



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Ciencias de Energía y Mecánica Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del Título de Ingeniero Automotriz

**Tema: “Diseño y construcción de un chasis tubular para auto
Supercrosscar con motor Suzuki Forza G10 SOHC”**

**Autores: Flores Yáñez, Silvio Ariel
Vizuite Totoy, Andrés Eduardo**

Tutor: Msc. Cevallos Carvajal, Alex Santiago

Latacunga, Agosto 2022



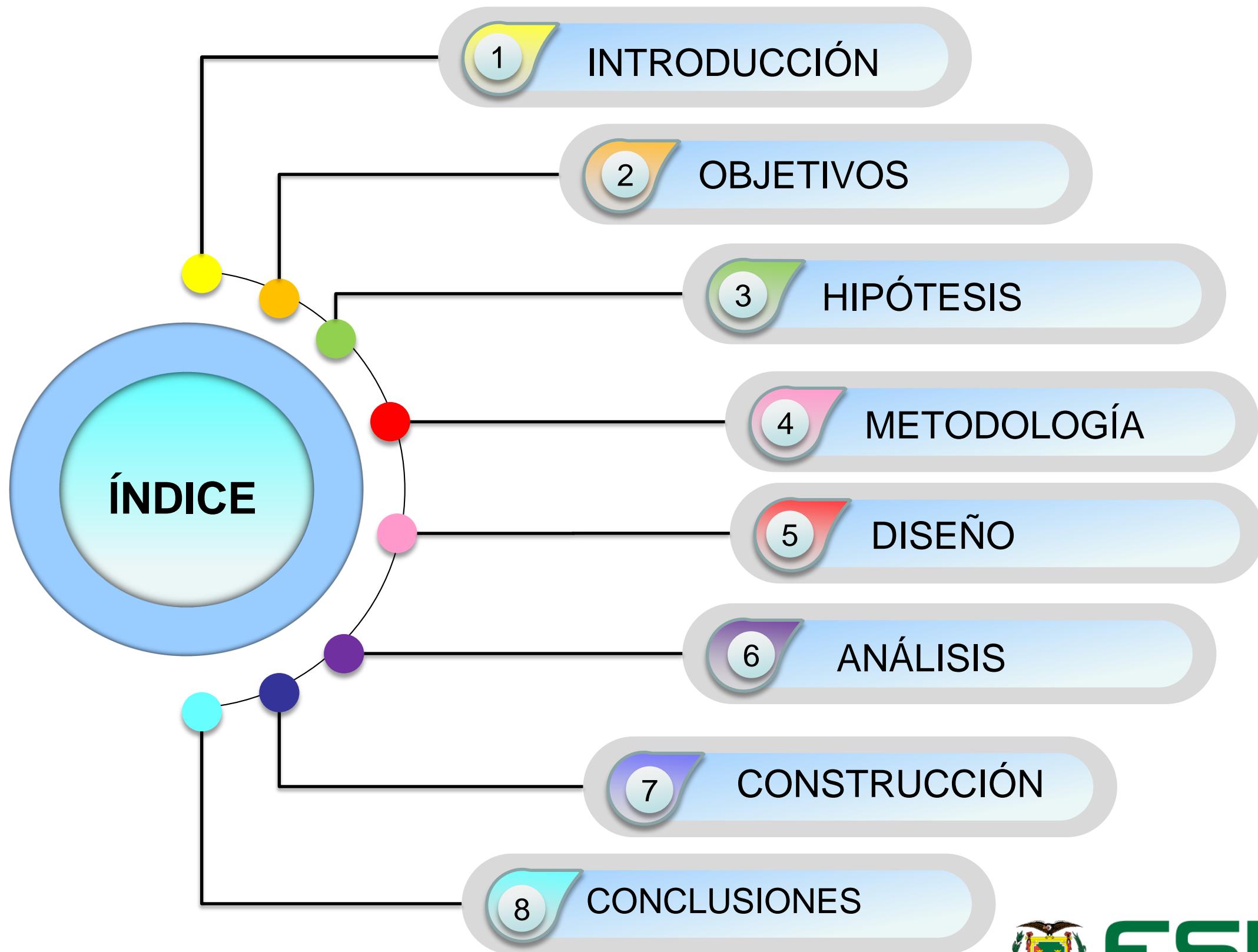


“
Ir juntos es un **comienzo**;
mantenerse juntos es progreso;
trabajar juntos,
es el **éxito.**”

- Henry Ford



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



ANTECEDENTES

- La misión principal de una estructura de seguridad o jaula es proteger al o los ocupantes en caso de un accidente.

- La estructura de seguridad de un vehículo esta regida por la normativa impuesta por la R.F.E.d.A.

- El uso de software CAD ha brindado la oportunidad de generar análisis estructurales facilitando de esta manera análisis necesarios para el generar estructuras seguras.



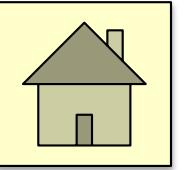
En circuitos automovilísticos existe una gran posibilidad de sufrir accidentes debido a esto la seguridad pasiva es de vital importancia.

A nivel de Nacional la construcción de una estructura de seguridad en base a una reglamentación no existe.

PLANTEAMIENTO
DEL PROBLEMA



JUSTIFICACIÓN



La finalidad es implementar una estructura de seguridad confiable para el piloto y su copiloto.



Dar a conocer el reglamento de seguridad para el diseño de una estructura de seguridad.



Generar un prototipo de una estructura de seguridad que puede llegar a ser utilizada en circuitos.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseño e implementación de un chasis tubular de Supercrosscar para un vehículo Suzuki Forza G10 SOCH



OBJETIVOS



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar la geometría del chasis tubular de una manera aproximada utilizando la ayuda un software CAD.
- Consultar los reglamentos y disposiciones establecidos por la R.F.E.d.a para la condición de diseño.
- Desarrollar un estudio estático para simular el comportamiento de la estructura al someterse a cargas estáticas.
- Construcción del chasis tubular para un vehículo Suzuki Forza G10 SOCH



HIPÓTESIS



¿El diseño podrá cumplir con todos los criterios de aceptación establecidos por Real Federación Española de Automovilismo, a más de contribuir como una posible guía para futuros diseños de una estructura de seguridad con el fin de brindar una mayor confianza al piloto ante un posible accidente?



METODOLOGÍA

REGLAMENTO TECNICO DE LA R.F.E.d.A

- Describe claramente las normativas para el diseño de una estructura de seguridad.
- Basado la reglamentación del artículo 253, anexo J apartado de la R.F.E d. A.



ESTRUCTURA DE SEGURIDAD

Arco principal



Estructura vertical constituida por una sola pieza



Inclinación máxima +/-10°

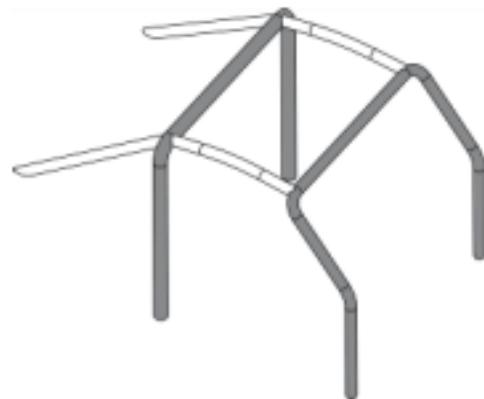


Detrás de los asientos delanteros

Arco delantero



Simular al arco principal



Arco lateral

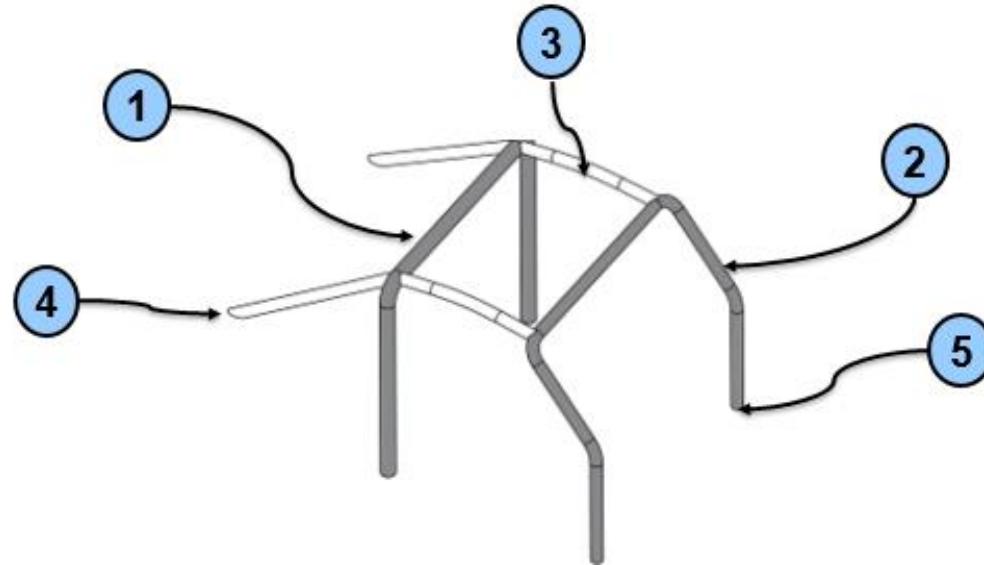
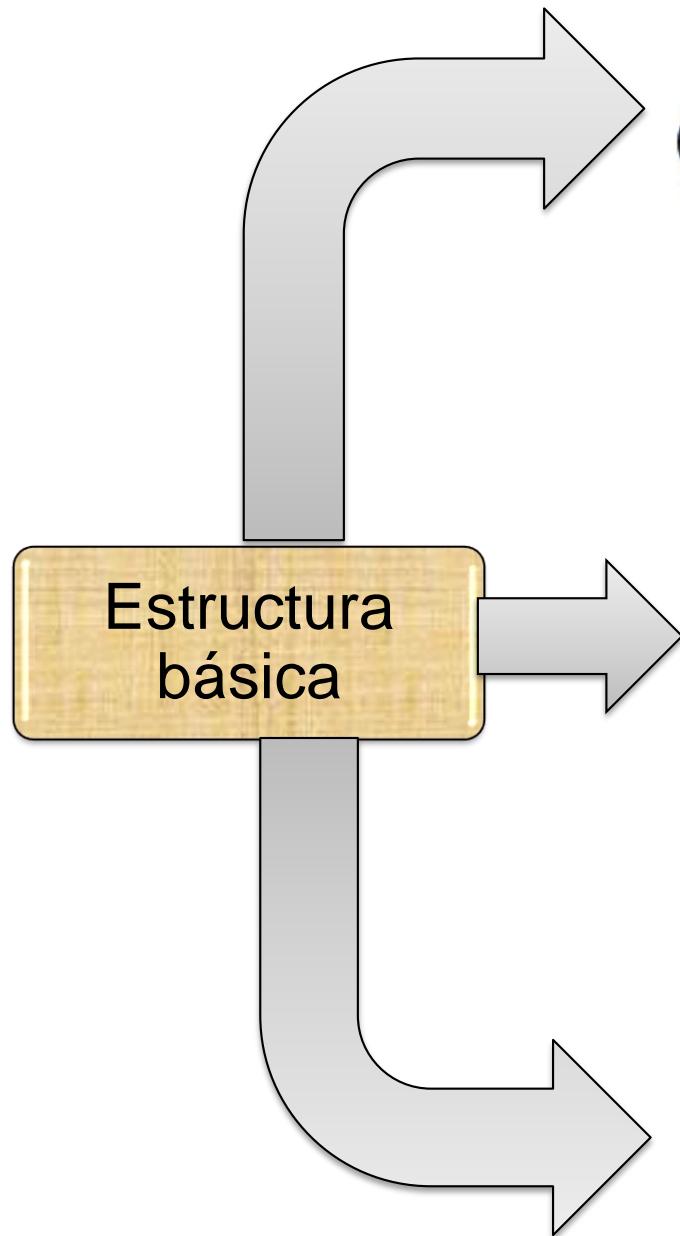


Estructura vertical y constituida por un arco tubular de una sola pieza

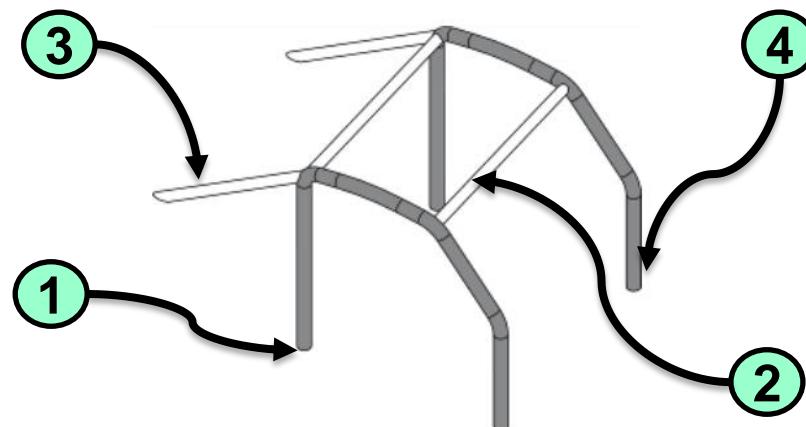


Situado a lo largo de la parte lateral.

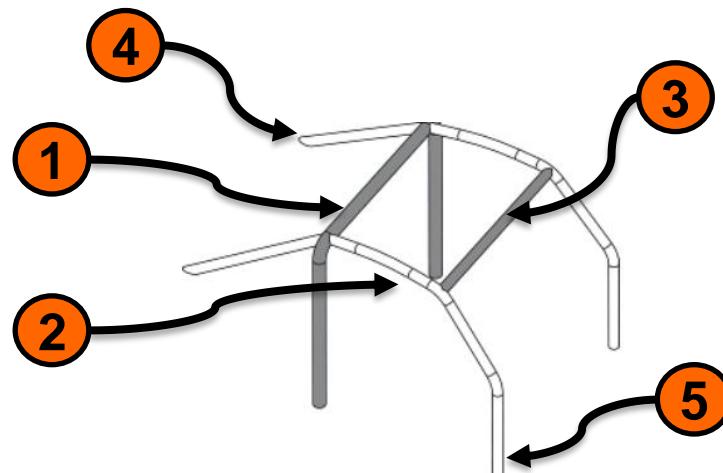




1. Arco principal
2. Arco delantero
3. Dos miembros longitudinales
4. Dos tirantes traseros
5. Seis pies de anclaje



1. Dos Arcos laterales
2. Dos miembros longitudinales
3. Dos tirantes traseros
4. Seis pies de anclaje



1. Arco principal
2. Dos semiarcos laterales
3. Miembro transversal
4. Dos tirantes traseros
5. Seis pies de anclaje



TIRANTE DIAGONAL



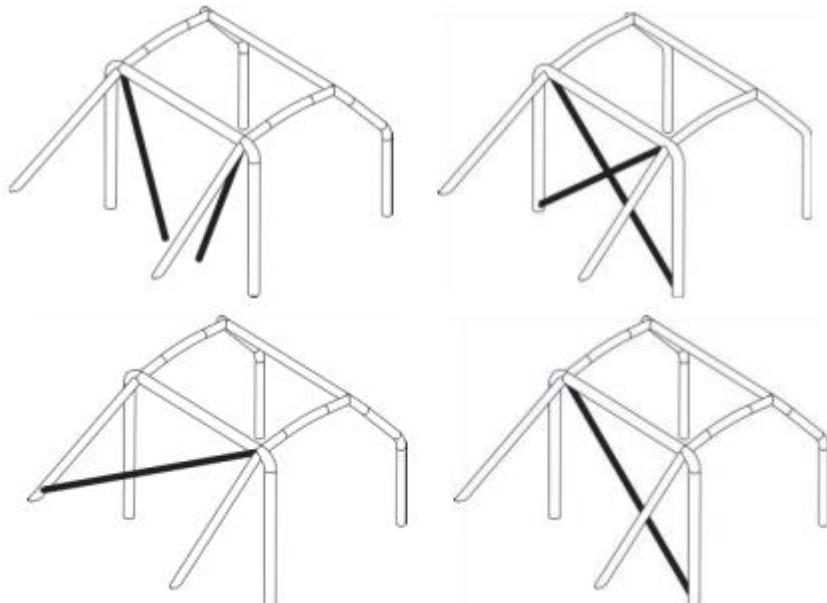
La orientación puede invertirse.



La distancia entre los dos anclajes no debe ser superior a 300 mm



El extremo superior de la diagonal debe unirse al arco principal.



