



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE

Alumno: José Tejada Castillo

Tutor: Prof. D. Patricio Lupiañez Cruz

Depto.: Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

Febrero, 2019

RESUMEN

Este trabajo fin de grado consiste en un estudio teórico, en el cual se lleva a cabo el diseño, desde cero, de un chasis tubular de acero para Fórmula SAE.

Para el diseño del chasis debemos tener en cuenta que en el reglamento se recogen unos determinados requisitos geométricos que se han de cumplir a la hora de llevarlo a cabo, además de una serie de pruebas de esfuerzo que se han de superar para garantizar que es seguro.

Para comenzar con el proyecto es importante asentar una base, para lo cual necesitamos un chasis prototipo a partir del cual podamos trabajar y evolucionar, lo que nos va a permitir que una vez cumplamos con los requisitos geométricos impuestos por reglamento solo tengamos que preocuparnos por llevar a cabo mejoras al chasis base para obtener resultados favorables en las pruebas de esfuerzo.

Las evoluciones se pueden dar como cambios en la geometría del chasis o cambios en las secciones de los tubos empleados, las cuales tienen unas secciones y espesores mínimos que cumplir por reglamento, los cuales nos servirán de punto de partida para empezar a trabajar.

El objetivo que se tendrá como meta a la hora de obtener el chasis es que la masa de este no supere los 40 kg, por tanto, habrá que conseguir ese equilibrio que nos permita obtener buenos resultados en los ensayos, pero sin sobredimensionar en exceso la sección de tubo penalizando así la masa del chasis.

Para realizar el diseño y cálculo de elementos finitos por ordenador el software CAD y CAE utilizado ha sido Solid Edge, debido a la gran compatibilidad que da la plataforma para realizar ambas tareas en el mismo entorno, evitando así problemas, incompatibilidades y/o errores a la hora de exportar e importar archivos.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. INTRODUCCIÓN A LA COMPETICIÓN FÓRMULA SAE	5
1.2. HISTORIA DE LA FÓRMULA SAE	5
2. CHASIS	7
2.1. DEFINICIÓN DE CHASIS	7
2.2. TIPOS DE CHASIS	7
2.2.1. Vehículos comerciales	7
2.2.2. Vehículos de competición	8
3. NORMATIVA SOBRE CHASIS EN FÓRMULA SAE	10
3.1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	10
3.2. REQUISITOS DE MATERIAL	11
3.3. ARCO PRINCIPAL	12
3.4. ARCO FRONTAL	12
3.5. REFUERZOS ARCO PRINCIPAL Y FRONTAL	12
3.6. ESTRUCTURA DE PROTECCIÓN FRONTAL	13
3.7. ESTRUCTURA DE PROTECCIÓN LATERAL	14
3.8. POSICIÓN DEL CASCO	14
3.9. DESCRIPCIÓN Y POSICIONAMIENTO DEL MODELO 2D DEL PILOTO	15
4. DISEÑO DEL MODELO 3D	16
4.1. DISEÑO DE LA GEOMETRÍA BASE DEL MODELO PROTOTIPO	16
4.2. FUERZAS Y TENSIONES EN EL CHASIS.	17
4.3. VARIABLES DETERMINANTES EN LA SECCIÓN DE TUBO	19
5. MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (MEF)	22
5.1. ELEMENTO VIGA	23
5.2. ELEMENTO TETRAÉDRICO	24
5.3. FLEXIÓN SIMPLE. TETRAEDRO DE DIEZ NODOS Y ELEMENTO VIGA.	25
6. EVOLUCIÓN DEL CHASIS	29
6.1. CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA DE IMPACTO FRONTAL.	29
6.2. CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DELANTERA	29
6.3. CAMBIOS EN EL ARCO FRONTAL	30
6.4. CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL ARCO PRINCIPAL	30
7. ANÁLISIS DEL MODELO 3D	32
7.1. ARCO PRINCIPAL	33
7.2. ARCO FRONTAL	33
7.3. ESTRUCTURA DE IMPACTO FRONTAL	34
7.4. ESTRUCTURA DE IMPACTO LATERAL	34
8. RESULTADOS	35
8.1. COMPARATIVA DE MODELOS	35
8.2. COMPARACIÓN DE SECCIONES DE TUBO	36
8.3. CHASIS FINAL	37
8.3.1. Análisis SES para sección de tubos	38

9.	RECOPIACIÓN DE SIMULACIONES CON FEM.....	44
9.1.	SIMULACIONES CAPÍTULO 8.2.....	44
9.1.1.	<i>Arco principal</i>	44
9.1.2.	<i>Arco frontal</i>	48
9.1.3.	<i>Estructura de impacto frontal</i>	52
9.1.4.	<i>Estructura de impacto lateral</i>	56
9.2.	SIMULACIONES CAPÍTULO 8.3.....	60
9.2.1.	<i>Arco principal</i>	60
9.2.2.	<i>Arco frontal</i>	61
9.2.3.	<i>Estructura de protección delantera</i>	62
9.2.4.	<i>Estructura de impacto lateral</i>	63
10.	MATERIALES Y METODO DE FABRICACIÓN DEL CHASIS.....	64
10.1.	MATERIALES EMPLEADOS	64
10.2.	CORTE Y UTILLAJE	67
11.	CONCLUSIONES	71
12.	BIBLIOGRAFÍA	72
12.1.	PUBLICACIONES	72
12.2.	REFERENCIAS.....	72

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción a la competición Fórmula SAE

La competición Formula SAE es una competición para estudiantes de ingeniería, organizada por SAE International, en la cual los estudiantes de diversas universidades de EE.UU. diseñan un automóvil de competición tipo fórmula, aunque la competición no es exclusiva de este país. Por ejemplo, en Inglaterra podemos encontrar la Formula Student, en Australia toma lugar la Formula SAE-Australasia y en Alemania tenemos la Formula Student Germany, todas ellas basadas en el mismo reglamento.

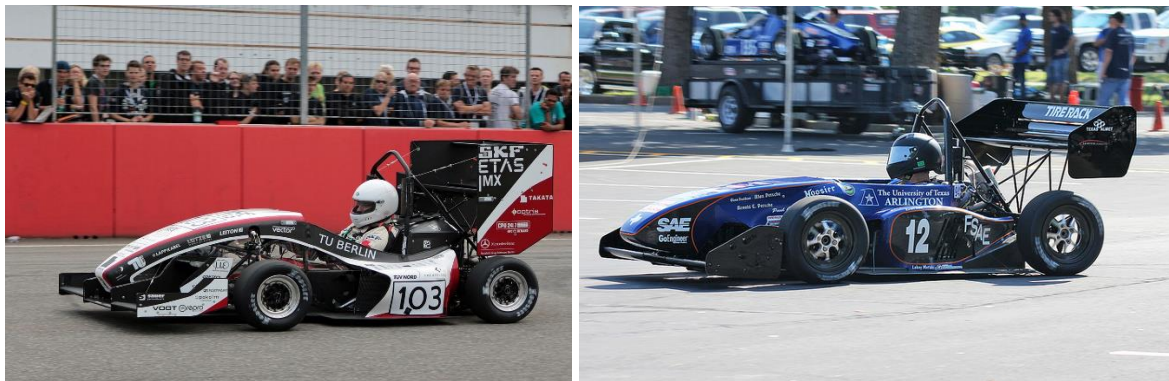


Figura 1.1. Fórmula SAE de TUB y de UTA

En estas competiciones el equipo, formado por estudiantes de ingeniería, sin la participación directa por parte de un equipo de ingenieros profesionales, ha de diseñar el vehículo por completo en base a un reglamento técnico, dado por la organización, que nos da las pautas a tener en cuenta a la hora del diseño o modificación de cada una de las partes del vehículo tales como chasis, motor, suspensiones, aerodinámica, elementos de seguridad, etc.

1.2. Historia de la Fórmula SAE

La Fórmula SAE nació en 1978, cuando Kurt Marshek, en la Universidad de Houston (Texas), contacto con el Departamento de Relaciones Educativas de SAE para hablar sobre una variante de Mini Baja, una competición de vehículos tipo buggy. Su idea era organizar una competición similar, pero esta vez con vehículos de carreras para asfalto. La idea tuvo buena acogida y comenzaron la planificación del evento de la, por entonces llamada, Mini-Indy SAE de 1979.

La competición se llevó a cabo en el campus de la Universidad de Houston y debido a que el potencial de los vehículos era desconocido, se decidió utilizar un motor de 5 HP para todos los competidores. Ese año trece universidades ingresaron, de las cuales solo once competieron; el ganador fue la Universidad de Texas en El Paso.

A pesar de la gran acogida, tras el evento de 1980, no había interesados en participar debido al gran volumen de trabajo que conlleva organizar un evento de este tipo.

