descripción:		
<u>CATEGORÍA: PICK-UP</u> <u>PESO: 2700</u> <u>PUNTO: 1760</u> <u>CORSA UTIL: 990</u>	<u>LARGO: 526</u> <u>ALTO: 1.66</u> <u>ANCHO: 1.85</u>	
Fotos:		

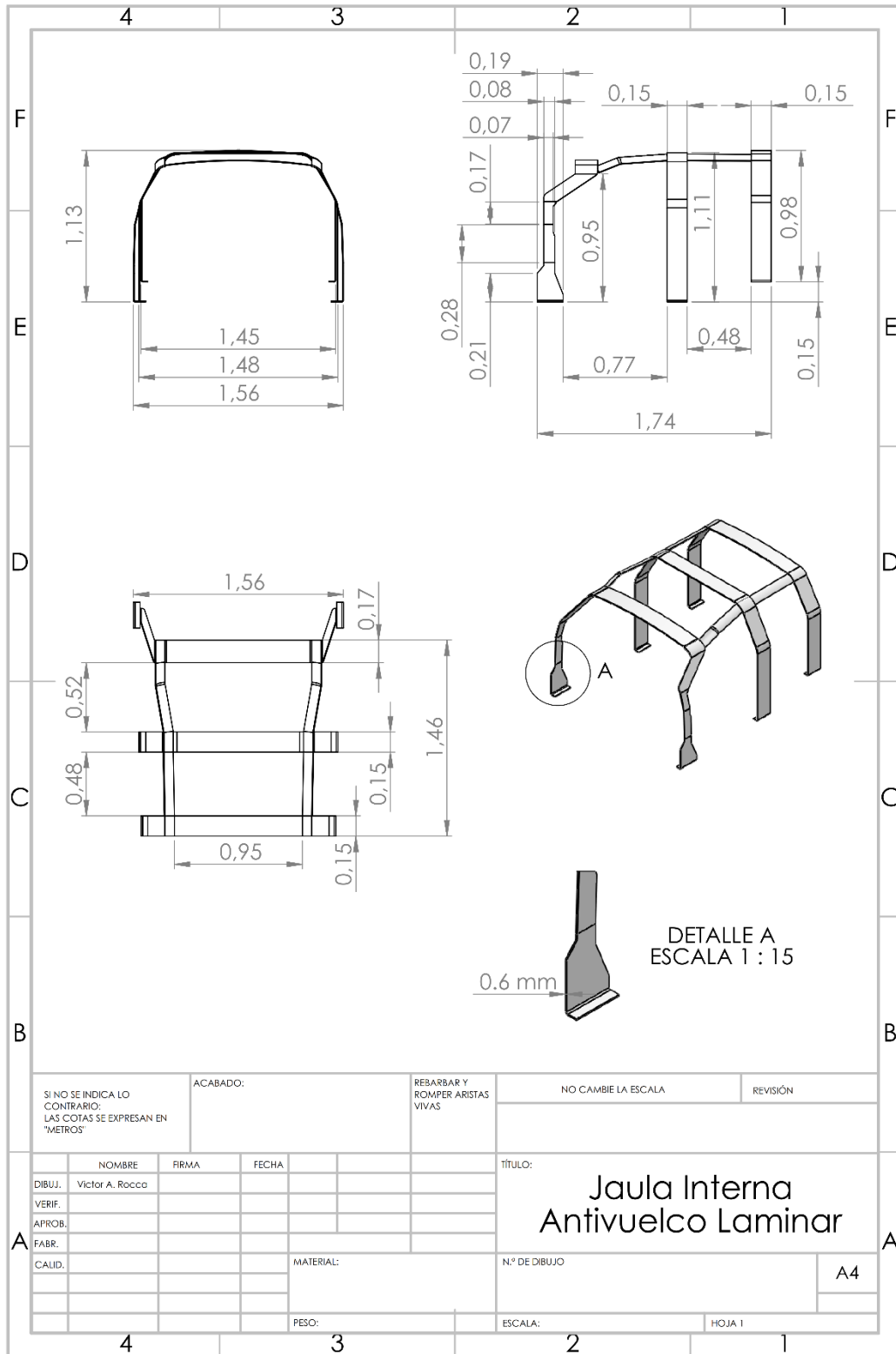
Guías de observación de Jaulas Antivuelco		USS
Responsable: <u>VICTOR ANGELES ROCCA</u>		
Lugar: <u>CHILAYO - LAMBAYEQUE</u>	Fecha: <u>09/10/2020</u>	
	Hora: <u>12:20</u>	
Datos del Vehículo:	Datos de la Jaula:	
<u>TOYOTA</u> <u>HIUX 2015</u>	<u>ARCO CANTAL: 42.6mm</u> <u>ESTRUCO: 5.5mm</u> <u>EMBUENADA</u>	
Descripción:		
<u>CATEGORÍA: PICK-UP</u> <u>PESO: 2698</u> <u>PUNTO: 1760</u> <u>CORSA UTIL: 998</u>	<u>LARGO: 526cm</u> <u>ALTO: 1.66m</u> <u>ANCHO: 1.8m</u>	
Fotos:		