REFUERZO TECHO



Los refuerzos pueden seguir la curvatura del techo



Para competición sin copiloto solamente puede montarse un solo refuerzo.



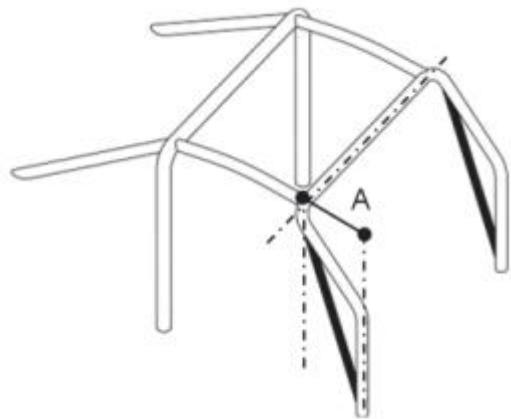
PILAR DE REFUERZO DEL PARABRISAS



Montado si la dimensión "A" es superior a 200 mm



Puede ser curvado pero su ángulo de curvatura no exceda 20°



BARRAS PUERTAS



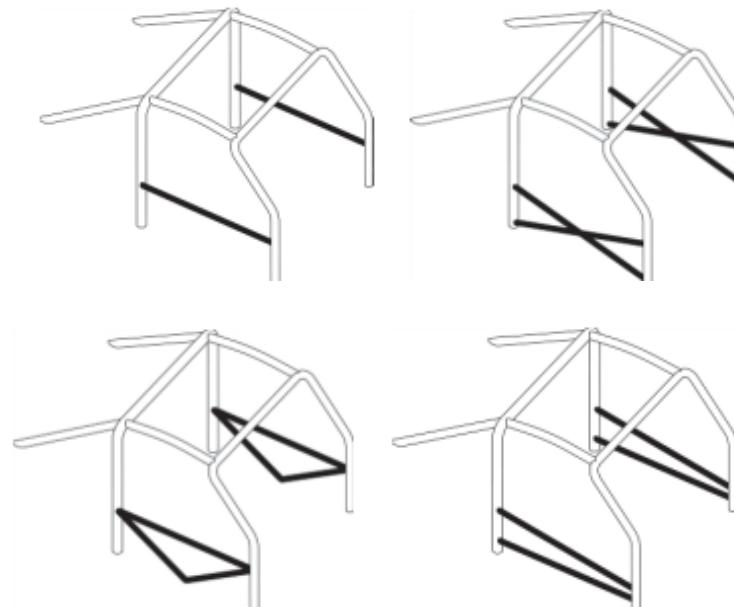
Pueden combinarse.



Si es en "X" al menos una barra sea una sola pieza



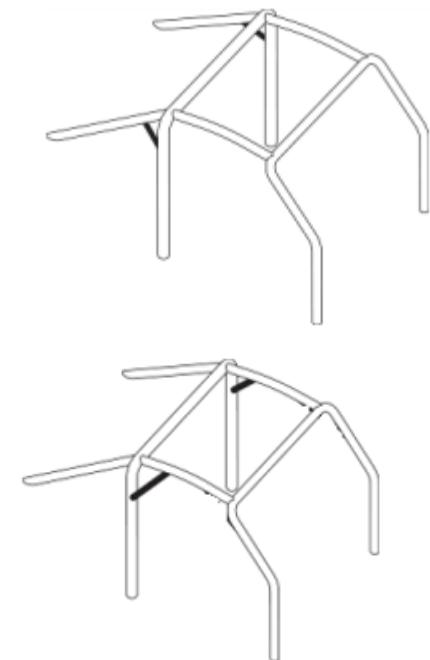
Sus puntos de anclaje superiores no estarán a más de la mitad de la altura total



REFUERZOS DE ÁNGULOS Y UNIONES



No deben situarse a más distancias de la mitad de longitud.



PUNTOS DE ANCLAJE SUSPENSIÓN DELANTERA



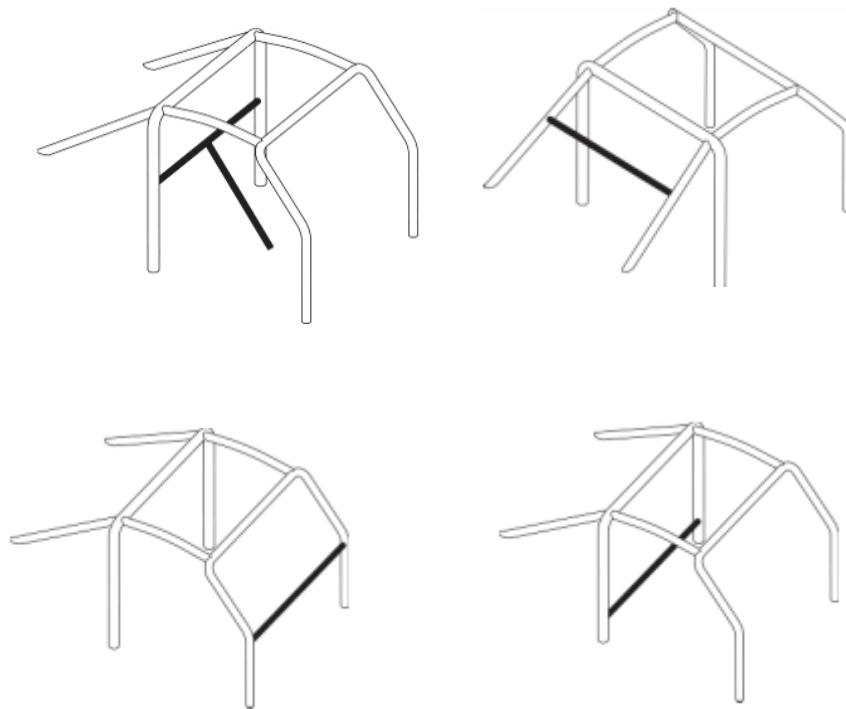
Conectadas a los puntos de anclaje de la suspensión.



MIEMBROS TRANSVERSALES



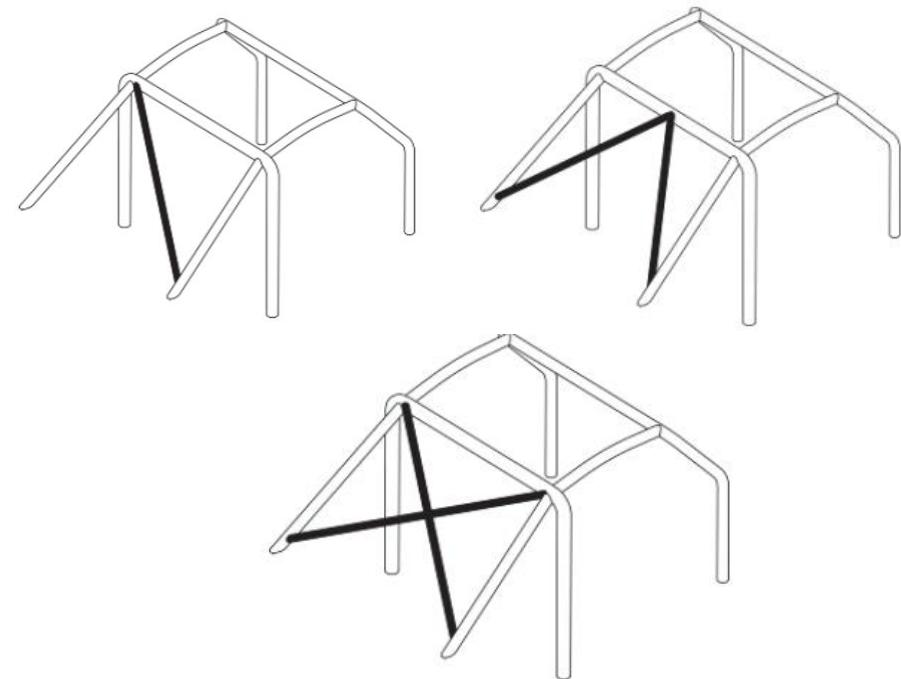
Ángulo entre brazo central y vertical al menos 30° .



DIAGONALES TIRANTES TRASEROS

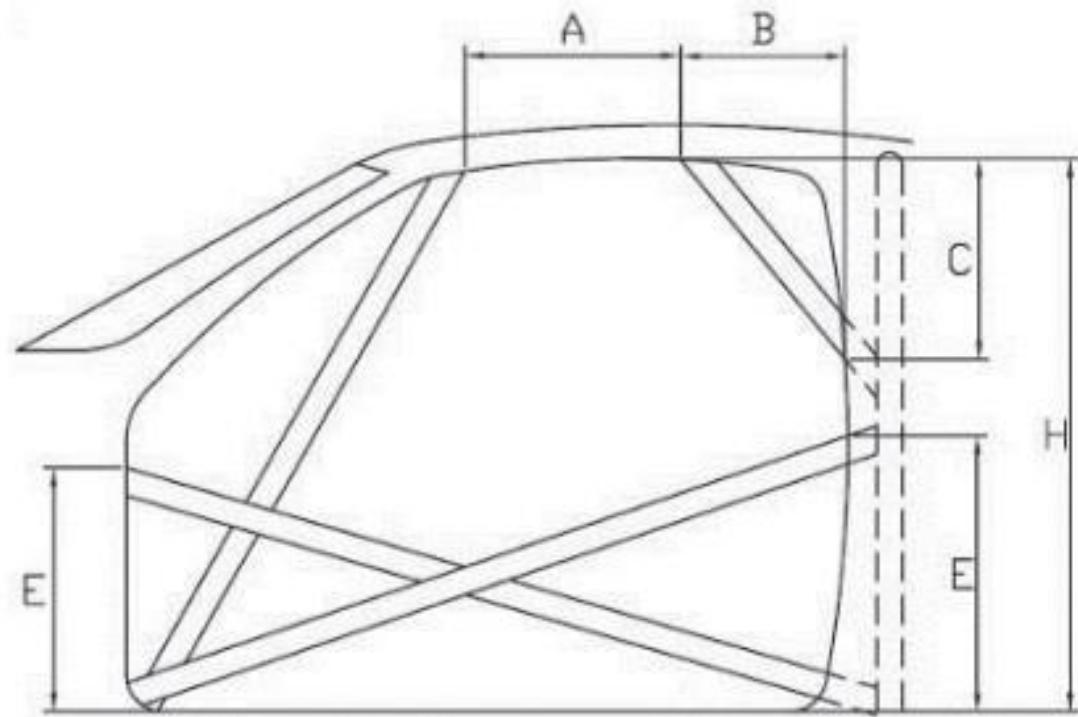


En caso de instalar refuerzo en V se pueden reemplazar los refuerzos



CRITERIOS A CUMPLIR

- Dimensión A debe tener un mínimo de 300 mm.
- Dimensión B debe tener un máximo de 250 mm.
- Dimensión C debe tener un máximo de 300 mm.
- Dimensión E no debe ser superior a la mitad de la altura de la apertura de la puerta (H).



ESPECIFICACION DEL TUBO

MATERIAL	RESISTENCIA MÍNIMA A LA TRACCIÓN	DIMENSIONES MÍNIMAS (MM)	APLICACIÓN
Acero al carbono baja aleación conformado en frío sin soldadura conteniendo un máximo del 0,3% de carbono.	350 N/mm²	45 x 2.5 (1.75"x0.095") O 50 x 2.0 (2.0"x0.083")	Arco principal o arcos laterales
		38 x 2.5 (1.5"x0.095") o 40 x 2.0 (1.6"x0.083")	Semiarcos laterales y otras partes de la estructura de seguridad



ENSAYOS ESTABLECIDOS POR LA NORMA

La estructura cumpla los siguientes puntos:

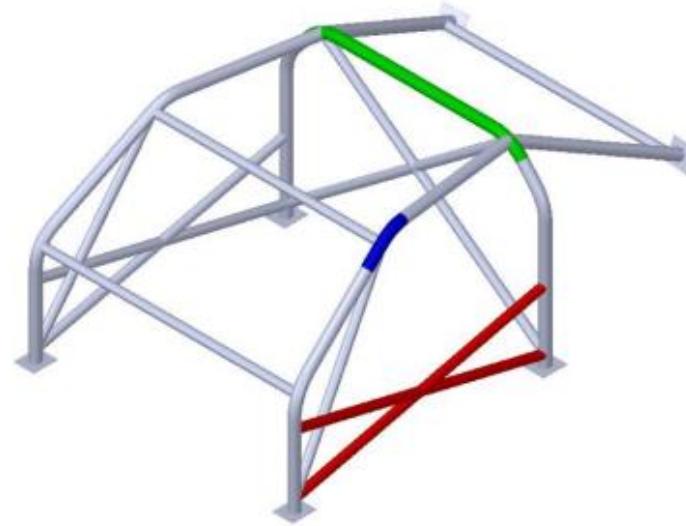
- Carga vertical 7.5 P
- Carga frontal 3.5 P
- Carga lateral 3.5 P

Considerar que el peso debe ser :

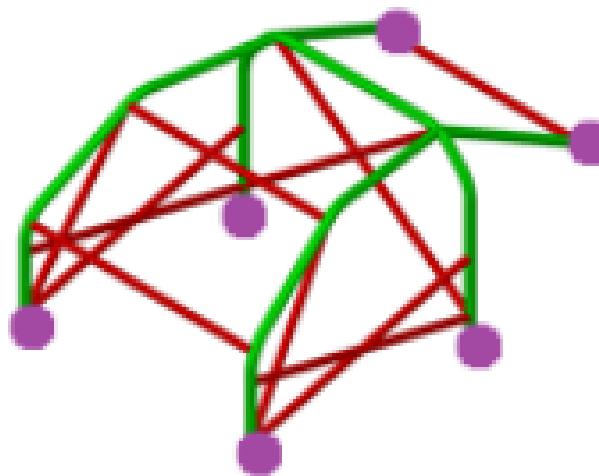
- $P = \text{masa del vehículo} + 150 \text{ Kg}$



Aplicación de cargas según la reglamentación



Restricción de movimiento en la estructura



CRITERIOS DE ACEPTACIÓN POR LA NORMA



Desplazamientos

En el instante de aplicación del 100% de la carga, en el ensayo de simulación no podrá existir desplazamiento, como consecuencia de la deformación elástica y/o plástica, superior a 50 mm medidos en toda la estructura. Esto es de aplicación a cualquiera de los casos de sollicitaciones de carga.

Tensiones

No se podrá superar el límite elástico del material en toda la estructura.



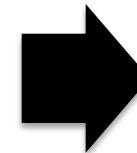
DISEÑO

DISEÑO DEL CHASIS TUBULAR

Como referencia el
reglamento de la
Real Federación
Española de
Automovilismo
R.F.E.d.A



Apoyados del
software Solid
Works se realizará la
fase de modelado
del chasis

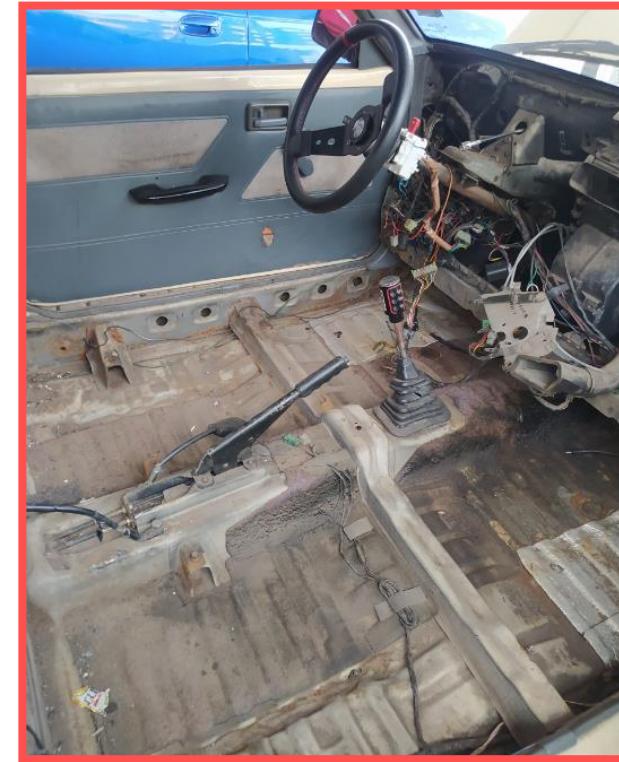


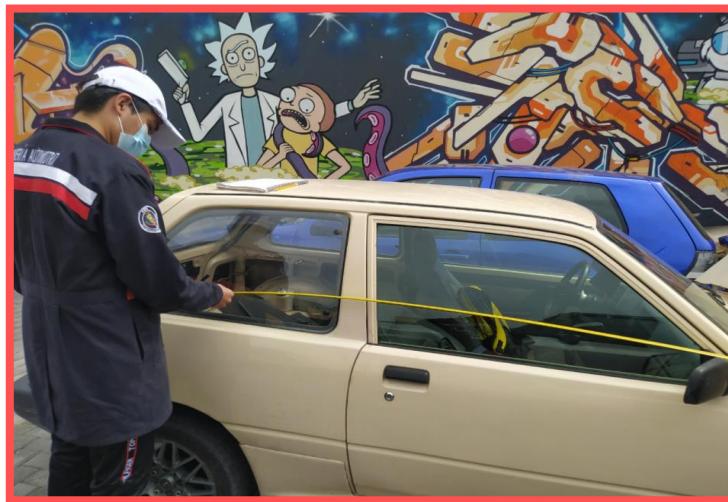
Se determinan las
cargas máximas que
debe llegar a
soportar la
estructura.