Habiendo visto el potencial del evento, Mike Best, Robert Edwards y John Tellkamp, estudiantes en la Universidad de Texas en Austin, se acercó al Dr. Ron Matthews con la idea de una nueva competición, pero con algunos cambios. El objetivo era tener unas reglas más abiertas y dejar que fuese lo más ilimitado posible. Se deseaba que esta nueva competencia llevara los autos al siguiente nivel de ingeniería. La competición anterior fue excelente para el diseño del chasis, pero muchos estudiantes también querían trabajar en motores.

Las nuevas reglas mantendrían las restricciones del motor al mínimo. Se permitió cualquier motor de cuatro tiempos durante los primeros cuatro años (1981 a 1984), con una potencia limitada por una restricción en la admisión de 25,4 mm. Con el apoyo básico de sus alumnos, Ron Matthews contactó al Departamento de Relaciones Educativas de SAE y puso el proyecto en marcha. Para diferenciar este nuevo evento de la anterior Mini-Indy SAE, se buscó un nuevo nombre. Para reflejar mejor la naturaleza del evento, por sus carreras en asfalto y su mayor contenido de ingeniería, se adoptó el nombre de Formula SAE [X].



Figura 1.2. Vehículos de la universidad de UTA de 1981/82 (Mini Baja) y 1983 (Fórmula)

En cuanto al tipo de vehículo, durante los dos primeros años (1981 y 1982) se permitió la participación de coches tipo Mini Baja cars. Pero en 1983, los organizadores no lo permitieron. Las reglas decían que era obligatorio el uso de un vehículo tipo formula.

2. CHASIS

2.1. Definición de chasis

El chasis del vehículo es la estructura o conjunto armazón que tiene y el soporte de los grupos funcionales y de la carga a transporta.

Forma parte de la masa suspendida y sirve de conexión con la masa no suspendida, constituida por la suspensión (en parte), ejes y ruedas. En vehículos con suspensión independiente, enlaza las ruedas sustituyendo a la viga en el eje.

Al igual que el resto de la estructura del vehículo, los primeros bastidores fueron copiados de los empleados en los carruajes de la época. Este primer tipo de bastidor estaba basado en dos largueros longitudinales, enlazados entre sí mediante travesaños. Se mantuvo, para todos los vehículos, hasta los años mil novecientos cuarenta que empezaron a evolucionar según el tipo de vehículo.

2.2. Tipos de chasis

2.2.1. Vehículos comerciales

Atendiendo a cómo intervienen las piezas básicas del chasis en la carrocería, nos encontramos ante dos técnicas a la hora de construir el vehículo:

- Chasis de carrocería integral: en esta técnica de construcción del vehículo el chasis es independiente de la carrocería. La parte inferior está formada por un conjunto de perfiles; longitudinales y transversales, que constituyen básicamente el chasis, al cual se une posteriormente la carrocería. En esta técnica, la carrocería, cumple muy poca o ninguna función estructural.
- Chasis con carrocería autoportante: cuando la estructura de la carrocería forma parte esencial del chasis, como marcos, techo, suelo, etc. Puesto que en esta técnica no hay una separación entre chasis y carrocería, es conjunto de ambos el que soporta la carga estructural del vehículo.

Gracias a la evolución de la informática, que ha permitido que el cálculo de una carrocería autoportante ya no sea un obstáculo, hoy en día este tipo de carrocería es usado en los turismos debido a la gran versatilidad para hacerle reformas, lo que resulta en una gran cantidad de variantes y versiones de un mismo modelo, que prácticamente satisface cualquier exigencia.



Figura 2.1. Chasis integral de un camión y chasis autoportante de un turismo. De izq. a dcha.

En camiones, se mantiene la configuración de dos largueros y travesaños, fundamentalmente en medios y pesados.

En autobuses, la carrocería suele ser de tipo integral como en camiones, con un chasis cuya estructura está adaptada a la necesidad de espacio para el equipaje.



Figura 2.2. Chasis integral de un autobús articulado.

2.2.2. Vehículos de competición

En vehículos de competición existen dos tipos de chasis que son: chasis tubular y chasis monocasco.

- Chasis tubular: esta técnica consiste en la utilización de tubos metálicos soldados para formar una estructura, que da forma al vehículo, y sobre la cual se coloca los diferentes elementos aerodinámicos y paneles que recubren el chasis.
- Chasis monocasco: este tipo de chasis consiste en una sola pieza, fabricada con un material compuesto, como puede ser la fibra de carbono. Este tipo de chasis es el que,

si el presupuesto y las normas lo permiten, más se utiliza en competición, debido a que aporta mayor rigidez y menor peso frente a un chasis tubular.



Figura 2.3. Chasis tubular de un Formula Ford anterior a 2015.



Figura 2.4. Chasis monocasco del McLaren MP4/1.

3. NORMATIVA SOBRE CHASIS EN FÓRMULA SAE

3.1. Definición de términos

El chasis de un coche de Fórmula SAE está formado por una serie de elementos principales, los cuales unidos por medio de una serie de tubos secundarios, constituyen el conjunto de la estructura tubular.

Los elementos principales son:

- Main Hoop o Arco Principal, es la barra antivuelco ubicada en el plano del torso del piloto, o justo detrás de éste.
- Front Hoop o Arco Frontal, es la barra antivuelco ubicada sobre las piernas del piloto, próxima al volante.
- Roll Hoops o Barras Antivuelco. El arco frontal y principal son considerados como tal.
- Roll Hoops Bracing o Refuerzos Principales de Barras Antivuelco, que son los tubos de apoyo principales a la hora de sujetar y dar soporte al Arco Principal y el Arco Frontal.
- Roll Hoops Bracing Supports o Soportes de Refuerzos Principales, son los tubos que conforman el conjunto de tubos secundarios que da soporte a elementos principales y sus respectivos refuerzos.
- Front Bulkhead o Protección Frontal, es una lámina de acero que se sitúa en la parte más delantera del vehículo cuya función es proteger los pies del piloto.
- Front Bulkhead Support System, es la estructura de tubos delantera que soporta la lámina de acero que hace de Protección Frontal.
- Side Impact Structure o Estructura de Protección Lateral, es la protección lateral del vehículo. Esta estructura va situada en una zona que se extiende desde el suelo hasta 300 - 350 mm por encima del mismo, entre el Arco Frontal y el Arco Principal.
- Triangulación nodo a nodo, es una disposición de los tubos, que forman el chasis, en la cual quedan proyectados sobre un plano de manera que las cargas son coplanares, dando como resultado únicamente fuerzas de tracción o compresión.

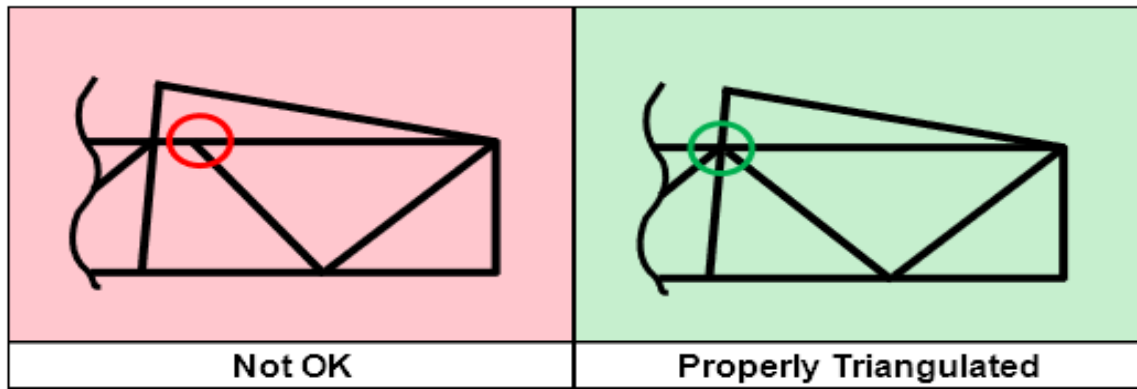


Figura 3.1. Triangulación nodo a nodo incorrecta frente a una triangulación correcta.

3.2. Requisitos de material

El material a emplear será por defecto acero, dulce o aleado (mínimo 0.1% de carbono), con las dimensiones especificadas en la siguiente tabla:

Tabla 1. Dimensiones para sección de tubo.