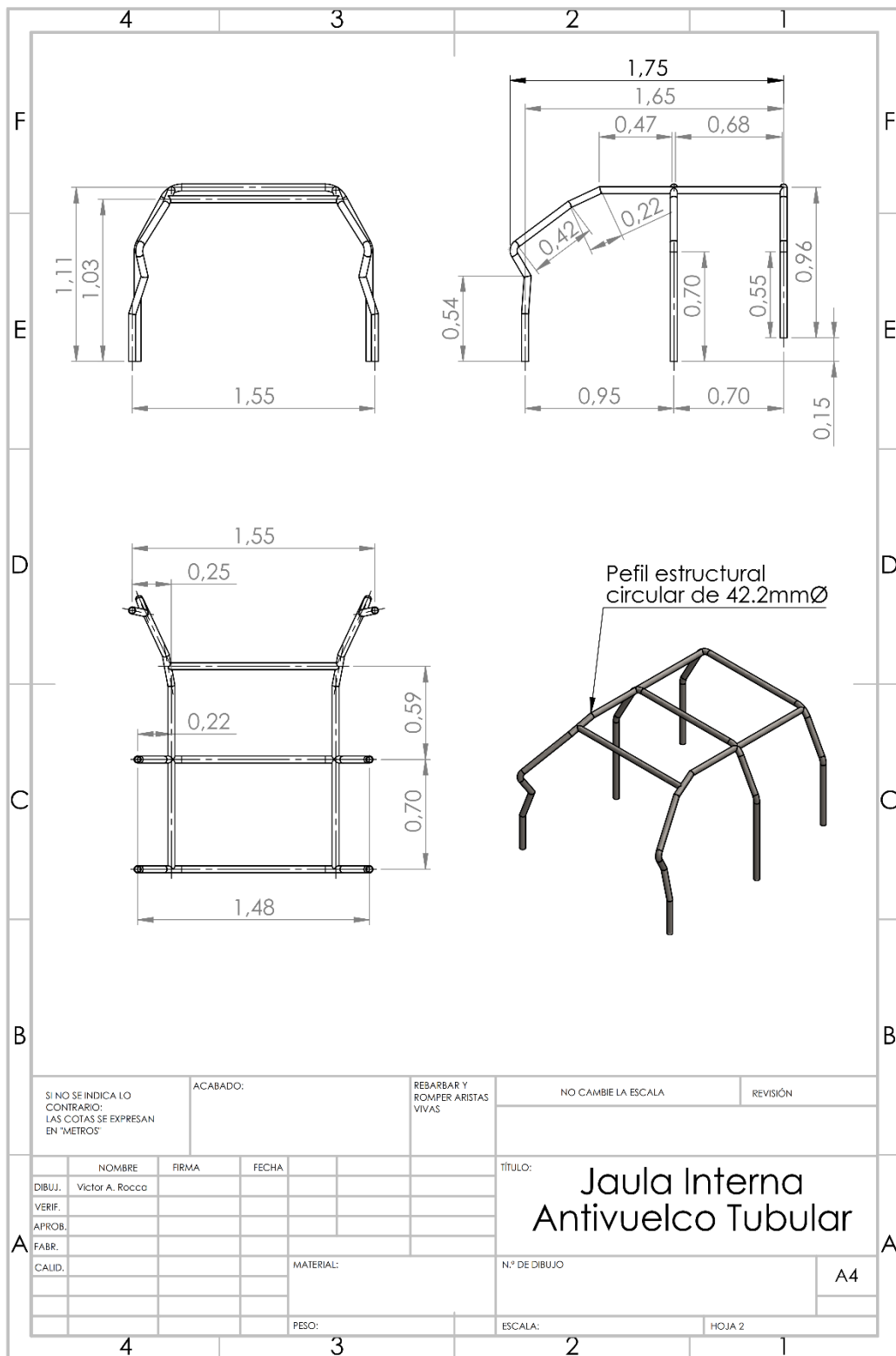
Guías de observación de Jaulas Antivuelco		USS
Responsable:	VICTOR ANGELES ROCCA	
Lugar:	CHILAYO - LAMBAYEQUE	Fecha: 09/10/2020
Datos del Vehículo:	# TOYOTA # HILUX 2.015	Hora: 10:52
Descripción:	<b>Datos de la Jaula:</b> ACERO ASTM A36 DIAMETRO 43 mm APROX REFORZADO DE ESPUMA DE IMPACTO UNION EMPERLUNAS.	
	CARROCERIA: PICK-UP P. BRUTO: 2705 Kg P. NETO: 1767 Kg CARGA UTIL: 938 Kg	LONGITUD: 5.26 m ALTURA: 1.86 m ANCHO: 1.835 m
Fotos:	  	