MEDICIONES PRINCIPALES DEL VEHÍCULO

Lo más importante a la hora de realizar nuestro diseño del chasis es tomar las medidas principales de los anclajes mismos que serán implementados el chasis. Para esto se tomaron medidas reales del vehículo Suzuki Forza G10:





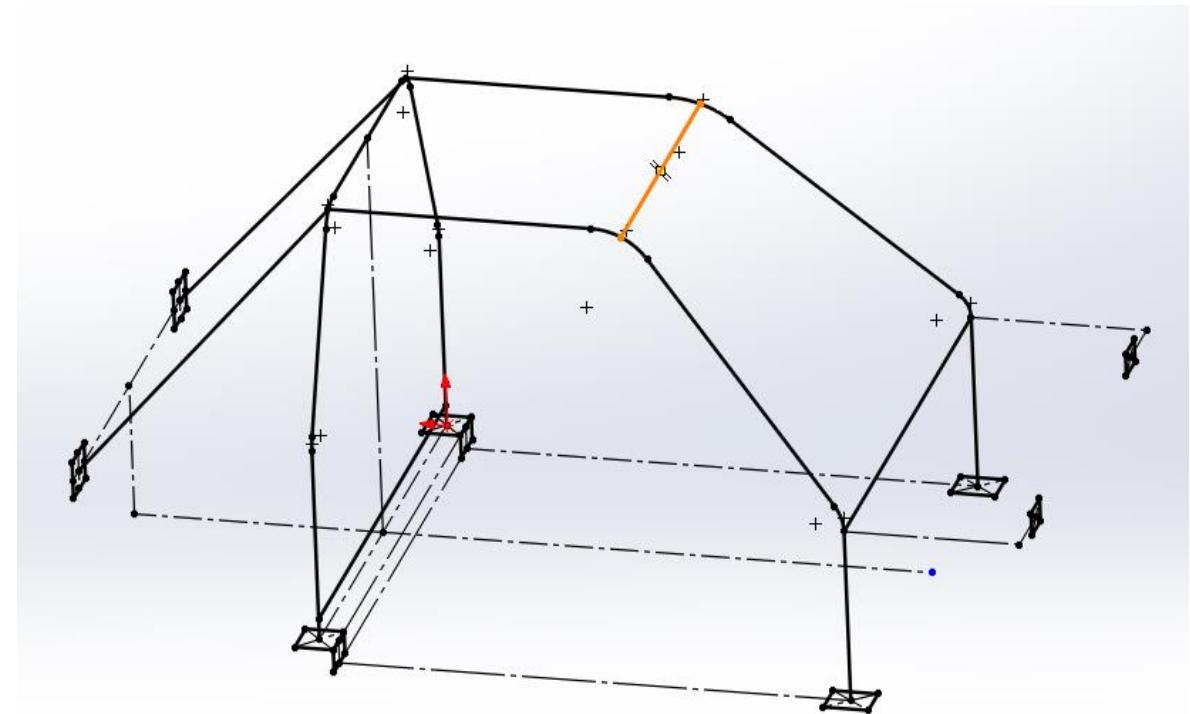
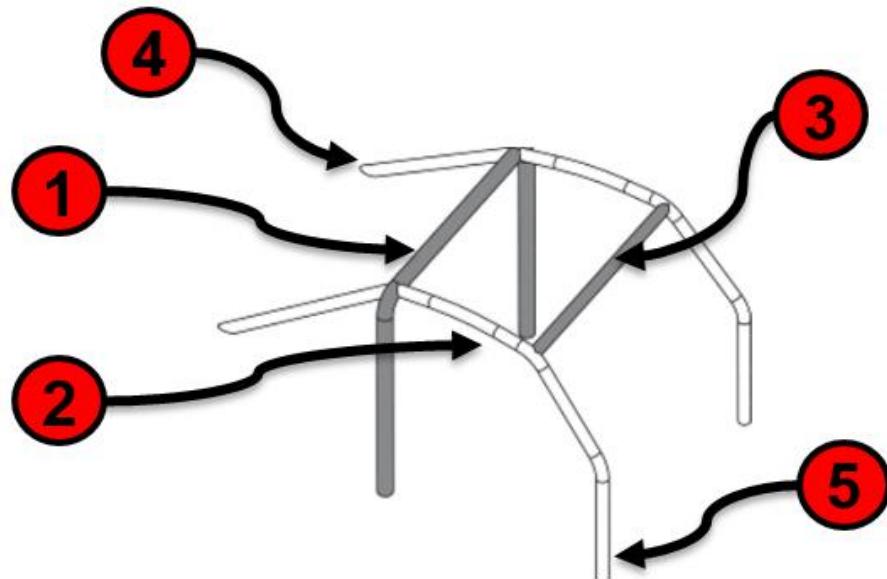
- Distancia torres posteriores: **90 cm**
- Distancia torres delanteras: **97 cm**
- Distancia torre delantera-torre posterior: **225 cm**
- Altura del vehículo (piso-techo): **110 cm**



DISEÑO CONCEPTUAL

Considerando lo establecido por la reglamentación de la R.F.E.d.A. a partir del anexo J – Artículo 253-8.2.

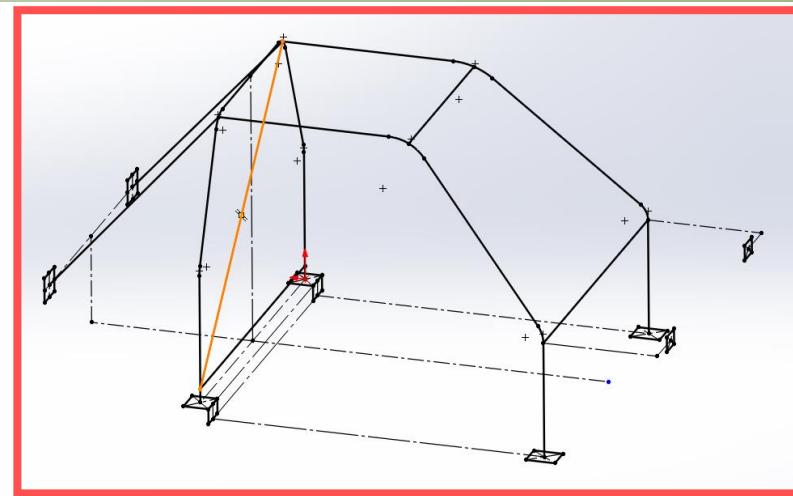
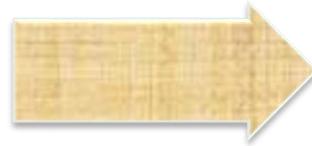
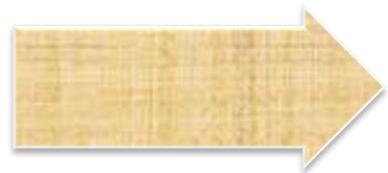
Estructura básica



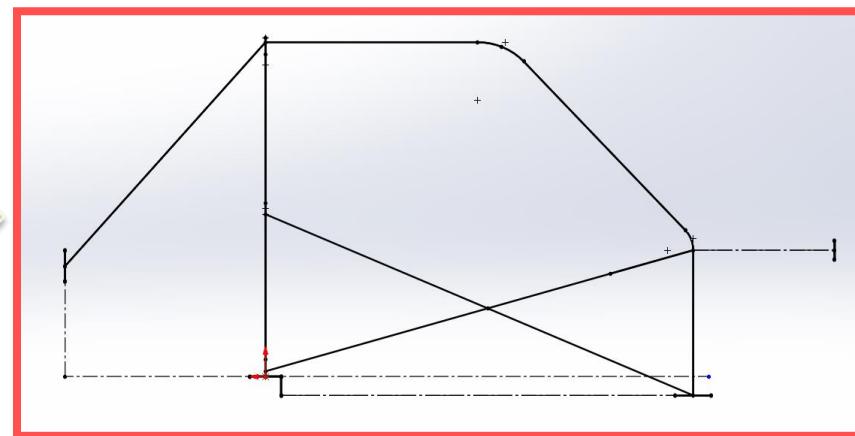
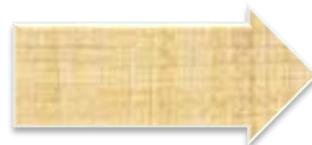
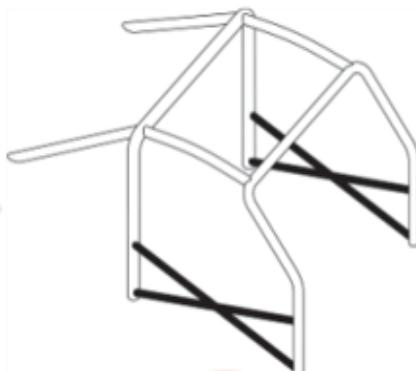
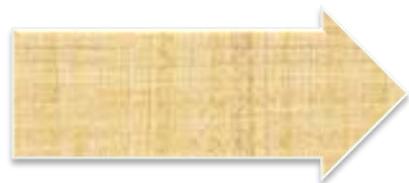
1. Un arco principal.
2. Dos semiarcos laterales.
3. Un miembro transversal
4. Dos tirantes traseros.
5. Seis pies de anclaje.



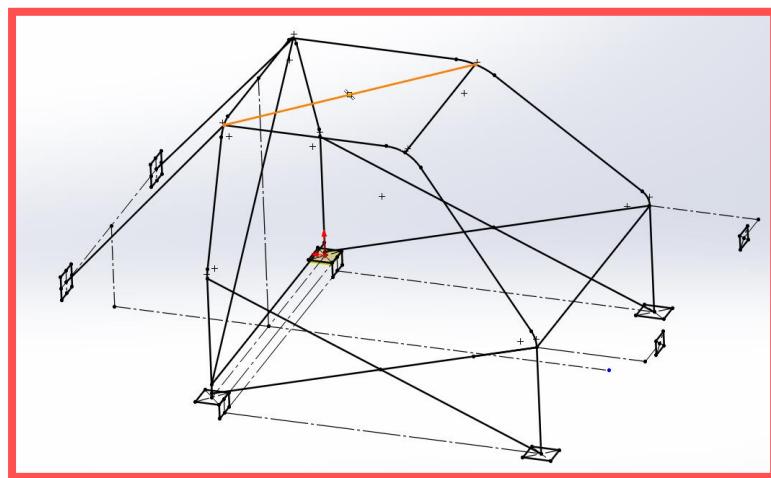
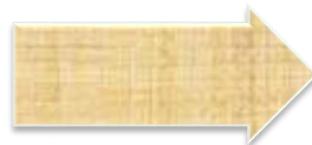
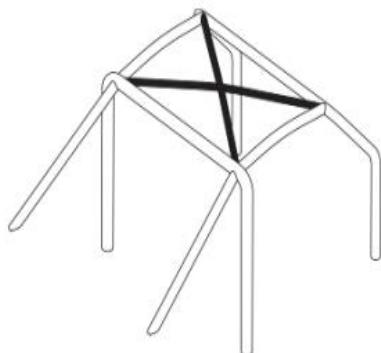
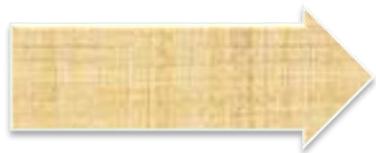
**Tirantes y
refuerzos**



**Barras de
puertas**

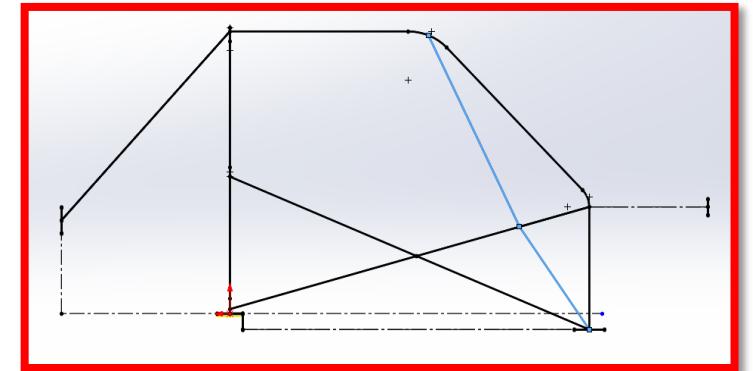
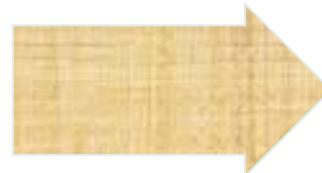
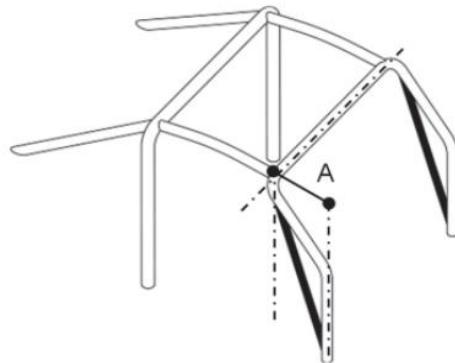
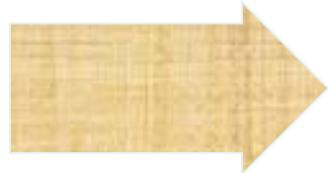


**Elementos de
refuerzo de
techo**

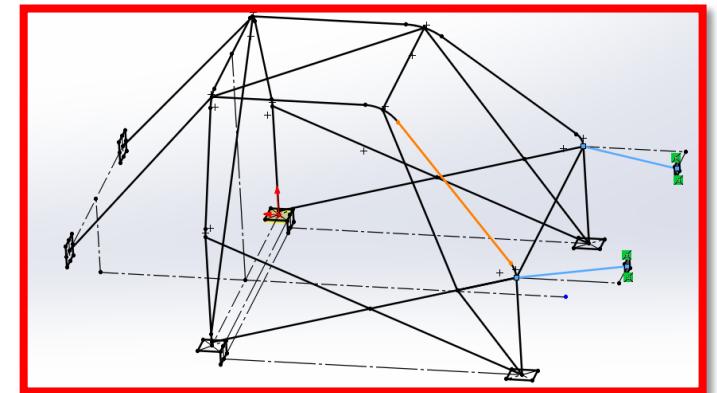


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

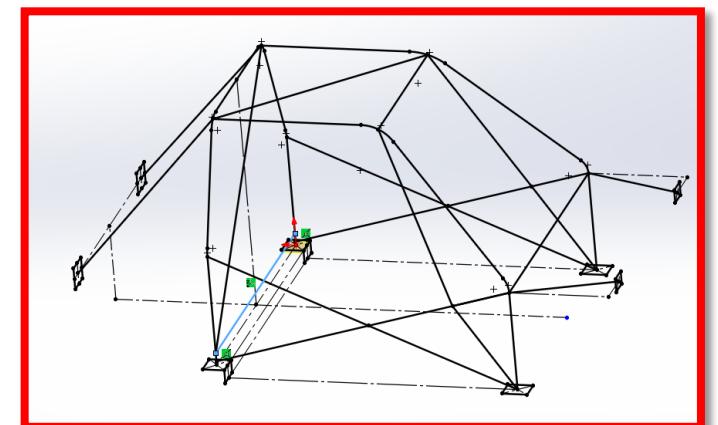
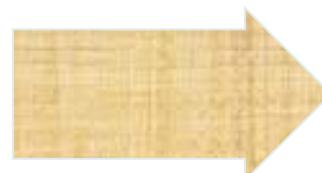
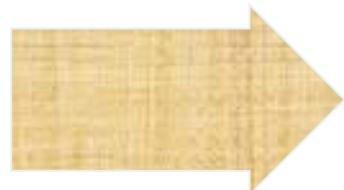
**Pilar de
refuerzo
del
parabrisas**