Aplicación	Diámetro exterior x espesor (mm)
Arcos Principal y Frontal Barra de anclaje para arnés de seguridad	25.4 x 2.4 – Sección circular 25 x 2.5 – Sección circular Sección alternativa con espesor de 2.0 mm
Estructuras para Protección Frontal y Protección Lateral Refuerzos principales de barras antivuelco Refuerzo para barra de anclaje para arnés de seguridad	25.4 x 1.65 – Sección circular 25 x 1.75 – Sección circular 25.4 x 1.60 – Sección circular 25.4 x 25.4 x 1.20 – Sección cuadrada Sección alternativa con espesor de 1.2 mm
Resto de elementos de soporte para la Estructura de Protección Frontal, Arco Frontal y Principal	25.4 x 1.20 – Sección circular 25 x 1.50 – Sección circular 25.4 x 25.4 x 1.20 – Sección cuadrada Sección alternativa con espesor de 1.2 mm
Elemento curvo en Estructura de Impacto Lateral	35 x 1.20 – Sección circular

Aparte las secciones de la tabla 1, el reglamento permite el uso de las secciones alternativas, de espesor especificado, siempre y cuando se cumplan los siguientes requisitos:

- No se permiten espesores inferiores a los mínimos expuestos en la tabla, a pesar de usarse acero aleado.
- Se debe mantener EI constante, lo que obliga a aumentar el diámetro exterior.
- Se debe mantener equivalente el límite elástico y la tensión última, lo que obliga a mantener la misma sección transversal que tendríamos con las dimensiones por defecto.

3.3. Arco Principal

El uso de aleaciones, tanto de aluminio como de titanio, o materiales compuestos para el Arco Principal está prohibido.

El arco principal debe de extenderse, de forma ininterrumpida, desde un lado, en la parte inferior de la estructura, hasta el otro.

En vista lateral, la parte del arco principal que queda por encima de la unión con el último elemento de la estructura de impacto lateral debe estar como máximo a 10° de desviación con la vertical. La parte que queda por debajo de esta unión podrá desviarse cualquier ángulo hacia adelante, pero no podrá superar los 10° con la vertical si se inclina hacia atrás.

La distancia mínima, en la horizontal, entre los dos puntos del arco principal que unen con los elementos de la parte inferior del chasis debe ser de 380 mm.

3.4. Arco Frontal

El arco principal, debe extenderse de un lado a otro de la estructura. Con el uso de una apropiada triangulación, se permite fabricar el arco frontal en más de un tramo de tubo.

El punto más alto quedara siempre por encima del volante, bajo cualquier condición.

La distancia mínima, medida horizontalmente, entre arco frontal y la superficie más cercana del volante debe ser de 25 mm.

La inclinación máxima permitida es de 20°.

3.5. Refuerzos Arco Principal y Frontal

El arco principal debe estar reforzado por dos elementos, que pueden ir extendidos hacia adelante o hacia atrás, quedando uno a cada lado del arco. Deben ser elementos rectos.

En caso de que el arco principal esté inclinado hacia la parte delantera del coche los elementos de refuerzo deberán ir colocados en la parte delantera, y viceversa.

Los refuerzos deben unir lo más arriba posible con el arco principal, pudiendo dejar como máximo una distancia de 160 mm, en el eje vertical, entre el punto de unión y la superficie superior del arco principal. El ángulo formado por los refuerzos y el arco principal será de 30 grados como mínimo.

En la parte inferior, cada refuerzo, deberá ir unido nuevamente al arco principal por mínimo dos elementos, lo que permitirá conseguir una correcta configuración triangulada. Uno de estos elementos deberá unirse al mismo nodo que el miembro superior de la estructura de protección lateral y otro con el nodo donde une el miembro inferior de esta misma estructura.

El arco frontal debe estar reforzado por, mínimo, dos elementos colocados por la parte delantera, uno a cada lado del arco frontal. Deberán ser elementos rectos.

Estos refuerzos deben construirse de forma que protejan las piernas del piloto, por lo que deben extenderse hasta la estructura que queda por delante de los pies del piloto.

La unión con el arco frontal debe quedar lo más arriba posible, como máximo a 50,8 mm por debajo de la superficie superior del arco frontal.

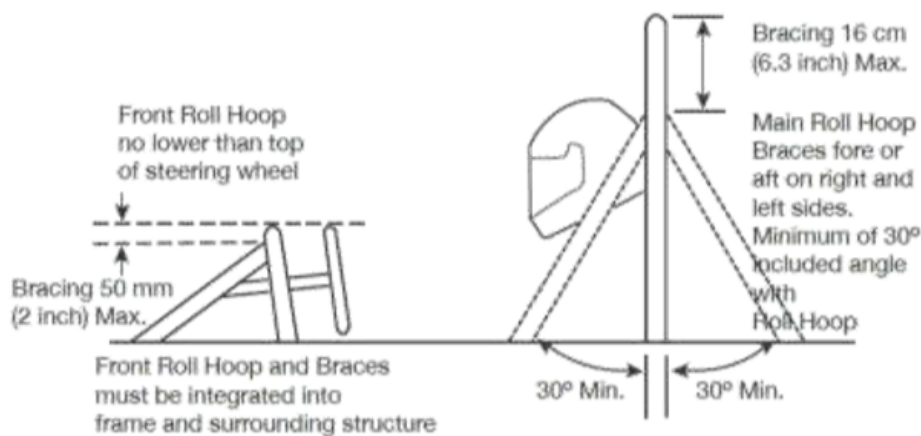


Figura 3.2. Resumen de geometrías para refuerzos en arco principal y frontal.

3.6. Estructura de Protección Frontal

Esta estructura deberá ir reforzada por un mínimo de tres elementos en cada lado del vehículo, asegurando que se cumple una correcta triangulación para conseguir transferir de forma adecuada las cargas hacia el arco frontal, por medio de estos refuerzos, y a su vez al arco principal por medio de la estructura de protección lateral.

3.7. Estructura de Protección Lateral

Esta estructura estará formada por un mínimo de tres elementos localizados en el chasis tal y como muestra la siguiente figura:

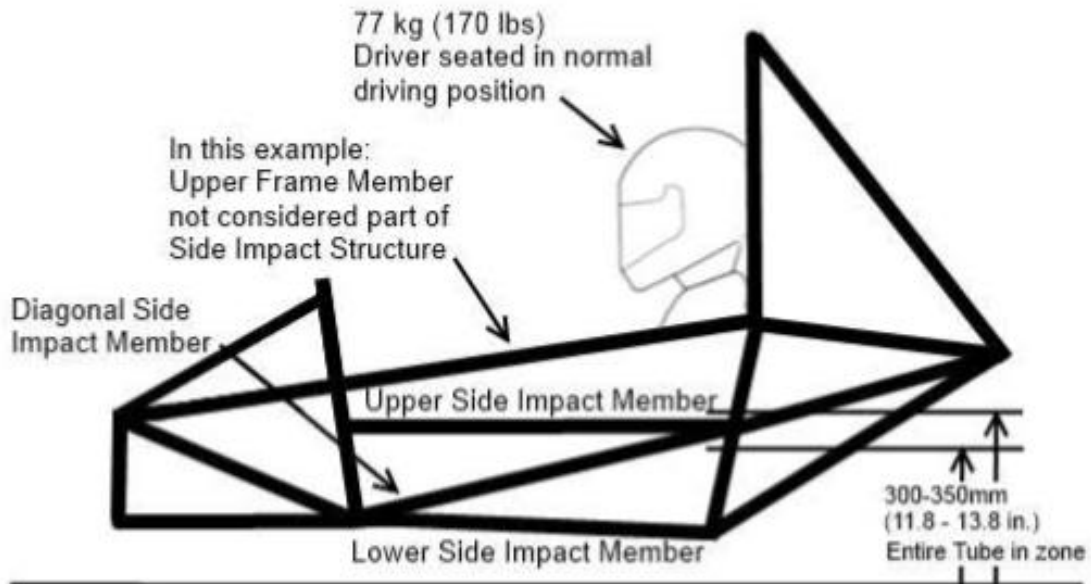


Figura 3.3. Representación de Estructura de Protección Lateral.

3.8. Posición del casco

La cabeza y las manos del piloto no deben tocar el suelo, bajo ningún concepto, en caso de vuelco del vehículo. Para asegurar esto, la normativa obliga a cumplir, para un piloto dentro del percentil 95, los siguientes requisitos:

- Debe haber un mínimo de 50.8 mm entre el casco y la línea que une los puntos más altos de los arcos principal y frontal.
- Debe haber un mínimo de 50.8 mm entre el casco y la línea que une el punto más alto del arco principal y el punto inferior del refuerzo del arco principal.
- Si los refuerzos del arco principal están diseñados hacia la parte frontal el casco no debe pasar el plano formado por el arco principal.

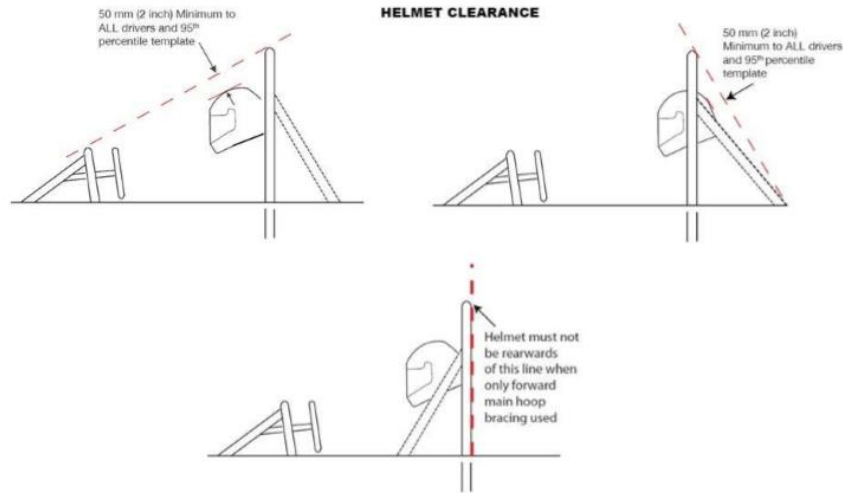


Figura 3.4. Representación gráfica de la posición del casco frente a los arcos frontal y principal.