Guías de observación de Jaulas Antivuelco		USS
Responsable:	VICTOR ANGELES ROCCA	
Lugar:	PIENTEL - LAMBAYEQUE	Fecha: 10/10/2020
Datos del Vehículo:	# TOYOTA → PICK-UP	Hora: 17:35
Descripción:	<b>Datos de la Jaula:</b> ACERO ESTRUCTURAL 43 mm DE DIAMETRO SCH 40 es 3.56 mm DE ESPESOR	
	CARROCERIA: PICK-UP PESOS: BRUTO: 2700 NETO: 1765	LARGO: 5.25 ALTO: 1.83 ANCHO: 1.835
Fotos:	  	

**ANEXO 9: Planos de Jaulas antivuelco.**







## ANEXO 10: Requerimientos de Mina



### REQUISITOS PARA LA HOMOLOGACIÓN DE VEHÍCULOS MMG LAS BAMBAS

#### **VEHICULO LIVIANO (CAMIONETA)**

##### **DOCUMENTOS A PRESENTAR**

1	PARTIDA DE INSCRIPCIÓN VEHICULAR (SUNARP)
2	TARJETA DE PROPIEDAD.
3	SOAT VIGENTE.
4	REVISIÓN TÉCNICA VEHICULAR ( <b>no aplica en vehículo nuevo y varía según la categoría</b> )
5	POLIZA DE SEGURO VEHICULAR, RESPONSABILIDAD CIVIL y FACTURA DE LA CANCELACIÓN DE LA POLIZA.
6	CERTIFICADO DE INGRESO EN TALLERES AUTORIZADOS
7	MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN TALLERES AUTORIZADOS
8	CERTIFICADO DE INSTALACIÓN DE GPS (GOLDCAR).
9	LIMITADOR DE VELOCIDAD (CHICHARRA- BUZZER), <b>Limitador de velocidad, elaborado conforme a la RD N° 843-2010- MTC/15</b>
10	CERTIFICADO DE JAULA ANTIVUELCO Y BARRA ANTIVUELCO.

#### **VEHICULO MICRO BUS - BUS (TRANSPORTE DE PERSONAL)**

##### **DOCUMENTOS A PRESENTAR**

1	PARTIDA DE INSCRIPCIÓN DE VEHÍCULO (SUNARP)
2	TARJETA DE PROPIEDAD.
3	SOAT VIGENTE.
4	TARJETA DE CIRCULACIÓN
5	REVISIÓN TÉCNICA VEHICULAR
6	POLIZA DE SEGURO VEHICULAR y FACTURA DE LA CANCELACIÓN DE LA POLIZA.
7	CERTIFICADO DE INGRESO EN TALLERES AUTORIZADOS
8	MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN TALLERES AUTORIZADOS
9	CERTIFICADO DE INSTALACIÓN DE GPS (GOLDCAR)
10	LIMITADOR DE VELOCIDAD (CHICHARRA- BUZZER), <b>Limitador de velocidad, elaborado conforme a la RD N° 843-2010- MTC/15</b>

#### **VEHICULO CAMION, VOLQUETE, GRUA Y OTRO**

##### **DOCUMENTOS A PRESENTAR**

1	PARTIDA DE INSCRIPCIÓN DE VEHÍCULO (SUNARP)
2	TARJETA DE PROPIEDAD.
3	SOAT VIGENTE.
4	TARJETA DE MERCANCIAS
5	REVISIÓN TÉCNICA VEHICULAR
6	POLIZA DE SEGURO VEHICULAR y FACTURA DE LA CANCELACIÓN DE LA POLIZA.
7	CERTIFICADO DE INGRESO EN TALLERES AUTORIZADOS
8	MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN TALLERES AUTORIZADOS
9	CERTIFICADO DE INSTALACIÓN DE GPS (GOLDCAR).
10	LIMITADOR DE VELOCIDAD (CHICHARRA- BUZZER), <b>Limitador de velocidad, elaborado conforme a la RD N° 843-2010- MTC/15</b>




### REQUERIMIENTOS PARA JAULAS INTERNAS DE SEGURIDAD EN VEHICULOS LIVIANOS

La intención del diseño de la jaula interna de seguridad es conservar la integridad física de los ocupantes de los vehículos, en caso de choque o volcadura. Para este fin se deberán ajustar a los siguientes parámetros de diseño y montaje:

La estructura está formada por:

- Un arco tubular central cuyos postes verticales corran según el contorno del pilar central de la cabina y se anclen al piso de la cabina del vehículo.
- Un arco posterior con postes verticales anclados a la estructura del piso de la cabina.
- Dos postes laterales empalmados a las esquinas superiores del arco central y proyectados hacia delante, uno a cada lado de la cabina, siguiendo el contorno del techo y marco del parabrisas del vehículo hasta andarse a la estructura del piso de la cabina por delante de los asientos frontales.
- Un puente transversal delantero que une los postes laterales paralelo y adyacente a la línea superior del marco del parabrisas.
- El material del arco central debe ser tubo de fierro negro estándar de 1 1/2". Las demás partes de la estructura pueden ser de tubo de fierro negro estándar de 1 1/4" para el caso de camionetas. En el caso de vehículos de transporte de pasajeros toda la estructura debe construirse de tubo de fierro negro estándar de 1 1/2".
- El extremo terminal de cada poste deberá tener una placa de refuerzo de acero, de por lo menos 3 mm de espesor la cual se une al piso de la carrocería a través de por lo menos tres pernos de 8mm y grado 8.
- Sólo es aceptable el proceso en frío para doblar los tubos. El radio de los dobleces debe ser no menor de 3 veces el diámetro del tubo.
- Las soldaduras que se requieran se deben realizar por proceso MAG de alta penetración y baja temperatura. Los cordones de soldadura deben cubrir todo el perímetro del tubo.
- Los empalmes entre tubos se deben hacer mediante orejas soldadas, unidas con pernos de 10 mm. y grado 8.
- La estructura tubular debe instalarse de tal manera que no cree obstáculos para el ingreso y salida de personas desde el vehículo.
- Los tubos de la estructura tubular deben estar revestidos de protectores de espuma anti-impacto no inflamable a fin de impedir que se produzcan daños en la cabeza o brazos de los ocupantes del vehículo.

	<b>SISTEMA INTEGRADO BUENAVENTURA</b> <b>VEHICULOS Y EQUIPOS MÓVILES</b> <b>E-COR-SIB-04.01</b>	<b>CORPORATIVO</b>	
		Versión 03	Pág. 1 de 16

### 1.0 OBJETIVO

Establecer los controles operativos para los riesgos relacionados al Medio Ambiente, Seguridad y Salud en el trabajo; asociados a las actividades de conducción de vehículos y operación de equipos móviles.

### 2.0 ALCANCE

Este estándar es aplicable en todas las actividades, procesos e instalaciones administradas por Buenaventura, así como a todos sus Empresas Contratistas y Visitantes.

### 3.0 DEFINICIONES

#### **Carga Sobredimensionada**

✦ Cualquier carga exceda lo establecido en el DS 058-2003 MTC Reglamento Nacional de Vehículos y que requiera de controles adicionales para su transporte.

#### **Conductor/Operador**

✦ Persona autorizada por BVN a conducir/operar un vehículo/equipo móvil.

#### **Convoy**

✦ Conjunto de uno o varios vehículos de transporte de carga o de transporte de pasajeros que circulan en fila por una vía.

#### **Derecho de Paso**

✦ Preferencia de paso de un vehículo o equipo móvil respecto a otro vehículo o equipo móvil de igual prioridad.

#### **Equipo Móvil**

✦ Equipo autopropulsado que no está diseñado para circular en vías nacionales y que es utilizado para actividades mineras y movimiento de tierras (camión minero incluyendo dumper, cargador frontal incluyendo scoop, excavadora, retroexcavadora, tractor, perforadora, rodillo) o servicios auxiliares (empernador, lanzador de concreto, grúa móvil, montacarga).

#### **Escolta**

✦ Vehículo especialmente acondicionado, que acompaña el desplazamiento de un convoy y que se ubica en la parte delantera de dicho convoy.

#### **F.O.P.S / ROPS**

✦ Siglas en inglés de cabina con estructura de protección ante caídas de objetos (Falling Object Protection Structure) y cabina con sistema de protección ante volcaduras del equipo (Roll Over Protection System) respectivamente.

#### **Licencia Interna de Conducción/Operación (LICO)**

✦ Autorización otorgada por BVN para la conducción de vehículos u operación de equipos móviles.

#### **Prioridad Vehicular**

✦ Preferencia de paso de un vehículo o equipo móvil respecto a otro vehículo o equipo móvil de diferente tipo.

#### **Reglamento Interno de Tránsito**

Este documento no se encuentra controlado en formato físico, la persona que requiera consultar este documento debe asegurarse que se encuentre en la última versión, para acceder a la última versión ingresar a [www.buenaventura.com.pe](http://www.buenaventura.com.pe).