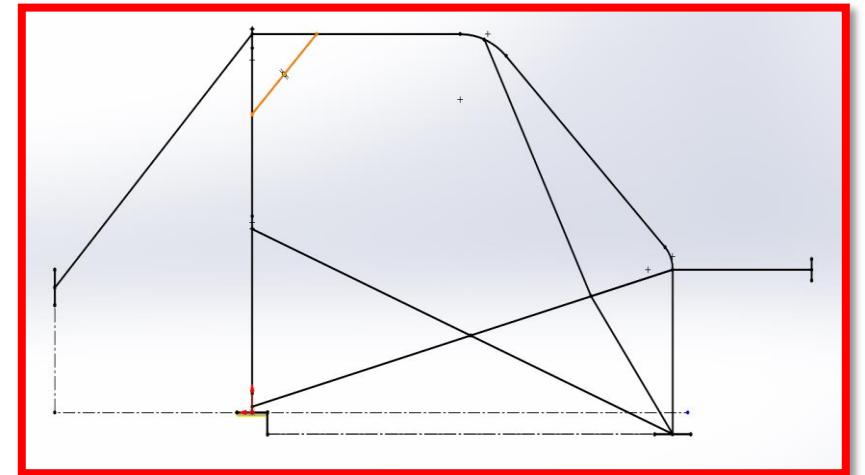
**Puntos de
anclaje sobre
la
suspensión
delantera**



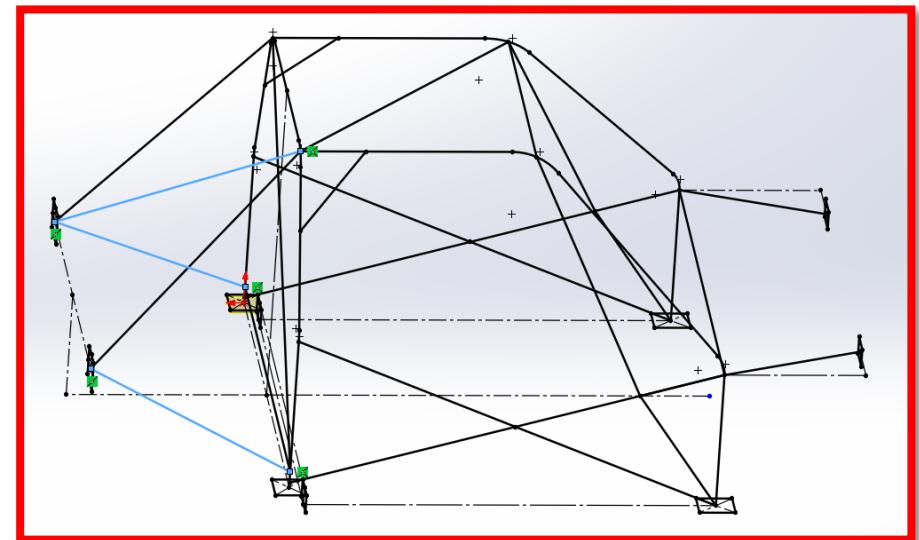
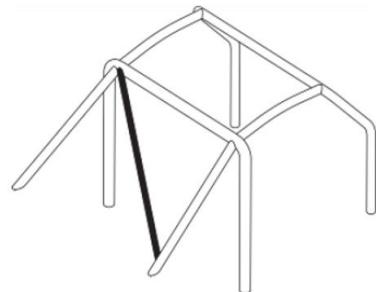
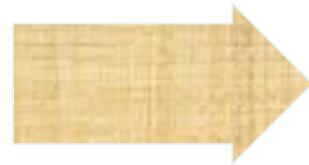
**Miembros
transversales**



**Refuerzos de
ángulos o
uniones**



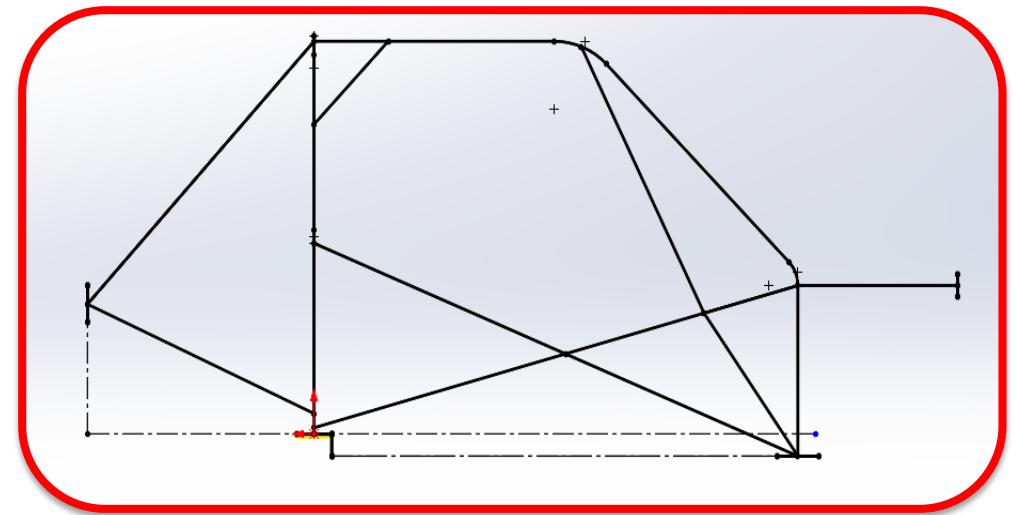
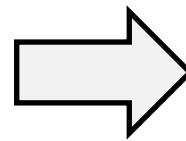
**Diagonales de
los tirantes
traseros**



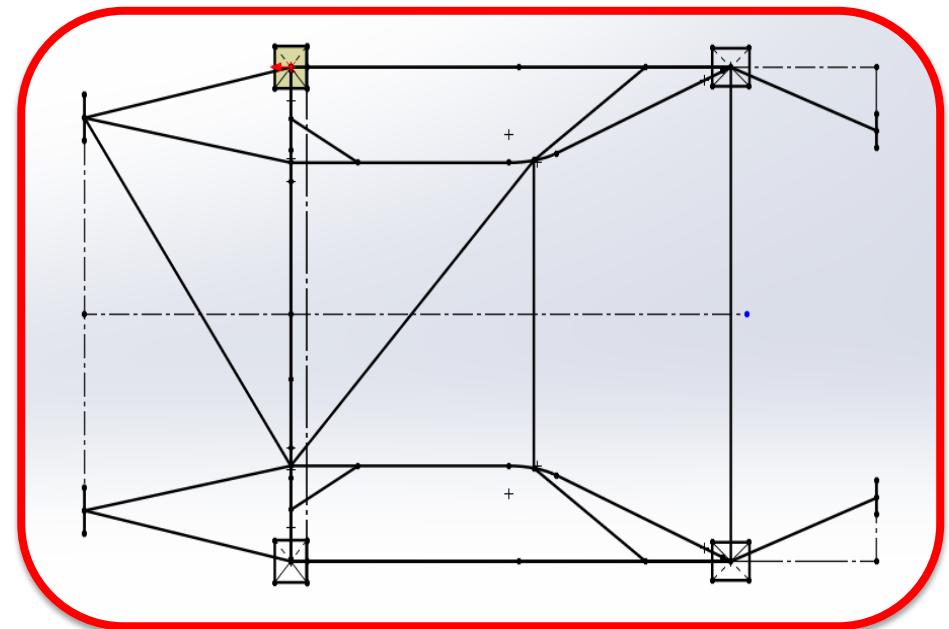
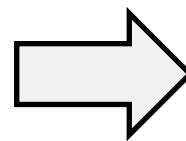
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño final

Vista lateral

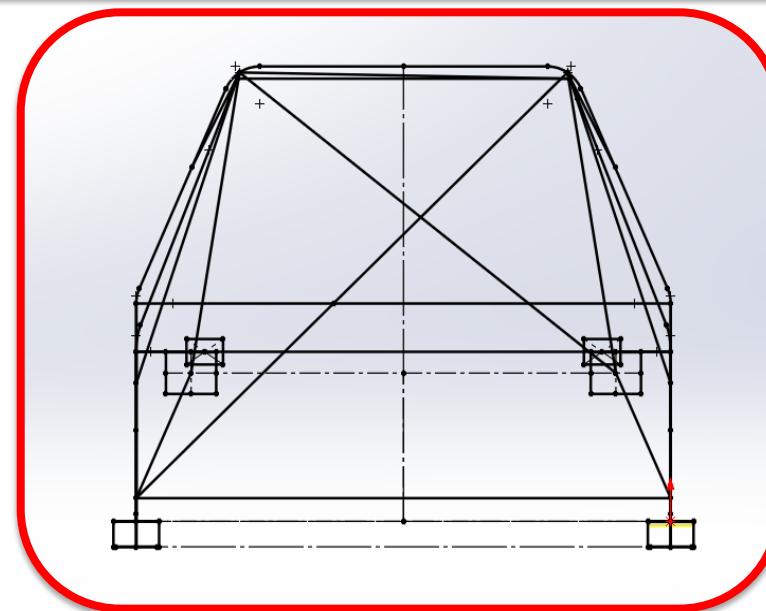
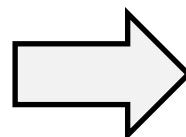


Vista superior

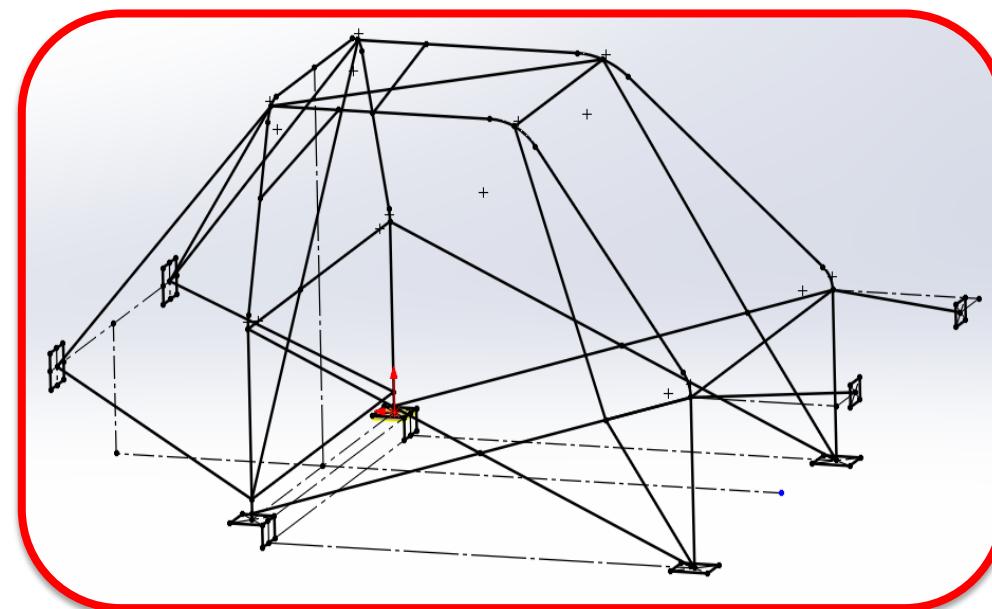
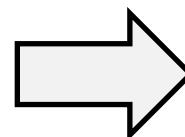


Diseño final

Vista frontal

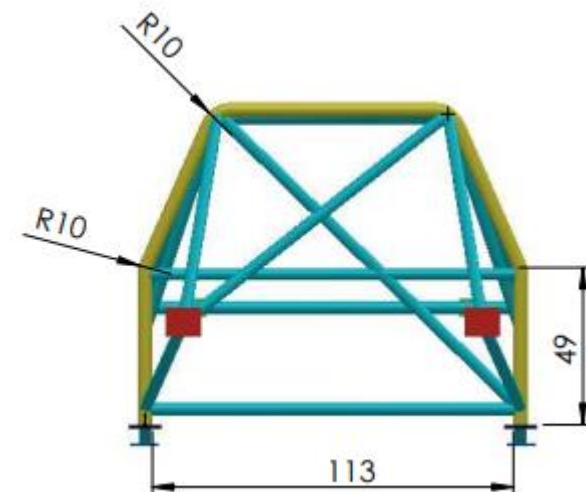
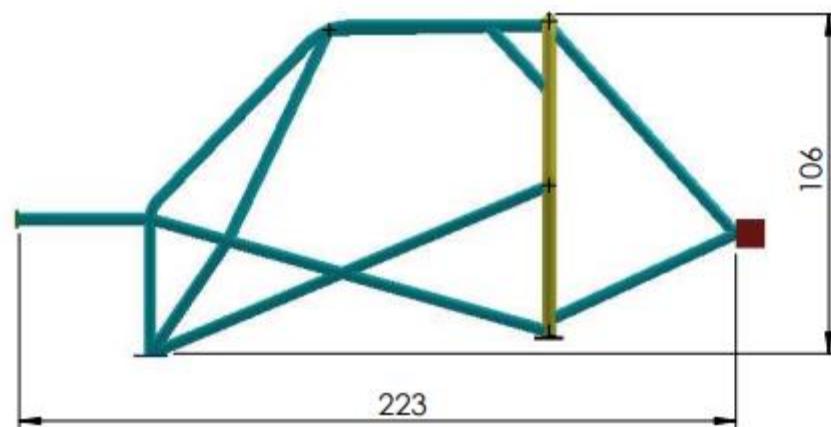
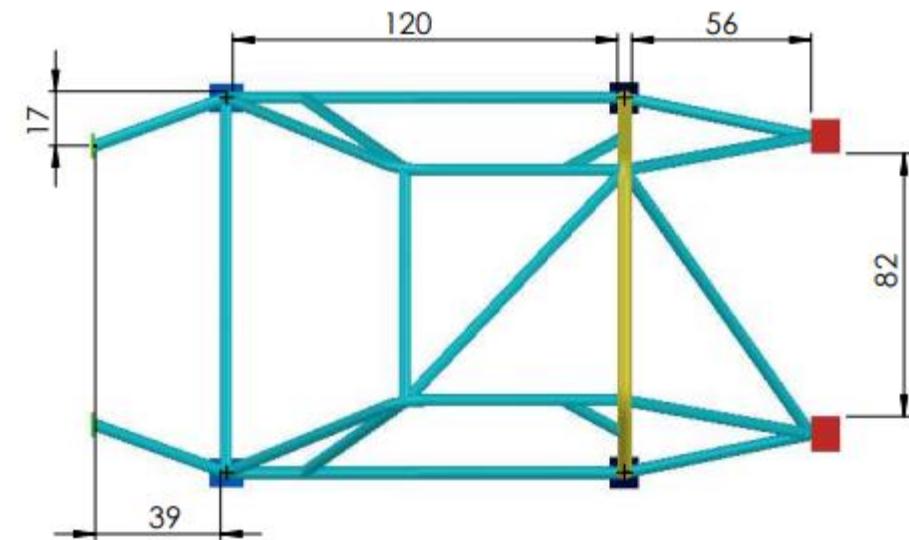
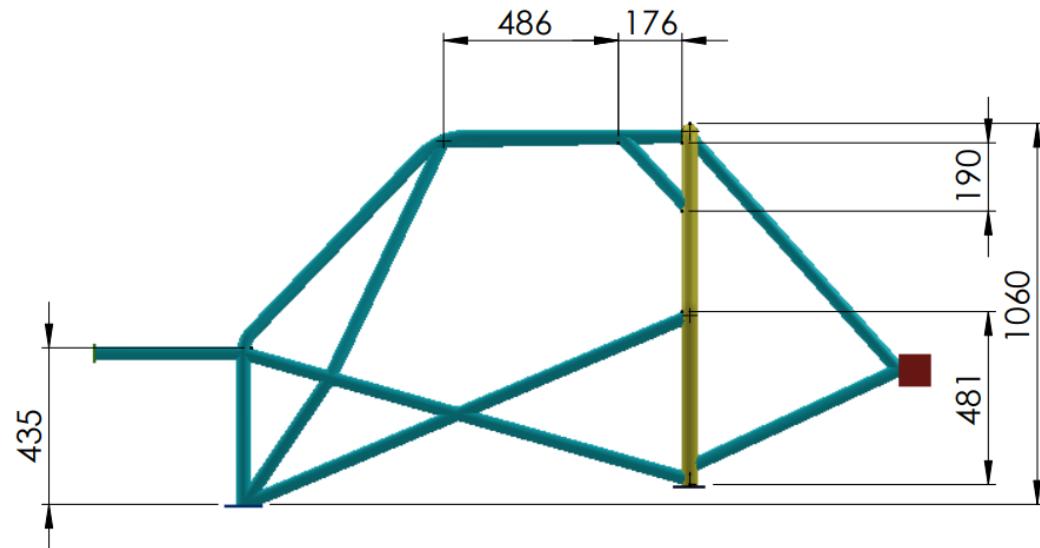