3.9. Descripción y posicionamiento del modelo 2D del piloto

El piloto vendrá representado con las siguientes geometrías y dimensiones:

- Una circunferencia de 200 mm representará los glúteos y cadera.
- Una circunferencia de 200 mm representará la zona cervical y hombros.
- Una circunferencia de 300 mm representará la cabeza con casco.
- Una línea recta de 490 mm uniendo el centro de las dos circunferencias de 200 mm.
- Una línea recta de 280 mm unirá el centro de las circunferencias que representan la cabeza y los hombros.

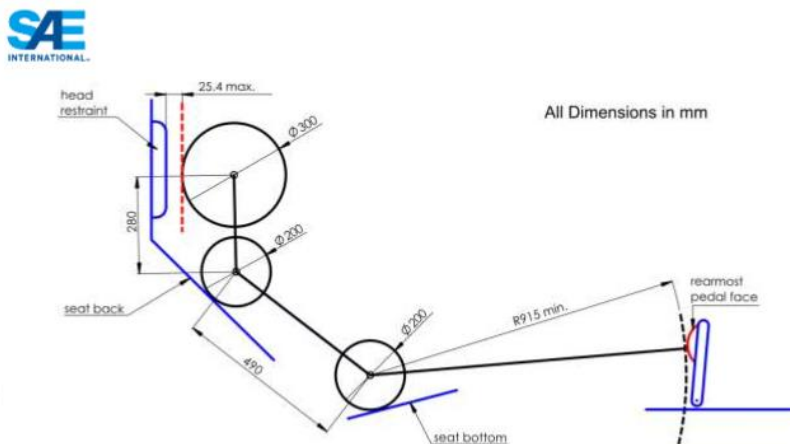


Figura 3.5. Representación gráfica 2D del piloto.

4. DISEÑO DEL MODELO 3D

Es imprescindible tener en cuenta que existen diferentes criterios o pautas a seguir, como geometría, propiedades mecánicas, a la hora de realizar el diseño de un chasis.

Estos criterios no son independientes unos de otros, lo que lleva a un proceso iterativo, donde primero se realiza un chasis prototipo, en el cual solo tendremos en cuenta los requisitos geométricos que impone la normativa, y que se han explicado en el apartado tres. Este chasis nos permitirá obtener unos resultados preliminares en los estudios por medio de elementos finitos que nos servirán de base, y a partir de los cuales realizaremos cambios en la geometría del chasis o en las secciones.

De esta forma conseguiremos un chasis que tenga unos buenos resultados en los análisis, y que pasen los requisitos mínimos que impone la normativa para estos estudios por medio de software CAE.

4.1. Diseño de la geometría base del modelo prototipo

El punto más importante a la hora de comenzar el diseño 3D del chasis es la creación de un boceto 2D que permita asegurarnos de que nuestro chasis va a cumplir con los requisitos exigidos por la normativa. Aparte, de las dimensiones dadas al chasis como puede ser batalla del vehículo o la altura al suelo.

De esta forma nos aseguramos que no olvidamos ningún punto a la hora del diseño del chasis que haga este no sea válido.

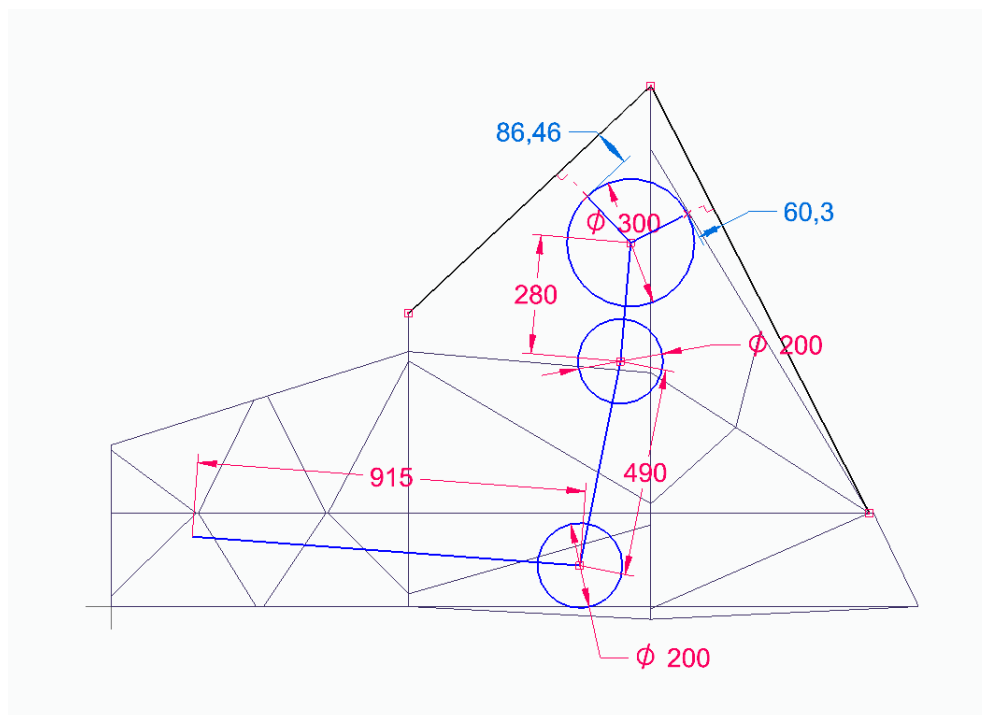


Figura 4.1. Boceto 2D

A partir de este punto solo queda definir el ancho del chasis, y llevarnos el boceto 2D al 3D, simplemente dándole a los puntos del 2D un valor para la coordenada transversal.

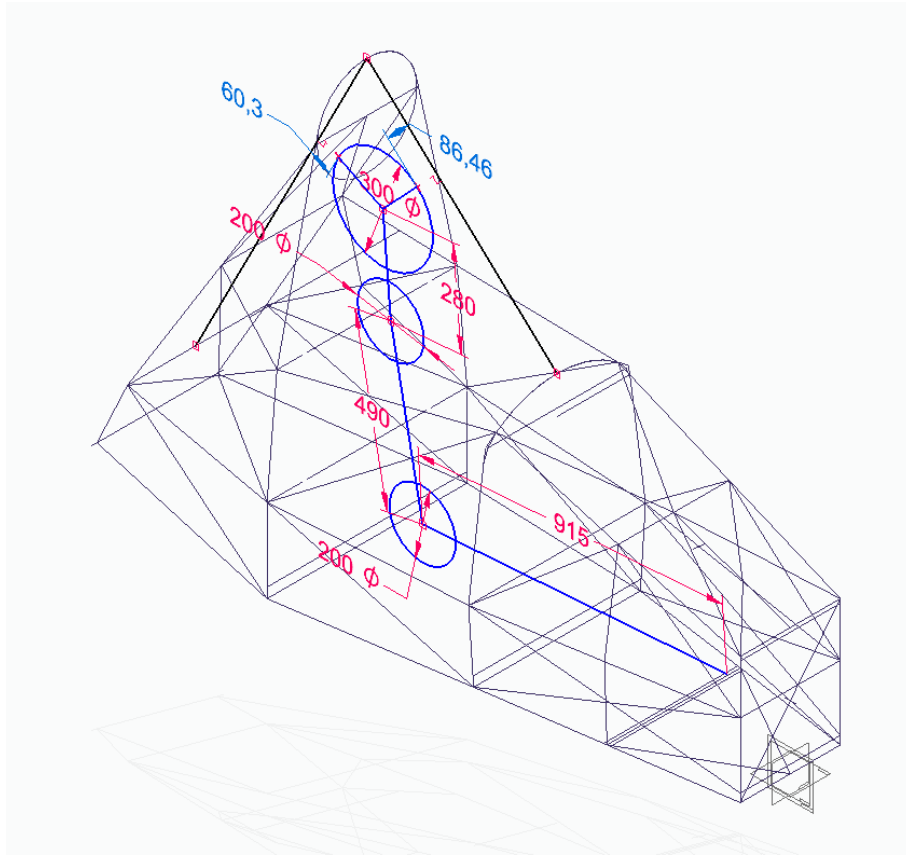


Figura 4.2. Boceto 3D

4.2. Fuerzas y tensiones en el chasis.

Para entender cómo evolucionarán los resultados frente a diferentes secciones de tubo vamos a suponer que nos vamos a encontrar esfuerzos de compresión, momentos flectores y esfuerzos perpendiculares a la sección provocados por el contacto tubo contra tubo, por tanto, vamos estudiar la formulación de Navier para las vigas que están sometidas a flexión compuesta y las ecuaciones de Lamè para los cilindros de pared gruesa sometidos a presión circunferencial.