Vista isométrica



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PLANOS



TIPO DE PERFIL

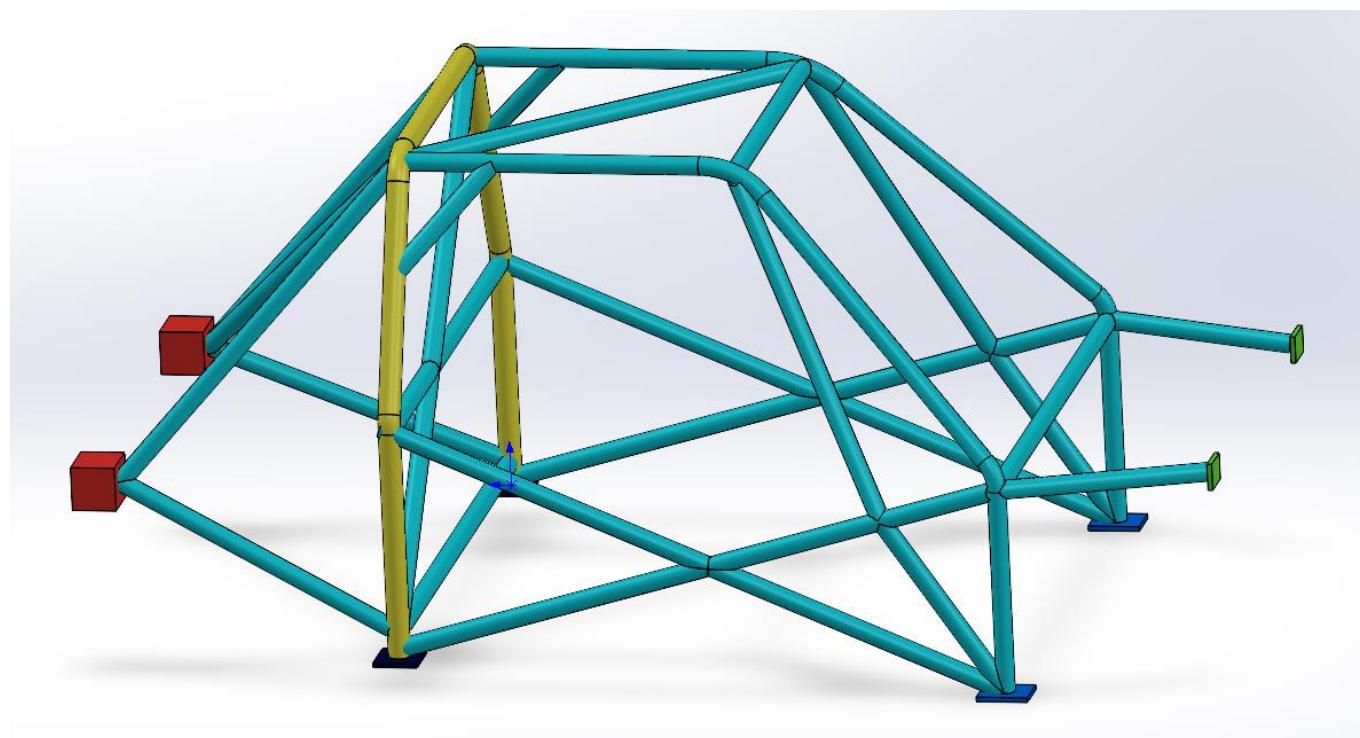
Finalizado el modelado en 3D se definen el tipo de perfil y sus respectivas dimensiones de cada uno de los elementos que conforma la estructura, teniendo en cuenta el reglamento establecido por la R.F.E.d.A.

Medidas de perfil tubular

Color	Diámetro / espesor (mm)	Perfil tubular
Amarrillo	45 x 2.5	Redondo
Turquesa	38 x 2.5	Redondo

Medidas de soporte bases

Color	Dimensiones (cm)
Rojo	11 x 9 x 9
Negro	10 x 9 x 5,5
Azul	10,5 x 9 x 1
Verde	8 x 5,5 x 1



MATERIAL APLICADO A LA ESTRUCTURA



Según la reglamentación técnica en el **anexo J – Artículo 253-8.3.3** el tipo de material debe ser un tubo de sección circular, acero al carbono baja aleación conformado en frío sin soldadura, con contenido máximo del 0.3 % de carbono con una resistencia mínima a la tracción de 350 N/mm²:

B-254 (ASTM A36)	Acero estructural.
B-99 (ASTM A529)	Acero estructural con límite de fluencia mínimo de 290 MPa (2 950 kg/cm ²).
B-282 (ASTM A242)	Acero estructural de baja aleación y alta resistencia.
B-284 (ASTM A572)	Acero estructural de alta resistencia y baja aleación al manganeso-vanadio.
(ASTM A588)	Acero estructural de alta resistencia y baja aleación de hasta 100 mm de grueso, con límite de fluencia mínimo de 345 MPa (3 515 kg/cm ²).
(ASTM A913)	Perfiles de acero de alta resistencia y baja aleación, de calidad estructural, producidos por un proceso de tratamiento térmico especial.
(ASTM A992)	Acero estructural para perfiles H laminados para uso en edificios.
B-177 (ASTM A53, grado B)	Tubos de acero, con o sin costura.
B-199 (ASTM A500)	Tubos de acero al carbono para usos estructurales, formados en frío, con o sin costura, de sección circular o de otras formas.
B-200 (ASTM A501)	Tubos de acero al carbono para usos estructurales, formados en caliente, con o sin costura.



Propiedades mecánicas / Mechanical properties / Caratteristiche meccaniche

Norma Standard Norma	Calidades Grades Tipi	Límite elástico R _e Yield strength R _e Limite elastico R _e	Resistencia a la tracción R _m Tensile strength R _m Resistenza alla trazione R _m	Razón R _e /R _m Ratio R _e /R _m Rapporto R _e /R _m	Alargamiento mínimo A Minimum elongation A Allungamento minimo A		Ensayo de flexión por choque ³⁾ Notch impact test ³⁾ Prova di resilienza ³⁾		C max. %
					min. 200 mm [8 in.]	min. 50 mm [2 in.]	ASTM A673 longitudinal, ala longitudinal, flange Posizione long., ali		
		MPa [ksi]	MPa [ksi]		%	%	Temperatura Temperature Temperatura °C (°F)	Media de energía Energy average Energia – valore medio J [ft-lbf]	
A36	Grade 36*	≥250 [36]	400-550 ²⁾ [58-80]		20 ¹⁾	21 ²⁾			0,26
A572	Grade 42*	≥290 [42]	≥415 [60]		20 ¹⁾	24 ^{1)2b)}			0,21
	Grade 50	≥345 [50]	≥450 [65]		18 ¹⁾	21 ^{1)2b)}			0,23
	Grade 55*	≥380 [55]	≥485 [70]		17 ¹⁾	20 ^{1)2b)}			0,25
	Grade 60*	≥415 [60]	≥520 [75]		16 ¹⁾	18 ^{1)2b)}			0,26
	Grade 65*	≥450 [65]	≥550 [80]		15 ¹⁾	17 ^{1)2b)}			0,23 ⁴⁾
A588	Grade B ^{*)6)}	≥345 [50]	≥485 [70]		18 ¹⁾	21 ^{1)2d)}			0,20 ²⁾
A709	Grade 36*	≥250 [36]	400-550 [58-80]		20 ¹⁾	21 ¹⁾²⁾		5)	0,26
	Grade 50	≥345 [50]	≥450 [65]		18 ¹⁾	21 ¹⁾²⁾		5)	0,23
	Grade 50S	345-450 [50-65]	≥450 [65]	≤0,85	18 ¹⁾	21 ¹⁾		5)	0,23
A913	Grade 50	≥345 ⁴⁾ [50]	≥450 [65]		18	21	21 [70]	≥54 [40]	0,12
	Grade 65	≥450 [65]	≥550 [80]		15	17	21 [70]	≥54 [40]	0,12
	Grade 70	≥485 [70]	≥620 [90]		14	16	21 [70]	≥54 [40]	0,12
A992	Grade 50	345-450 [50-65]	≥450 [65]	≤0,85	18 ¹⁾	21 ¹⁾			0,23



Evaluado los parámetros se decidió optar por un acero **ASTM A913** el cual es un acero de alta resistencia y baja aleación, de calidad estructural.

Propiedad	Valor
Módulo de Young	200 GPa
Esfuerzo de cedencia	485MPa
Esfuerzo ultimo de tracción	620 MPa
Coeficiente de Poisson	0.30
Densidad	7.85 g/cm ³
Contenido máximo Carbono	0.12%



ANÁLISIS

Por ende, el peso del vehículo que se tomó para realizar el estudio es el inicial de 640 Kg. Con ello el peso para realizar el análisis es el siguiente:

$$P = \text{masa del vehículo} + 150 \text{ Kg}$$

$$P = 640 \text{ Kg} + 150 \text{ Kg}$$

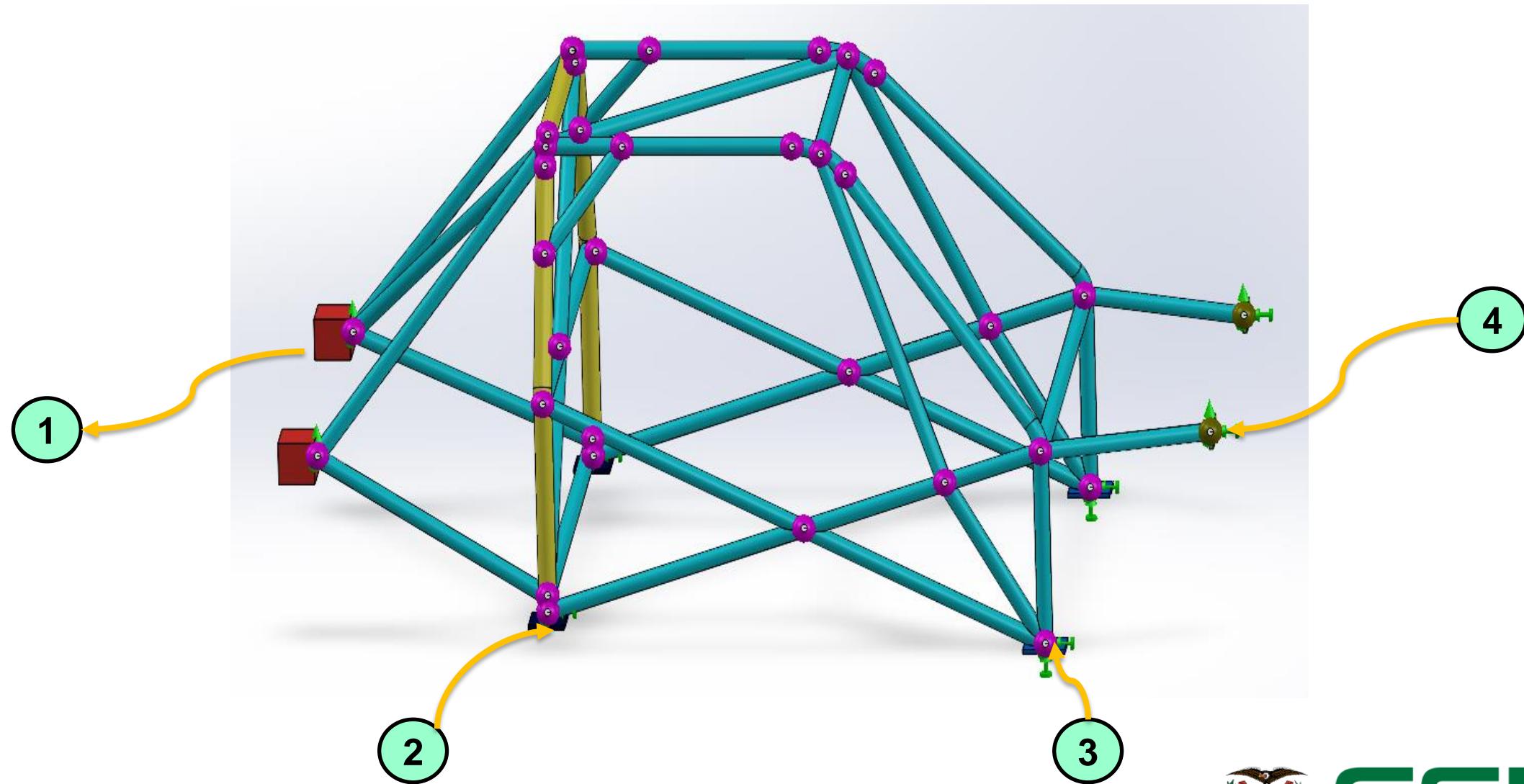
$$P = 790 \text{ Kg} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$P = 7742 \text{ N}$$