La flexión compuesta se da cuando tenemos una sección sometida por un momento flector M de componentes M_y y M_z , según los ejes principales de inercia y un esfuerzo axial N_x .

La tensión, para flexión compuesta, queda definida por la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{N_x}{A} + \frac{M_y \cdot z}{I_y} + \frac{M_z \cdot y}{I_z} \quad (1)$$

De la ecuación (1) podemos deducir que para obtener menor valor de tensión debemos aumentar el área transversal, para reducir el efecto por esfuerzo axil, y el momento de inercia de la sección transversal, para reducir el efecto de los momentos flectores.

Como el chasis está compuesto de tubos de sección circular tendremos que la sección y el momento de inercia del área transversal quedan definidos por las ecuaciones (2) y (3).

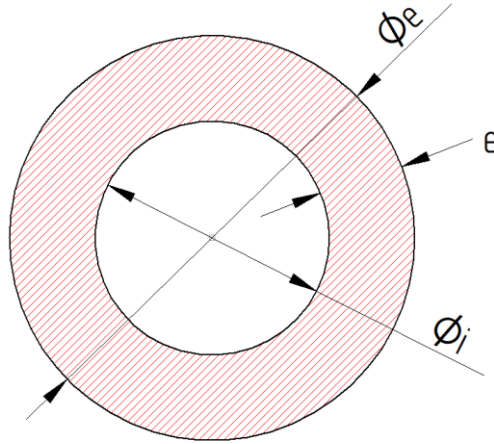


Figura 4.3. Sección transversal de tubo.

$$I_Y = I_Z = \frac{\pi (D_{EXT}^4 - D_{INT}^4)}{64} \quad (2)$$

$$A = \frac{\pi (D_{EXT}^2 - D_{INT}^2)}{4} \quad (3)$$

Las ecuaciones de Lamè para las tensiones tangenciales y radiales, causadas por presión circunferencial sobre un cilindro, son las siguientes:

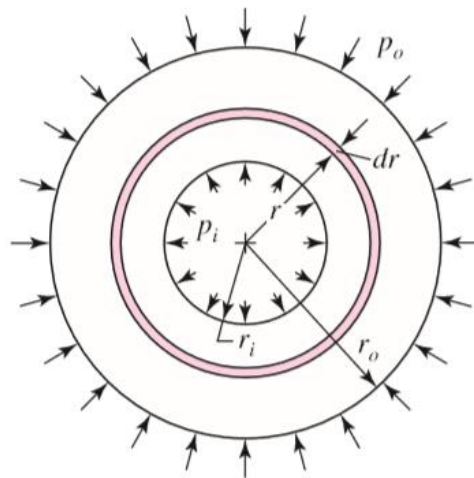


Figura 4.4. Representación de fuerzas aplicadas sobre un cilindro de pared gruesa.

$$\sigma_t = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2 - r_i^2 r_o^2 \frac{(p_o - p_i)}{r^2}}{r_o^2 - r_i^2} \quad (4)$$

$$\sigma_r = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2 + r_i^2 r_o^2 \frac{(p_o - p_i)}{r^2}}{r_o^2 - r_i^2} \quad (5)$$

Para simplificar el estudio vamos a suponer que nos encontramos dentro de las condiciones de cilindro de pared delgada, para el cual el esfuerzo radial resulta despreciable frente al esfuerzo tangencial, que queda definido por la ecuación (6).

$$\sigma_{t,max} = p \cdot \frac{(d_i + t)}{2t} = p \cdot \frac{(d_e - t)}{2t} \quad (6)$$

4.3. Variables determinantes en la sección de tubo

Una vez sabemos cuáles son las variables que afectarán a las tensiones en las secciones de tubo, podemos predecir de forma aproximada como serán los resultados obtenidos en los análisis por medio de elementos finitos, en función de que valores se tomen para las secciones de tubos empleados.

Por tanto, de las ecuaciones (1) y (6), tenemos que, para disminuir el valor de las tensiones debemos aumentar el área transversal A del tubo y aumentar el momento de área I, teniendo en cuenta cómo va a afectar al término de la tensión tangencial.

De modo que tendremos los siguientes casos a estudiar:

- a) Espesor del tubo $t = \text{cte.}$
- b) Diámetro exterior $D_e = \text{cte.}$

Tabla 2. Propiedades para secciones de tubo según el caso a.

De (mm)	Di (mm)	t (mm)	A (mm ²)	I (mm ⁴)	(di+t)/2t
25	21	2	144.5	9628	5.75
26.9	22.9	2	156.4	12203	6.23
28	24	2	163.3	13886	6.50
30	26	2	175.9	17329	7.00
32	28	2	188.5	21300	7.50
33.7	29.7	2	199.2	25118	7.93

Tabla 3. Propiedades para secciones de tubo según el caso b.

JOSÉ TEJADA CASTILLO
DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE

De (mm)	Di (mm)	t (mm)	A (mm ²)	I(mm ⁴)	(di+t)/2t
25	21	2	144.5	9628	5.75
25	20.4	2.3	164.0	10673	4.93
25	20	2.5	176.7	11321	4.50
25	19.2	2.9	201.3	12504	3.81
25	19	3	207.3	12778	3.67

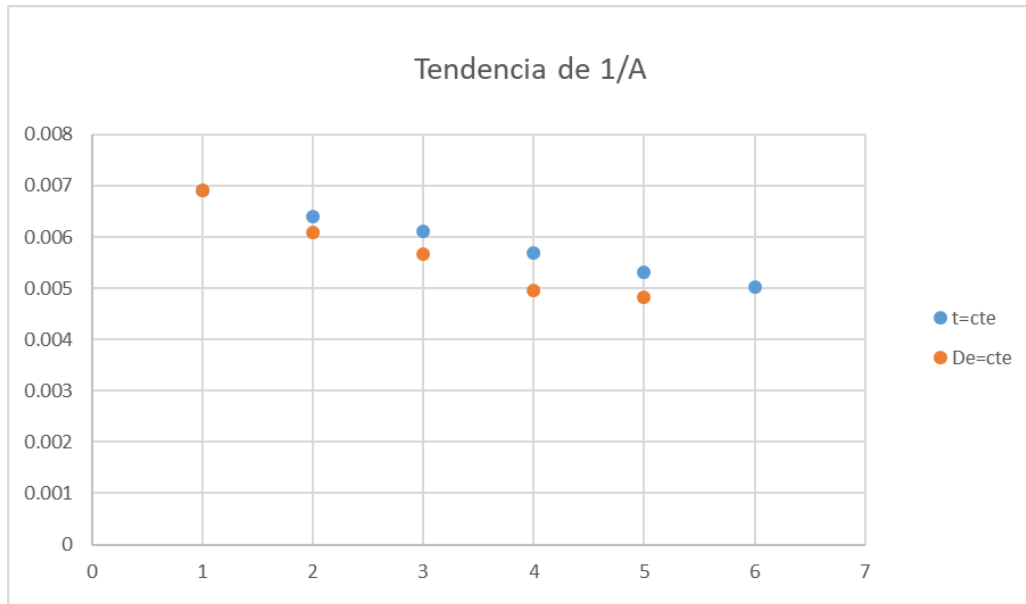


Figura 4.5. Comparación de $1/A$.

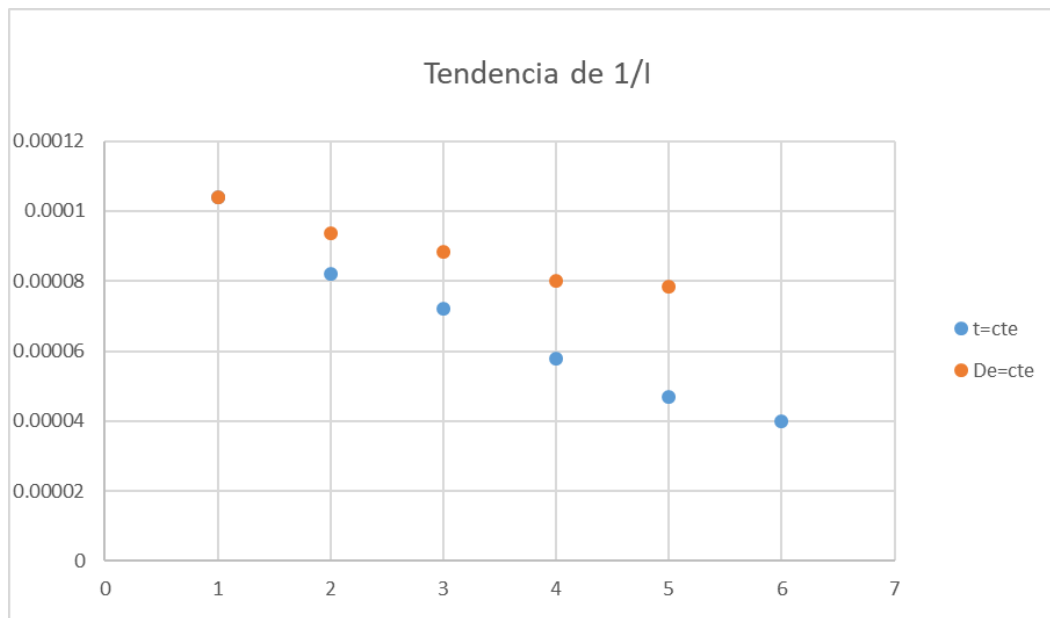


Figura 4.6. Comparación de $1/I$.

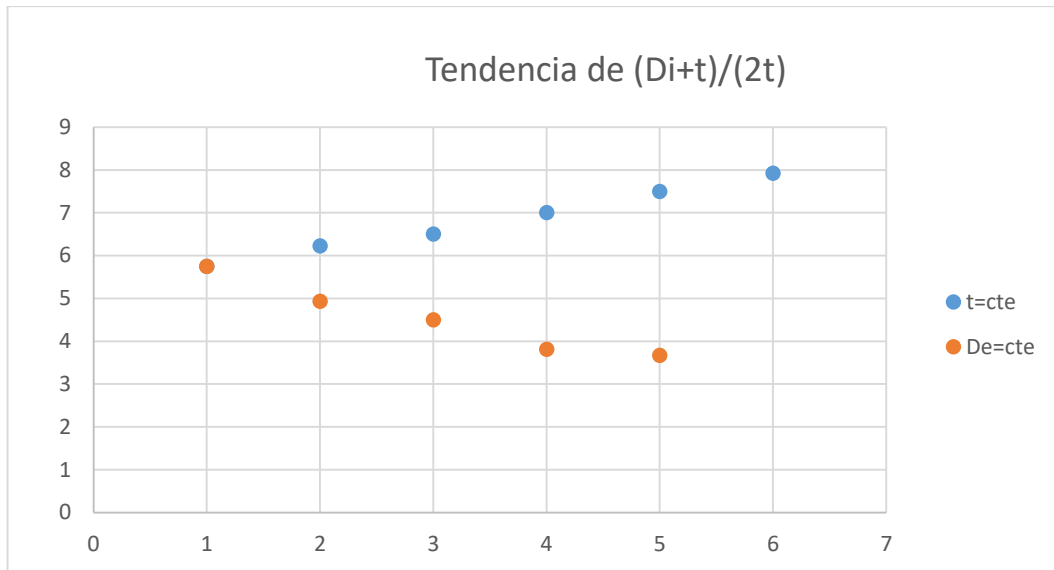


Figura 4.7. Comparación del termino de tensión tangencial para cilindro de pared delgada.

De los resultados de estas graficas podemos deducir que la tensión por flexión compuesta se reduce en ambos casos, siendo el caso “a” más favorable ante esfuerzos de axil, y el caso “b” para esfuerzos por momento flector.

Sin embargo, en la figura 4.6 podemos observar que, en el supuesto de encontrarnos con tensiones perpendiculares a la sección, como podrían ser tensiones por presión circunferencial será necesario aumentar el espesor de la pared del tubo.

Debido a que en los análisis sobre el chasis aparecen todos los tipos de esfuerzos, ya que habrá elementos que estén sometidos a flexión simple, otros a tensión compuesta y también tendremos elementos que provocarán esfuerzos perpendiculares a la sección, y por tanto sometidos a tensiones que podrían evaluarse como tensiones circunferenciales, habrá que determinar qué tipo de esfuerzo se corresponde con la tensión máxima antes de elegir como variar las secciones de los tubos.

5. Método de elementos finitos (MEF)

El método de elementos finitos consiste en dividir un problema complejo en un conjunto de problemas más simples. Este método puede ser aplicado tanto en problemas 2D, como en 3D.

El MEF, aplicado a un análisis de tensión-deformación de una pieza o un conjunto de piezas complejas, se resume en sustituir la pieza, o conjunto de estas, en un conjunto finito de elementos más pequeños conectados entre sí por puntos, denominados nodos, en los cuales se aplican unas ecuaciones matemáticas que rigen el comportamiento físico, de forma que conseguimos un resultado aproximado a la realidad. Por tanto, cuantas más divisiones se empleen en el proceso, más exacto será el resultado obtenido, y a su vez más costoso computacionalmente.

Dentro de los problemas en 1D se puede encontrar el elemento barra y el elemento viga, para problemas 2D el elemento plano; todos ellos pueden ser utilizados también en problemas 3D, tal y como veremos más adelante con el elemento viga.

En cuanto a los problemas 3D, los más comunes son el tetraedro de 4 nodos y el hexaedro de 8 nodos, aunque también existen el tetraedro de 10 nodos, el tetraedro de 12 nodos y el hexaedro de 20 nodos.

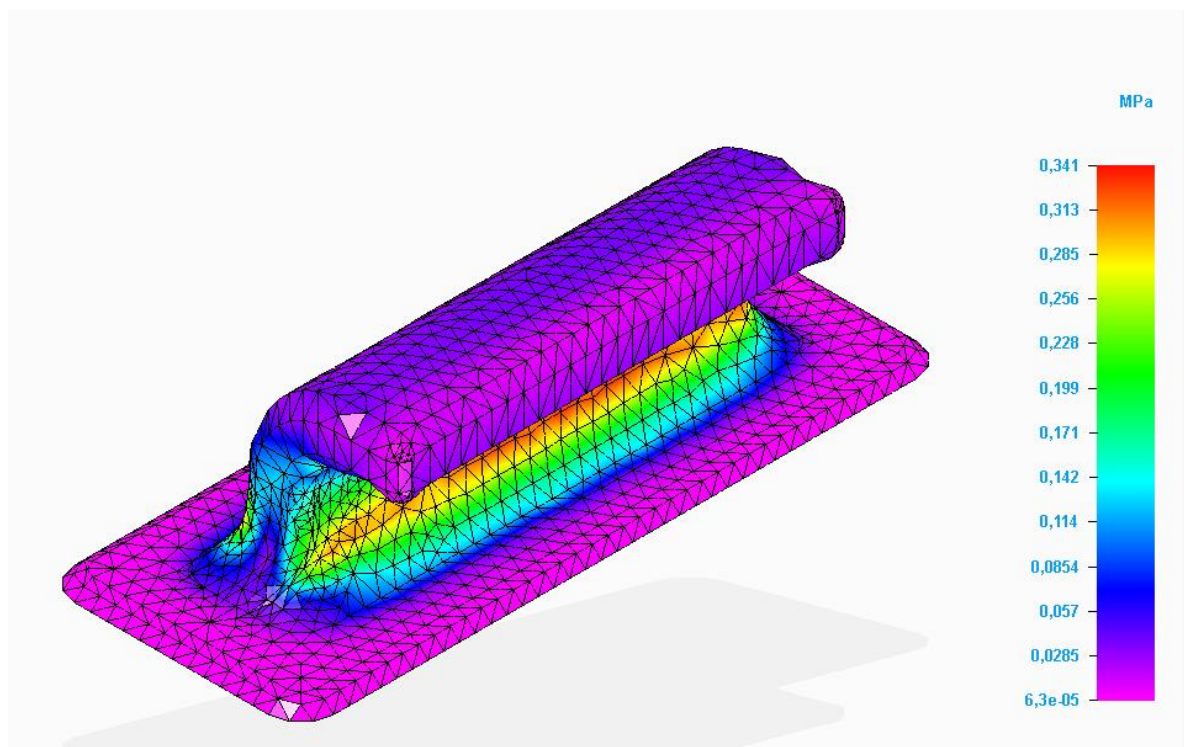


Figura 5.1. Ejemplo de análisis por medio de MEF.

5.1. Elemento Viga

Este elemento consiste en dividir un elemento, como puede ser un tubo del chasis, en elementos viga más pequeños, tal y como se muestra en la figura 5.2.