ANÁLISIS LATERAL

- Restricción total de la estructura

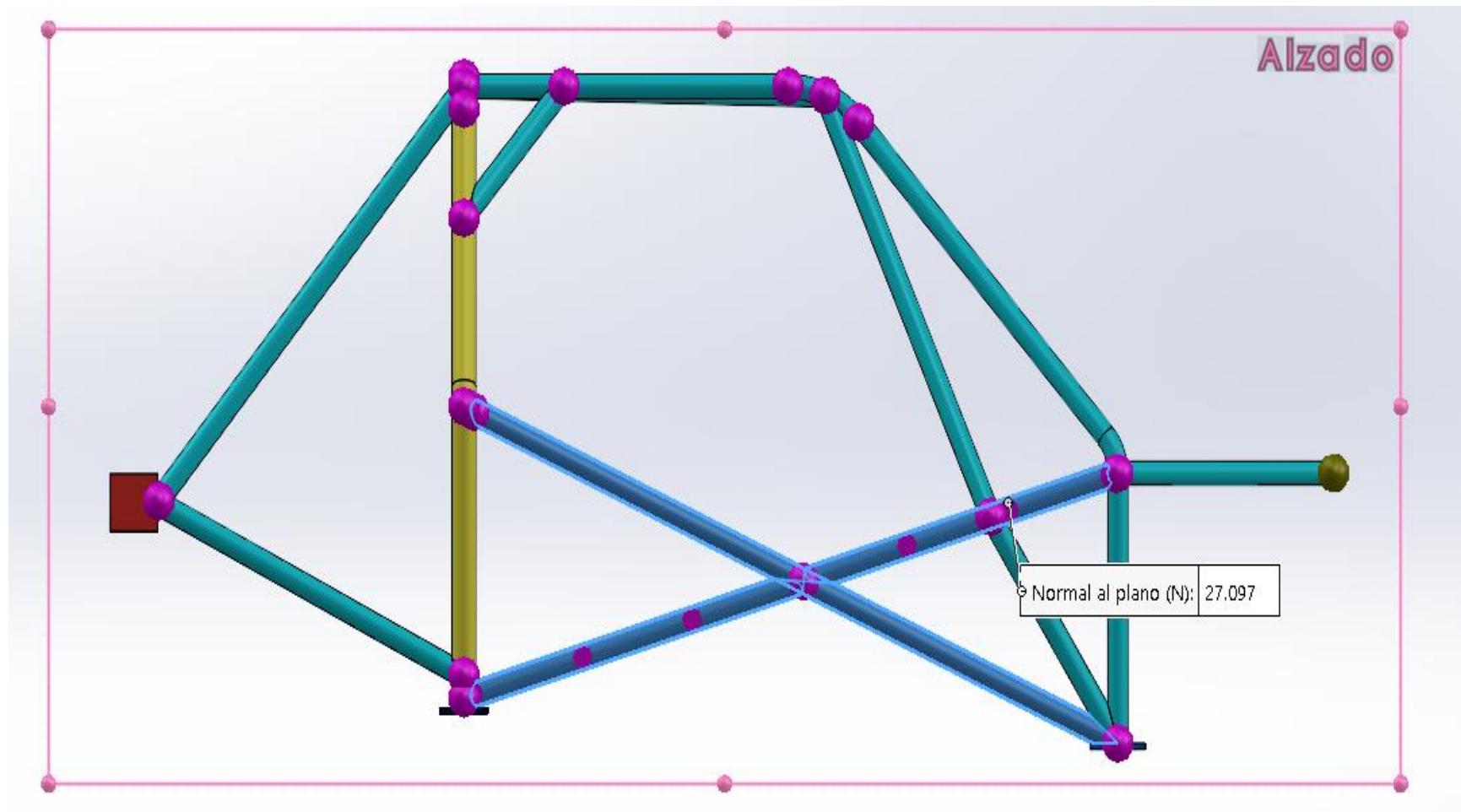


- Aplicación de carga

Carga análisis lateral = 3.5P

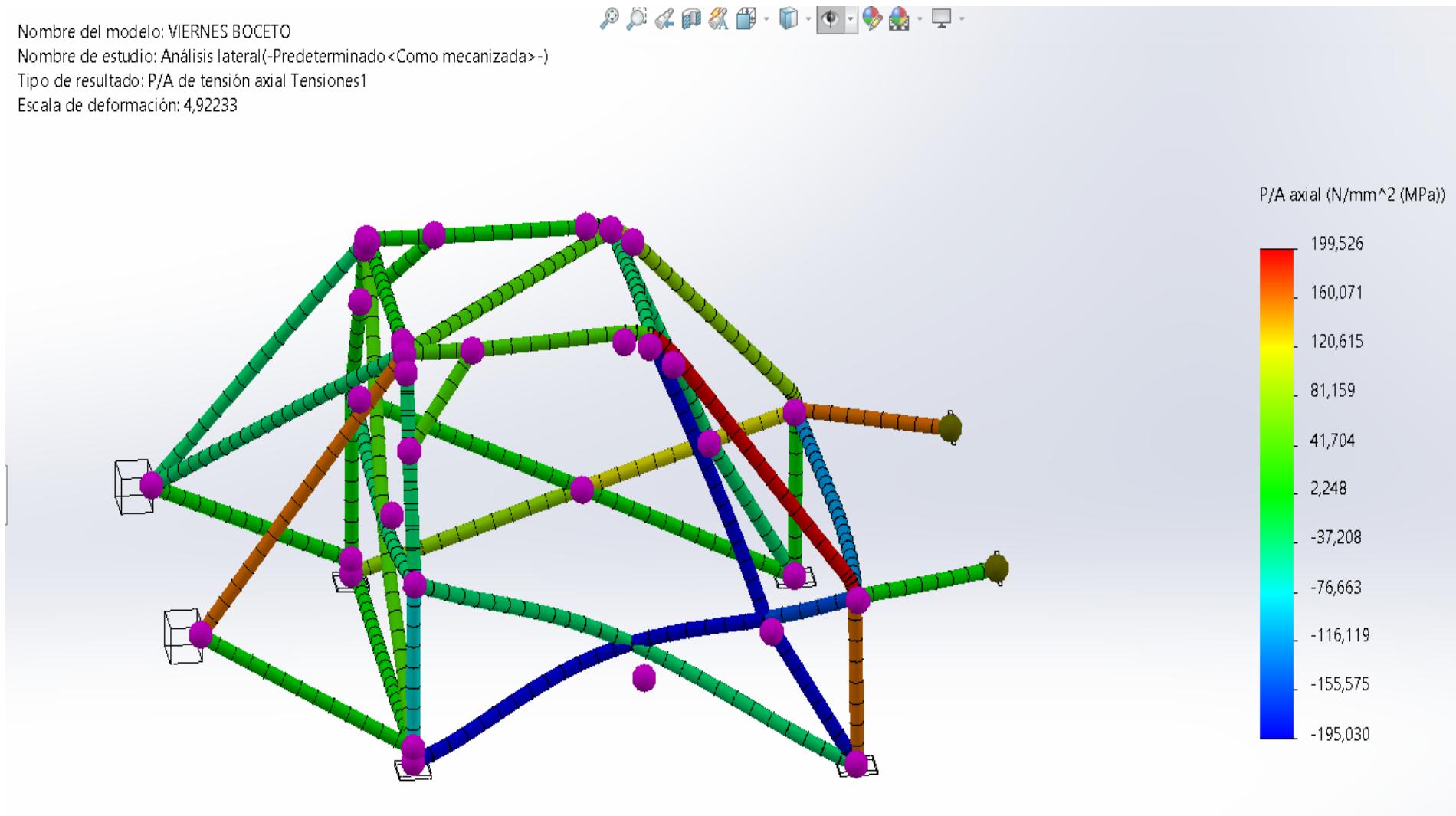
Carga análisis lateral = 3.5 (7742 N)

Carga análisis lateral = **27097 N**



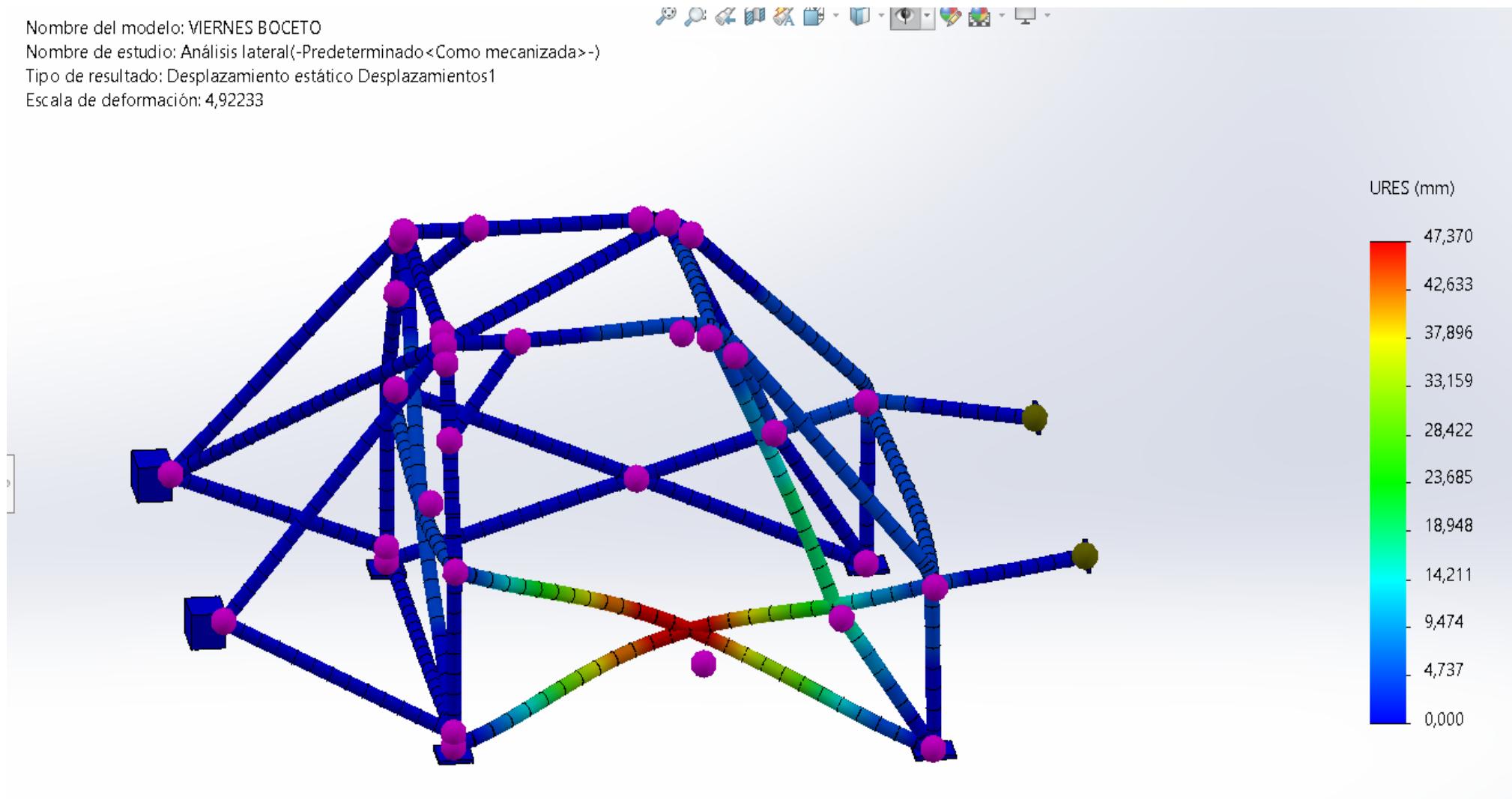
- **Máximo esfuerzo**

El esfuerzo máximo o permisible que va llegar a soportar la estructura de seguridad en el ensayo lateral es de **199,526 (MPa)**, dicho valor no excede el límite de cedencia del material elegido dado que su valor es de **485 (MPa)**.



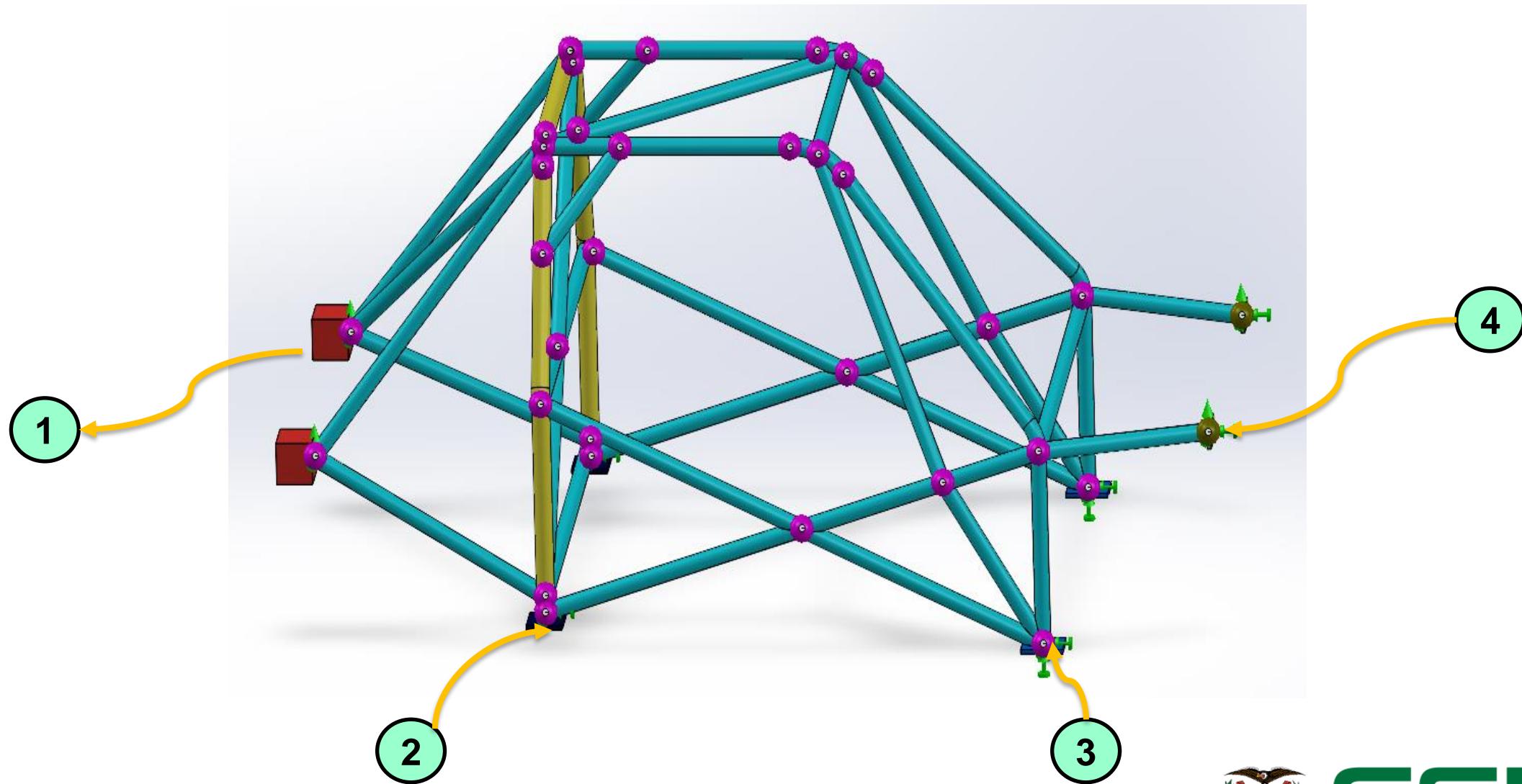
- **Desplazamientos**

Se tiene que al aplicar la fuerza del ensayo lateral existirá una deformación de **47.370 mm**, dicho valor no se encuentra por debajo de los **50 mm** que establece la reglamentación por ende el criterio de desplazamiento queda dentro de los parámetros, esto da por válida la estructura