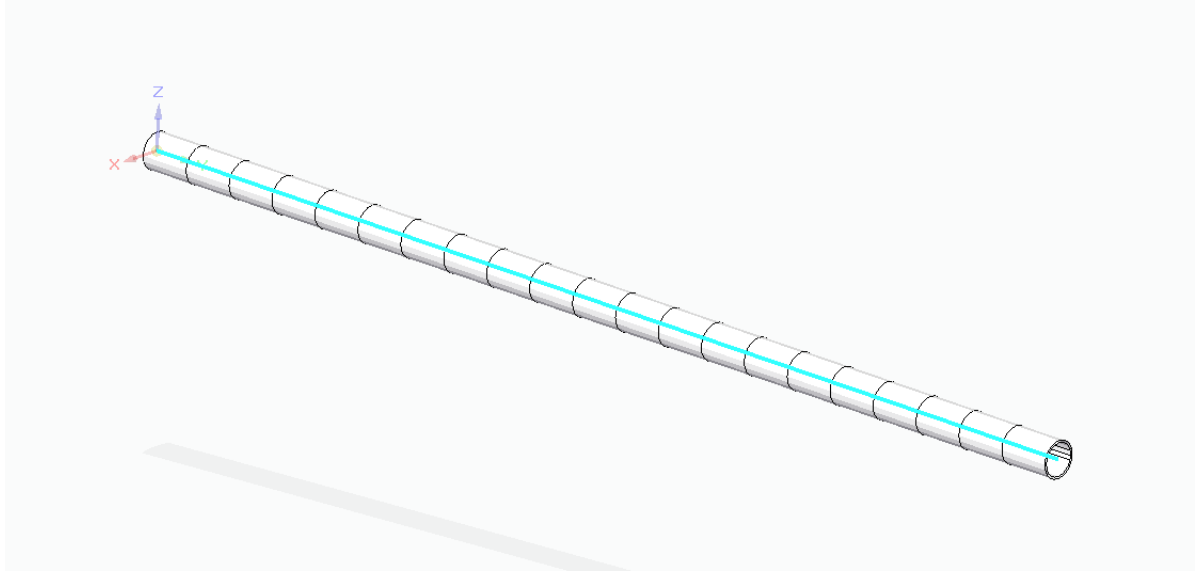


Figura 5.2. Ejemplo elemento viga aplicado a 3D.

La resolución de MEF mediante elemento viga consiste en la aplicación de la teoría de Euler-Bernoulli, la cual se basa en las siguientes hipótesis para una viga de longitud L sobre la cual actúan una serie de cargas verticales y momentos contenidos en el plano XZ :

- Los desplazamientos de todos los puntos de la sección transversal son pequeños e iguales a los del eje x .
- El desplazamiento lateral de la viga es nulo.
- Las secciones transversales normales al eje de la viga antes de la deformación, permanecen planas y ortogonales a dicho eje tras la deformación.

Debido a estas hipótesis, tenemos que los desplazamientos horizontales y verticales están relacionados y la energía interna de la viga es causada por tensiones-deformaciones de flexión.

Este tipo de mallado 1D aplicado a un cuerpo 3D, nos da la ventaja de realizar una simulación con un coste computacional muy bajo, esto quiere decir que con un número pequeño de elementos obtendremos resultados similares a utilizar un número muy elevado de elementos tetraédricos.

El inconveniente de este tipo de mallado es que, en el caso de tener cargas perpendiculares al espesor, estas no se tienen en cuenta y por tanto tendremos que recurrir al mallado tetraédrico.

5.2. Elemento Tetraédrico

Para el análisis de estructuras en tres dimensiones, que por su geometría no pueden tener una dimensión la cuál es despreciable frente a las otras dos, debemos recurrir a elementos tridimensionales como el elemento tetraédrico.

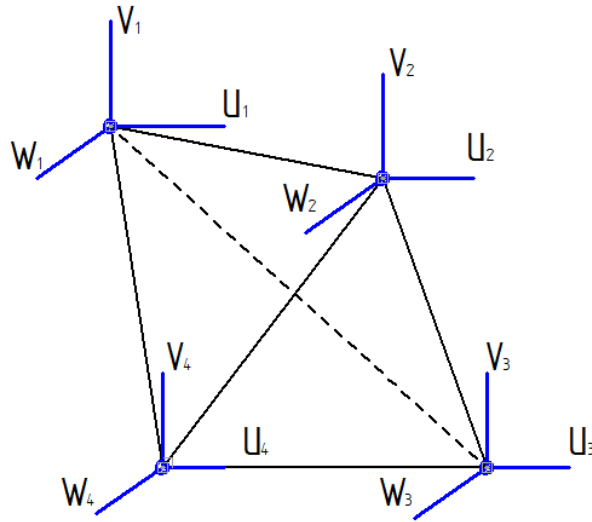


Figura 5.3. Elemento tetraédrico

Este elemento es la variante del elemento triangular plano, y está formado, tal y como se muestra en la figura 5.3, por 4 nodos, cuyos desplazamientos en las tres direcciones del espacio definen el desplazamiento del elemento.

A diferencia del análisis del problema dimensional, con el elemento viga no se asumirá la hipótesis de que la tensión en la dirección del espesor es nula.

El elemento tetraédrico de cuatro nodos, a diferencia de elementos más complejos como el hexaedro de ocho nodos, es un elemento capaz de adaptarse a geometrías muy complejas, pero tiene el problema de que para conseguir resultados ajustados se debe emplear un alto número de elementos.

Esto se debe a que las funciones de forma del elemento son polinomios de primer grado, por lo que la matriz de deformaciones, que es igual al producto del vector de desplazamientos de los nodos del elemento por la derivada de la matriz de funciones de forma, tal y como se puede observar en la ecuación (7), resultará una matriz de constantes.

$$[\varepsilon] = [\partial][u] = [\partial][N][u^e] \quad (7)$$

Otra opción es emplear el elemento tetraédrico de diez nodos, que mantiene la facilidad de mallado del elemento de tetraédrico de cuatro nodos, pero cuyas funciones de forma ya no son lineales, lo que permite obtener una mejor aproximación en los resultados con el mismo número de elementos.

5.3. Flexión simple. Tetraedro de diez nodos y elemento viga.

Para ver las diferencias a la hora de emplear análisis FEM con estos dos elementos, se va a emplear sobre una viga sometida a flexión simple esviada.

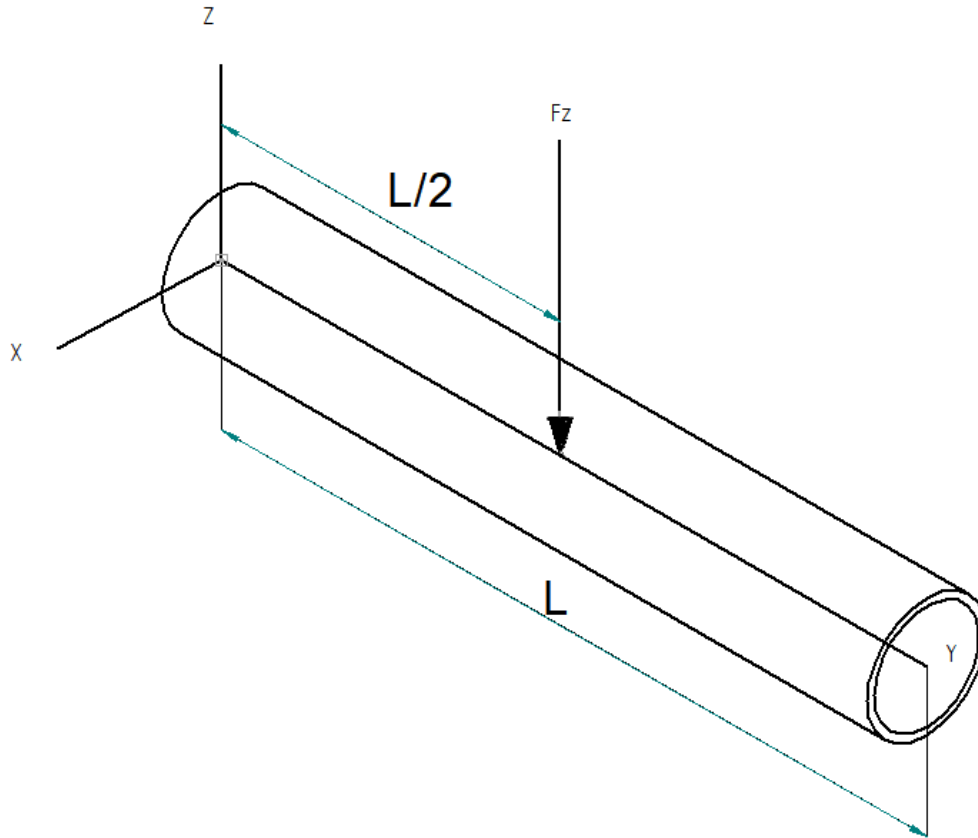


Figura 5.4. Ejemplo a resolver por FEM.

Vamos a suponer una viga cilíndrica cuya sección transversal estará contenida en el plano XZ, y que tendrá las siguientes dimensiones: diámetro exterior $D_{ext} = 33,7$ mm, espesor $e = 2$ mm y longitud $L = 1000$ mm.

Sobre la viga se aplicará una fuerza $F_y = 500$ (N), en el punto medio de ésta. Y estará empotrada en ambos extremos.