ANÁLISIS VERTICAL

- Restricción total de la estructura

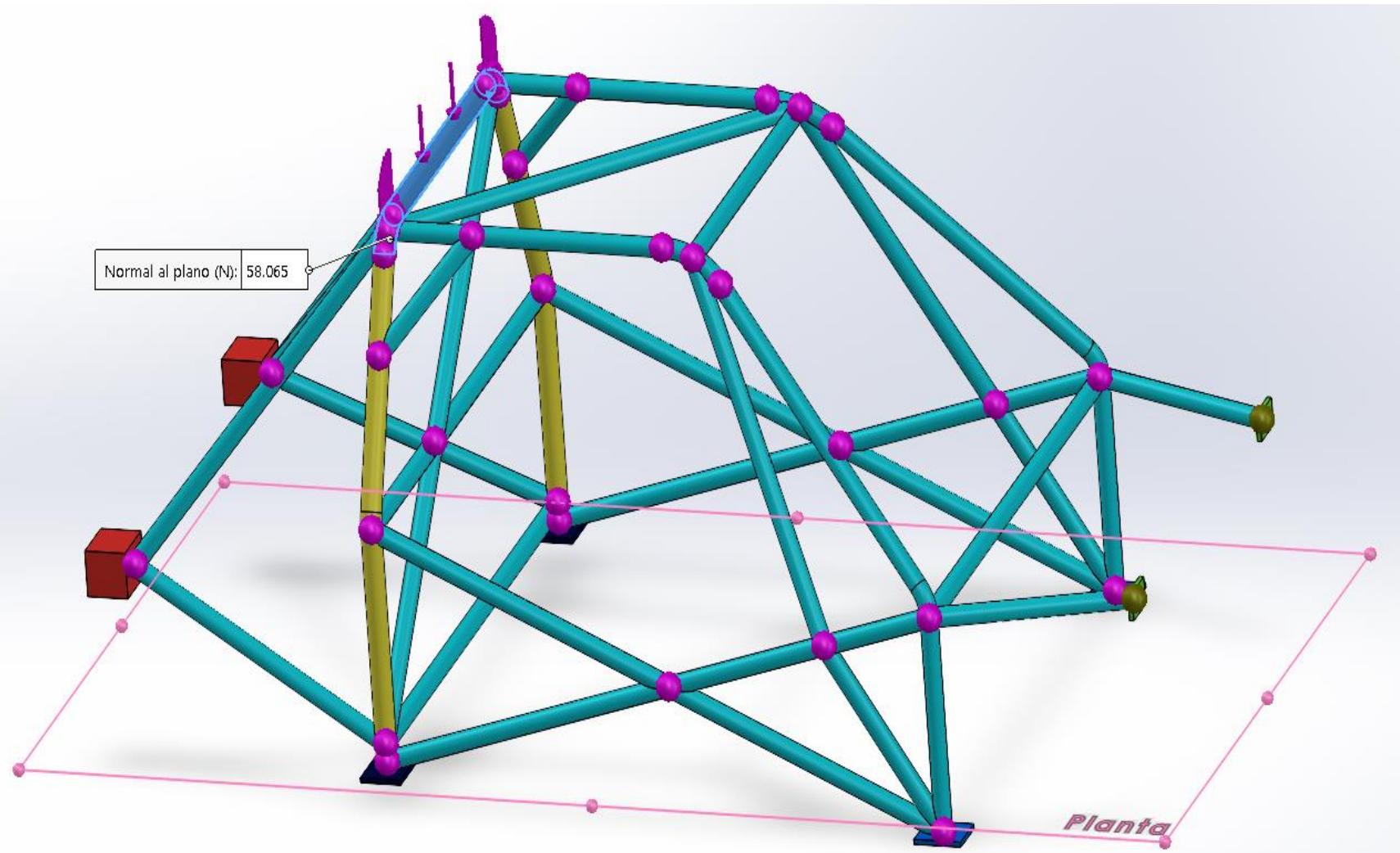


- Aplicación de carga

Carga análisis lateral = 7.5P

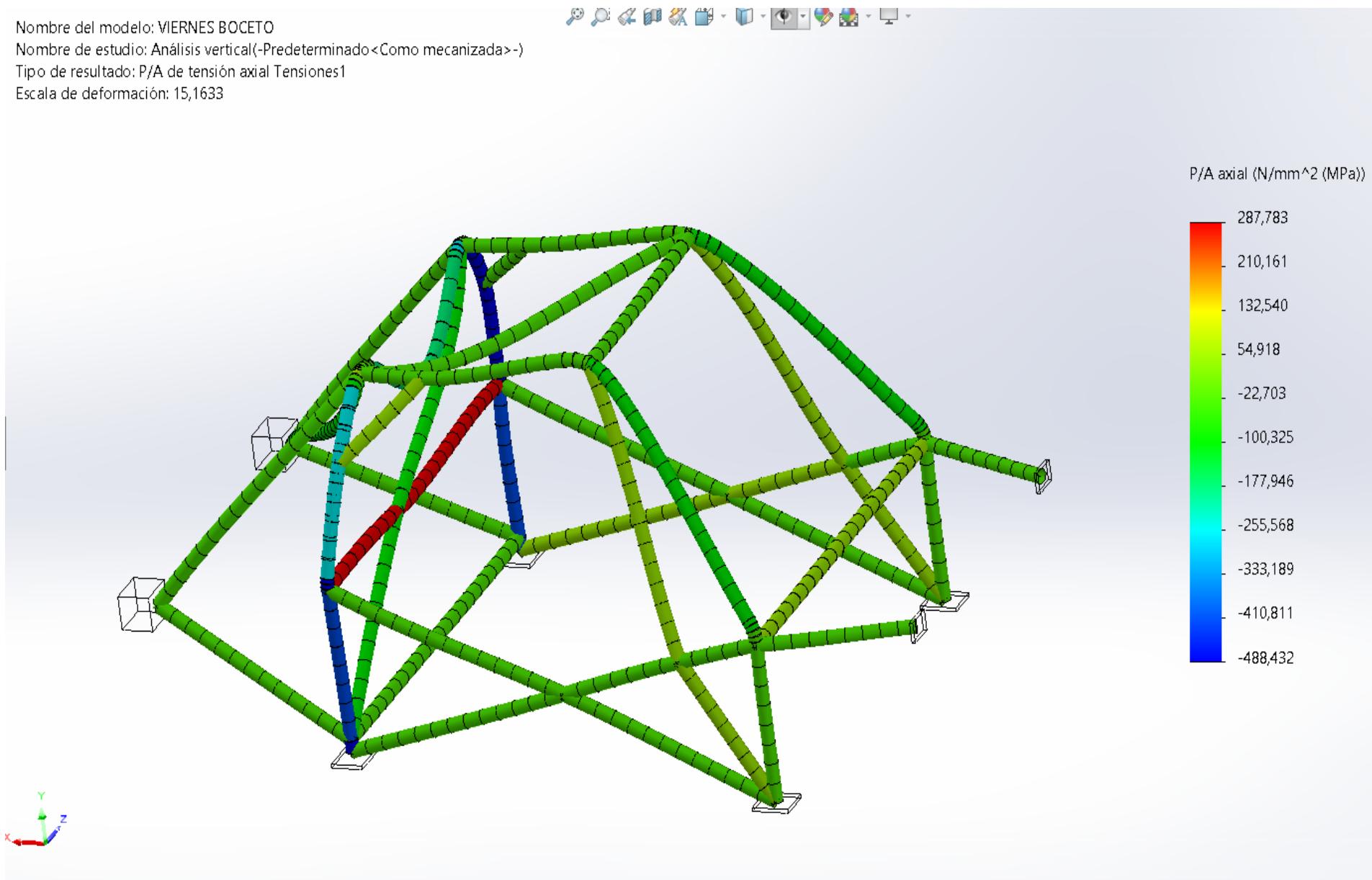
Carga análisis lateral = 7.5 (7742 N)

Carga análisis lateral = **58065 N**



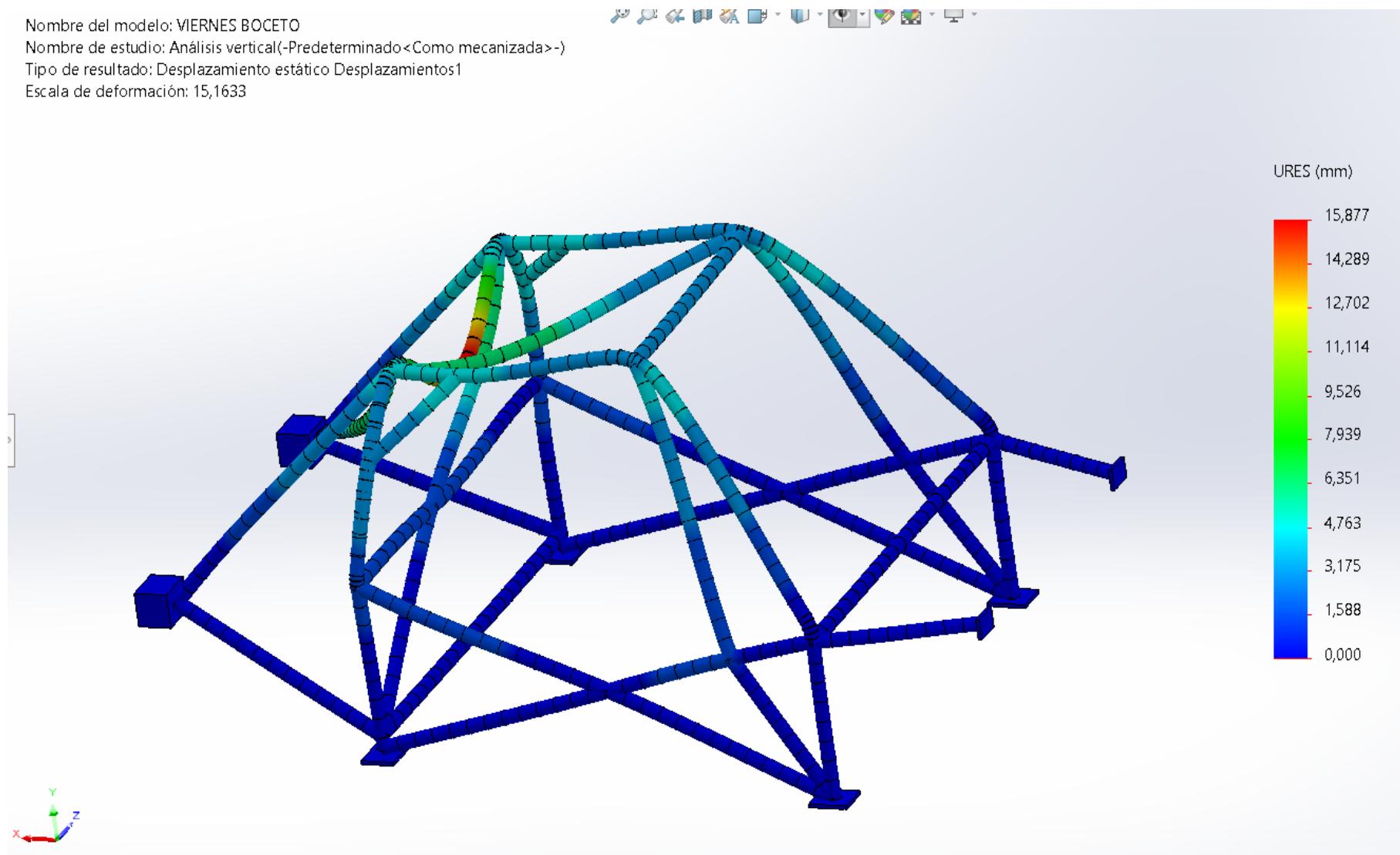
- **Máximo esfuerzo**

El esfuerzo máximo o permisible que va llegar a soportar la estructura verticalmente es de **287.783 (Mpa)**, dicho valor no excede el límite de cedencia del material elegido dado que su valor es de **485 (Mpa)**.



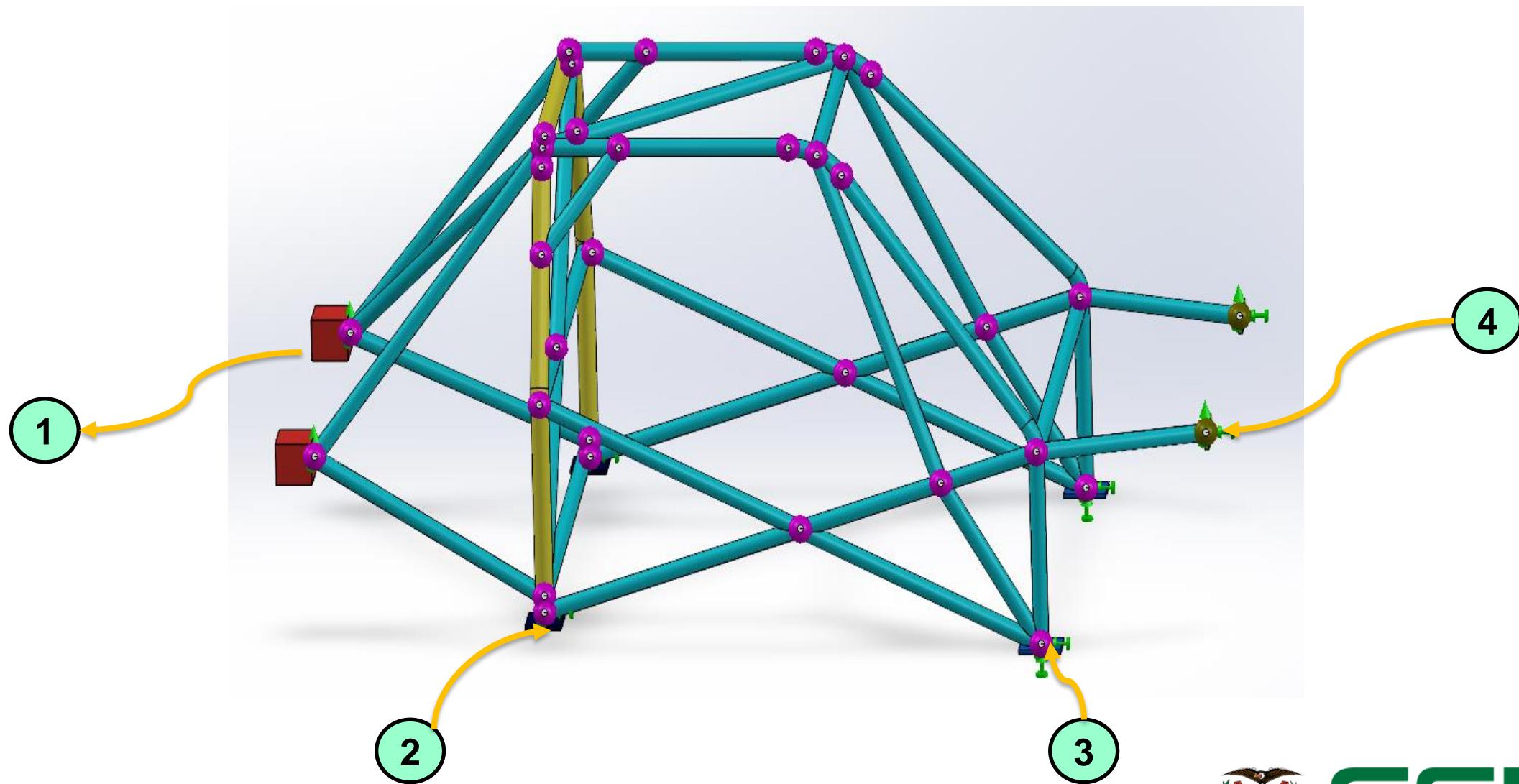
- **Desplazamientos**

Se observa que al aplicar la fuerza del ensayo lateral existirá una deformación de **15.877 mm**, dicho valor se encuentra sin exceder el límite de **50 mm**.



ANÁLISIS FRONTAL

- Restricción total de la estructura

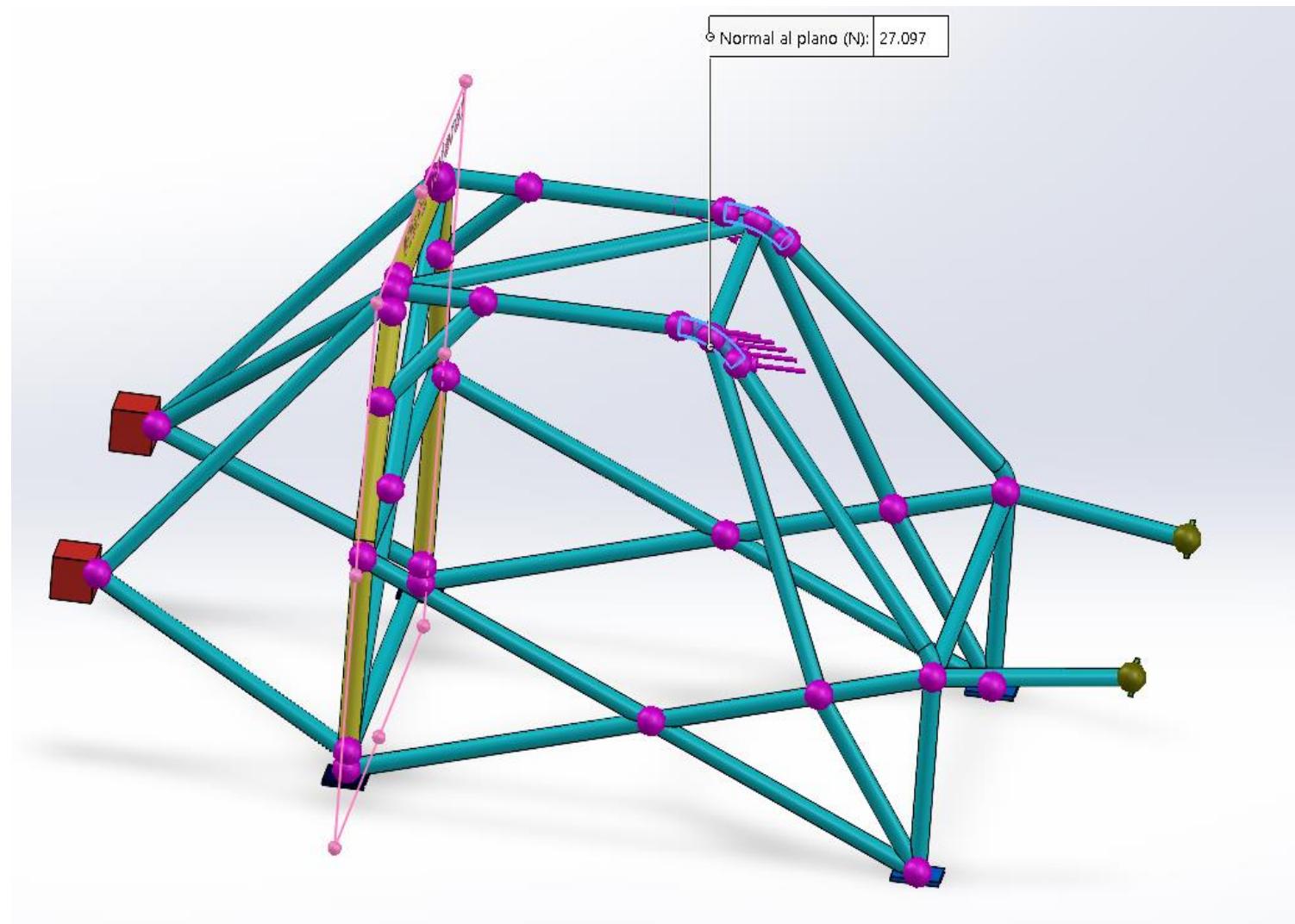


- **Aplicación de carga**

Carga análisis lateral = 3.5P

Carga análisis lateral = 3.5 (7742 N)

Carga análisis lateral = **27097 N**



- **Máximo esfuerzo**

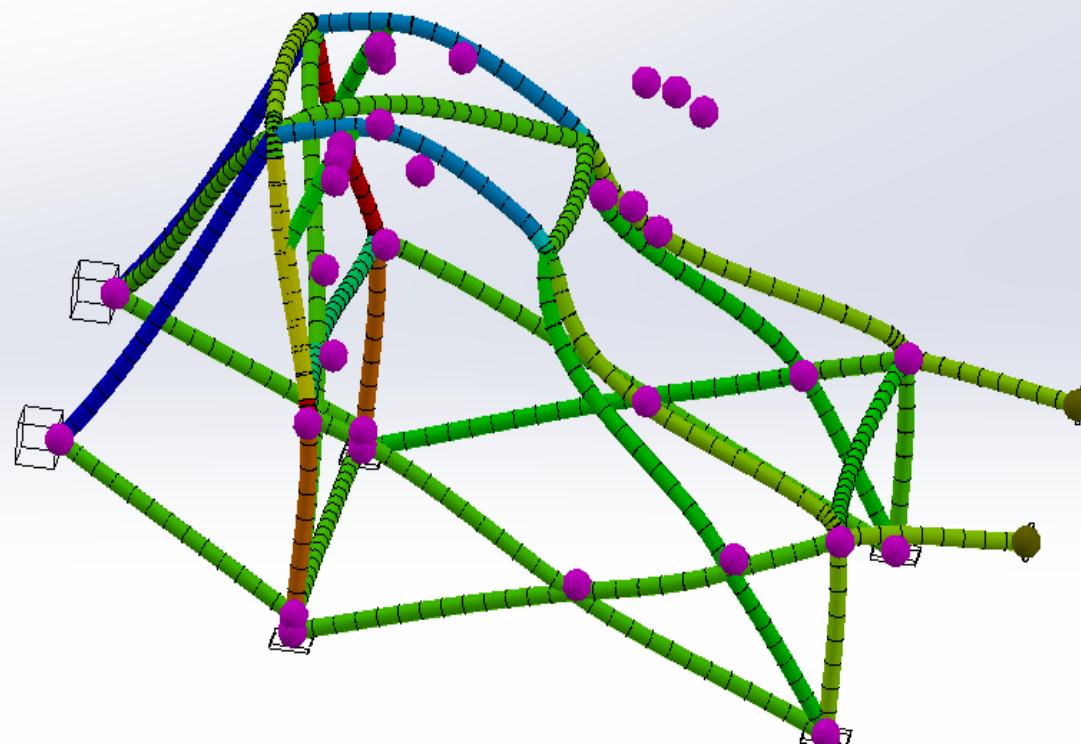
El esfuerzo máximo o permisible que va llegar a soportar la estructura frontalmente es de **155,447 MPa**, dicho valor no excede el límite de cedencia del material elegido dado que su valor es de **485 MPa**

Nombre del modelo: VIERNES BOCETO

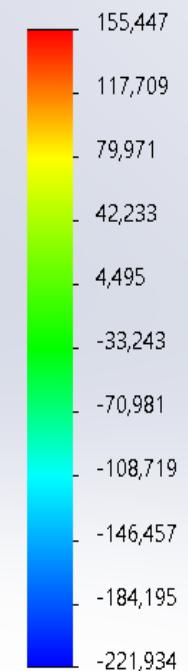
Nombre de estudio: Análisis Frontal(-Predeterminado<Como mecanizada>-)

Tipo de resultado: P/A de tensión axial Tensiones1

Escala de deformación: 65,7158

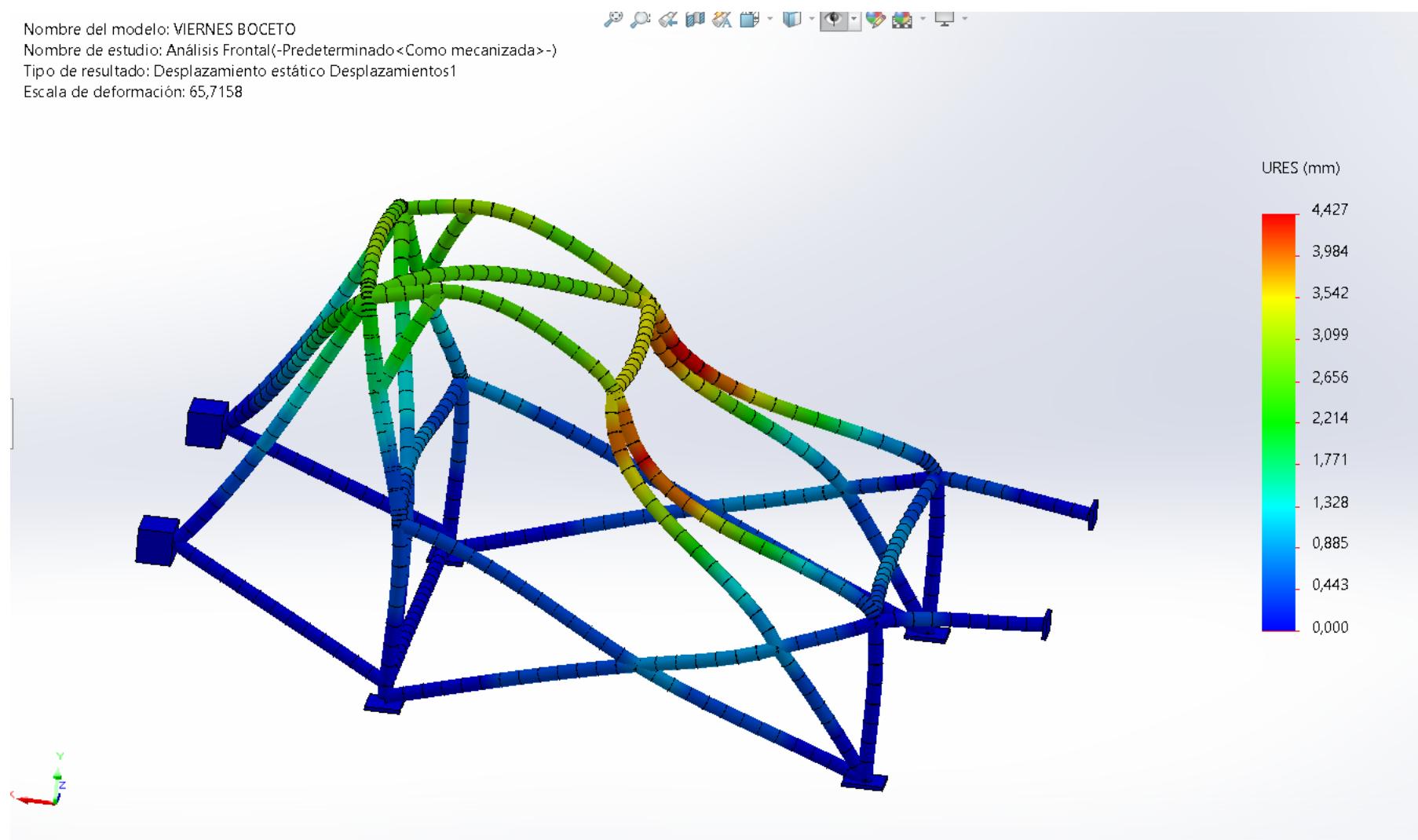


P/A axial (N/mm² (MPa))



- **Desplazamientos**

Al aplicar la fuerza del ensayo lateral existirá una deformación de **4,427 mm**, dicho valor no excede el límite de los **50 mm** que establece la reglamentación por ende el criterio de desplazamiento queda dentro de los parámetros y dando por válida la estructura.



CONSTRUCCIÓN

El arco principal:

- **1,75 pulgadas (45mm)** con un espesor de **0,095 in (2,5mm)**.

Los arcos laterales y de apoyo para la estructura:

- **1,5 in (38 mm)** con un espesor de **0,095 in (2,5 mm)** .

Fabricación

Para ejecutar de manera organizada la construcción de la estructura, esta consta de las siguientes fases:

- Fase I: Obtención del material y marcaje de material
- Fase II: Preparación y corte de material
- Fase III: Curvado De Perfil Tubular Y Soldadura
- Fase IV: Ensayos de soldadura.
- Fase V: Pintura



- **FASE I: OBTENCIÓN DEL MATERIAL Y MARCAJE DE MATERIAL**

Se adquirió un aproximado de 15 metros de perfil tubular ASTM A913.

- **1,5 in (38 mm)** con un espesor de **0,095 in (2,5 mm)** .

Se adquirió un aproximado de 5 metros de perfil tubular ASTM A913.

- **1,75 pulgadas (45mm)** con un espesor de **0,095 in (2,5mm)**.



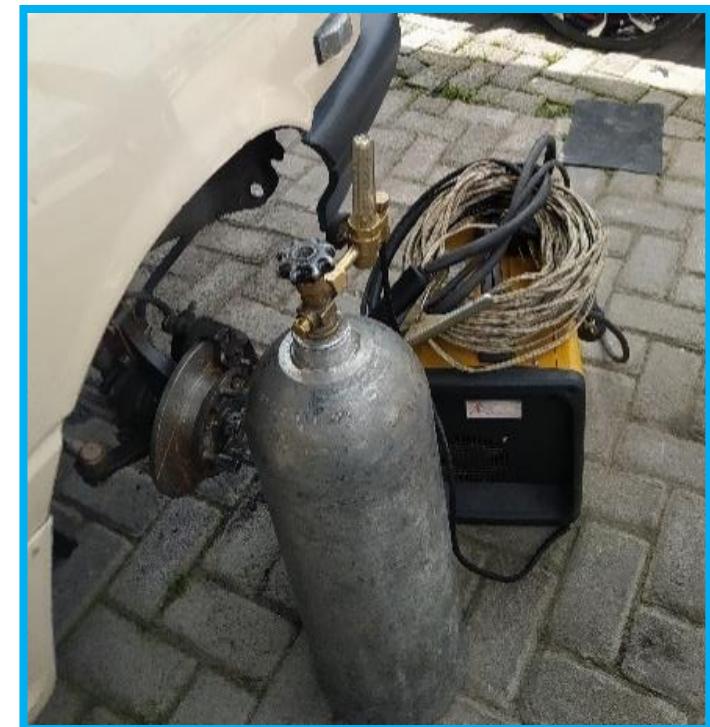
FASE II PREPARACIÓN Y CORTE DEL MATERIAL

Para el corte del material se realiza una inspección previa al material de modo que se asegure que este no presente golpes, hendiduras o roturas en su totalidad.



Fase III CURVADO DE PERFIL TUBULAR Y SOLADADURA

- El arco principal de la estructura no puede ir soldado
- Proceso de doblado en frío.





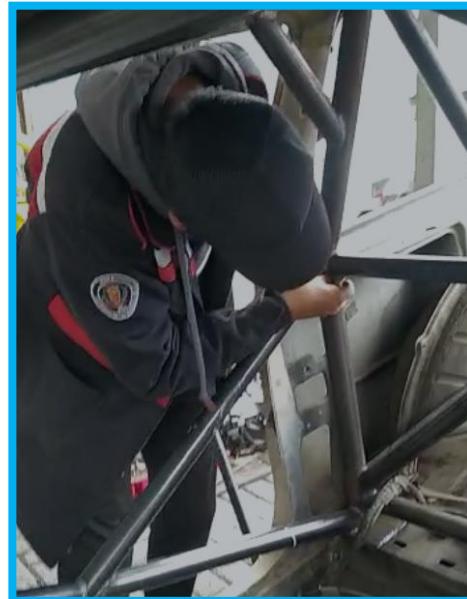
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

FASE IV ENSAYOS DE SOLDADURA

Limpieza



Liquido penetrante



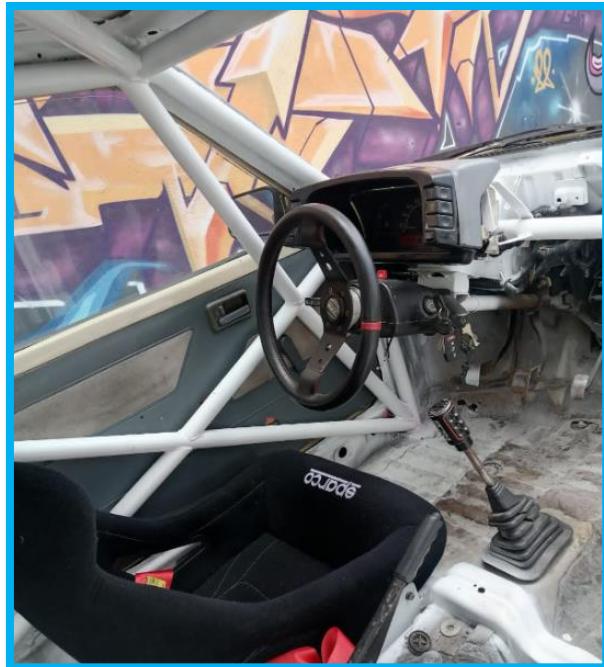
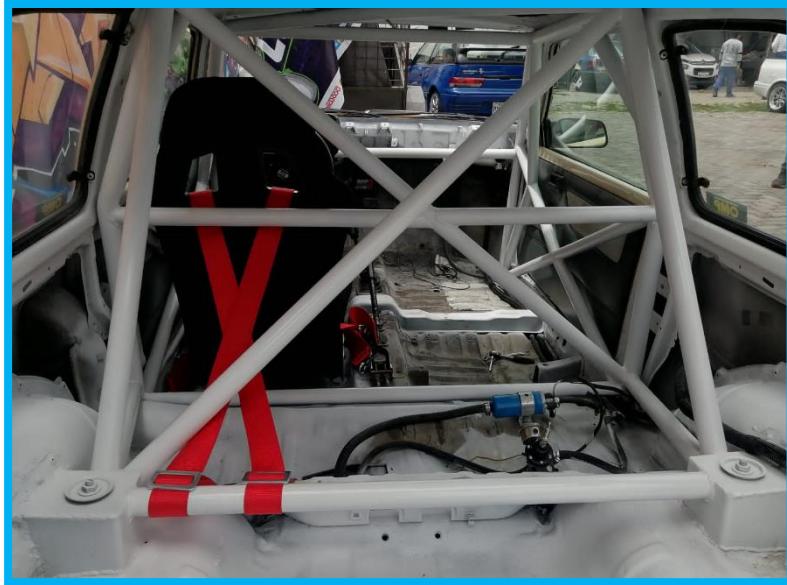
Revelador



Fase V PINTURA



Resultados obtenidos



CONCLUSIONES

- El diseño cumplió con el criterio de desplazamiento establecidos por la Real Federación Española de Automovilismo R.F.E.d.A debido a que se comprobó que el diseño propuesto cumple ya que en su deformación total no supero los 50 mm establecidos por la reglamentación en ningún ensayo.
- El diseño cumplió con el criterio de tensiones establecidos por la la Real Federación Española de Automovilismo R.F.E.d.A debido a que se comprobó que el diseño propuesto cumple ya que al aplicar las cargas esta no superó los 485 Mpa que tiene el material ASTM 913 por lo que la estructura brinda seguridad y confiabilidad al piloto.
- La utilización del software Solid Works para realizar el diseño de la geometría del chasis tubular fue de gran ayuda para realizar la estructura de seguridad, debido a que se obtuvo resultados fiables de las posibles zonas más vulnerables en las que la estructura puede llegar a romperse o en su defecto tener mayor desplazamiento dependiendo en ensayo aplicado.



- La realización del ensayo no destructivo de líquidos penetrantes a la estructura de seguridad permitió comprobar un estado óptimo de soldadura en las uniones, mismas que se determinó al no presentarse fisuras ni porosidades que lleguen a comprometer la seguridad del piloto, por tanto, se determinó que el proceso de construcción se realizó de manera satisfactoria.
- El diseño y la implementación del chasis tubular fue de manera exitosa y está reflejada en los diferentes análisis estáticos obtenidos y la aplicación del ensayo no destructivo de líquidos penetrantes. Por lo que por la estructura de seguridad podrá ser homologada por la Real Federación Española de Automovilismo R.F.E.d.A



RECOMENDACIONES

- En el momento del proceso de soldadura es de vital importancia la utilizar el equipamiento de seguridad debido a que existe un gran riesgo de producir un accidente laboral.
- Realizar un estudio más complejo en la parte dinámica de la estructura a fin de determinar los impactos que puede llegar a tener el vehículo en el momento del desarrollo de la competición
- Analizar la implementación refuerzos adicionales en la parte lateral la estructura de seguridad con el fin de disminuir el desplazamiento en el ensayo lateral para optimizar el diseño y llegar a obtener un mayor nivel de protección asegurando así la seguridad al piloto.