La ecuación para tensión sometida a flexión simple es la siguiente:

$$\sigma = \frac{M \cdot d}{I} \quad (8)$$

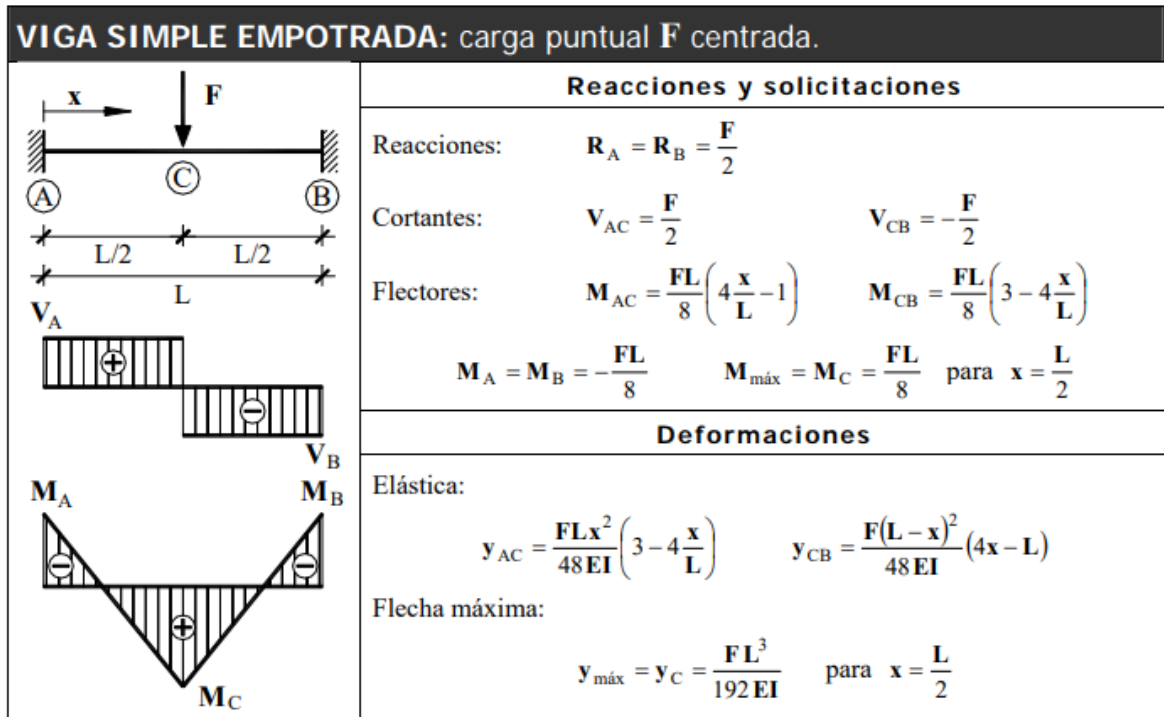


Figura 5.5. Ecuaciones para viga simple biempotrada.

Resolviendo tenemos que:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot \frac{D_{\text{ext}}}{2}}{I} = \frac{125000 \cdot \frac{33,7}{2}}{25118} = 83,85 \text{ MPa}$$

Resolviendo por análisis FEM:

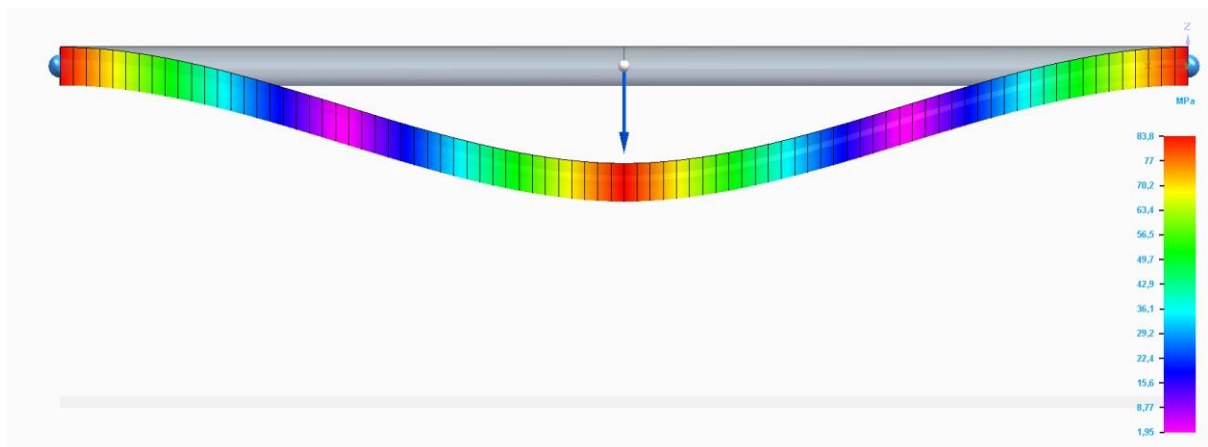


Figura 5.6. Solución con elemento viga

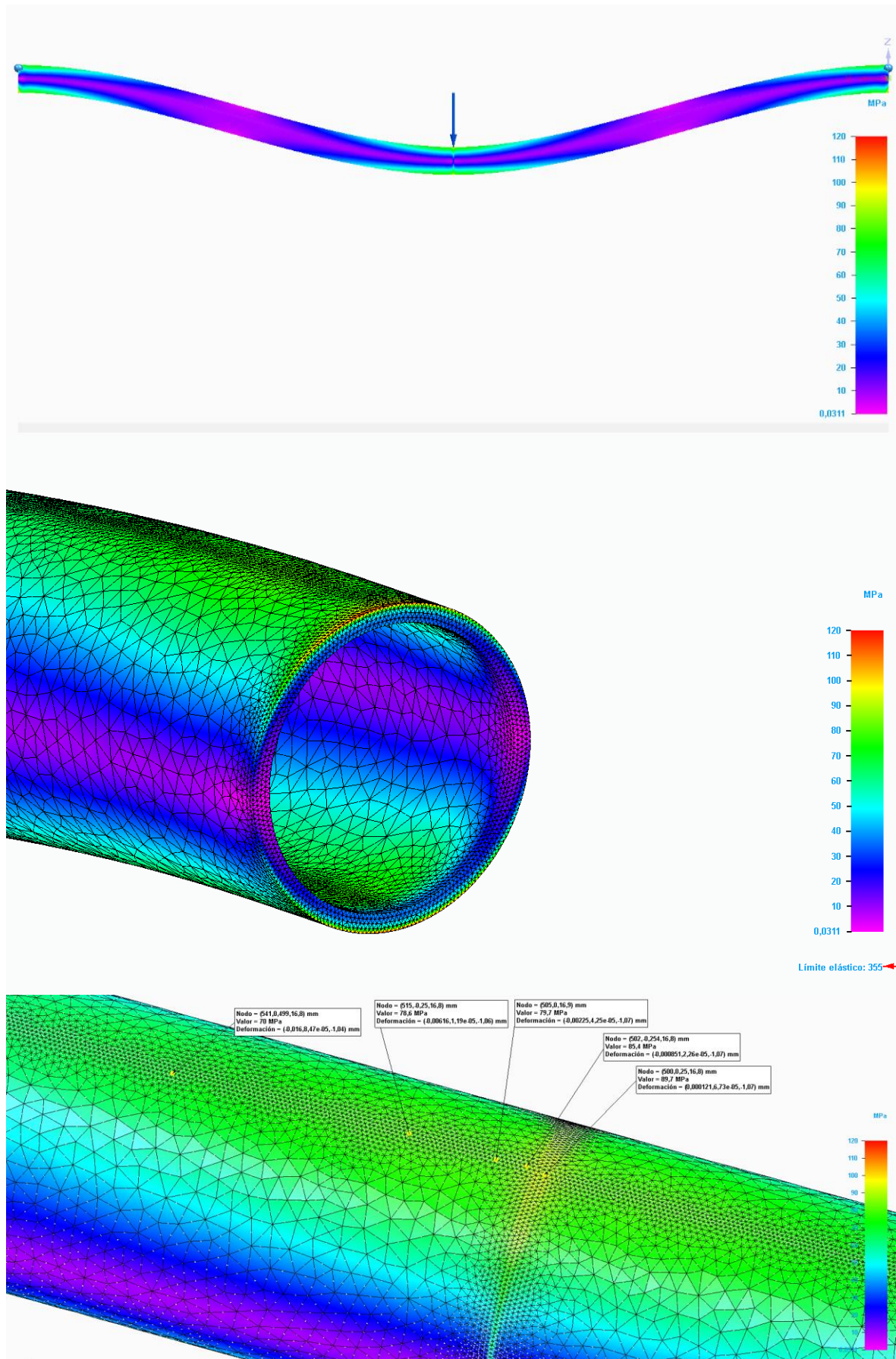


Figura 5.7. Solución con elemento tetraédrico de diez nodos.

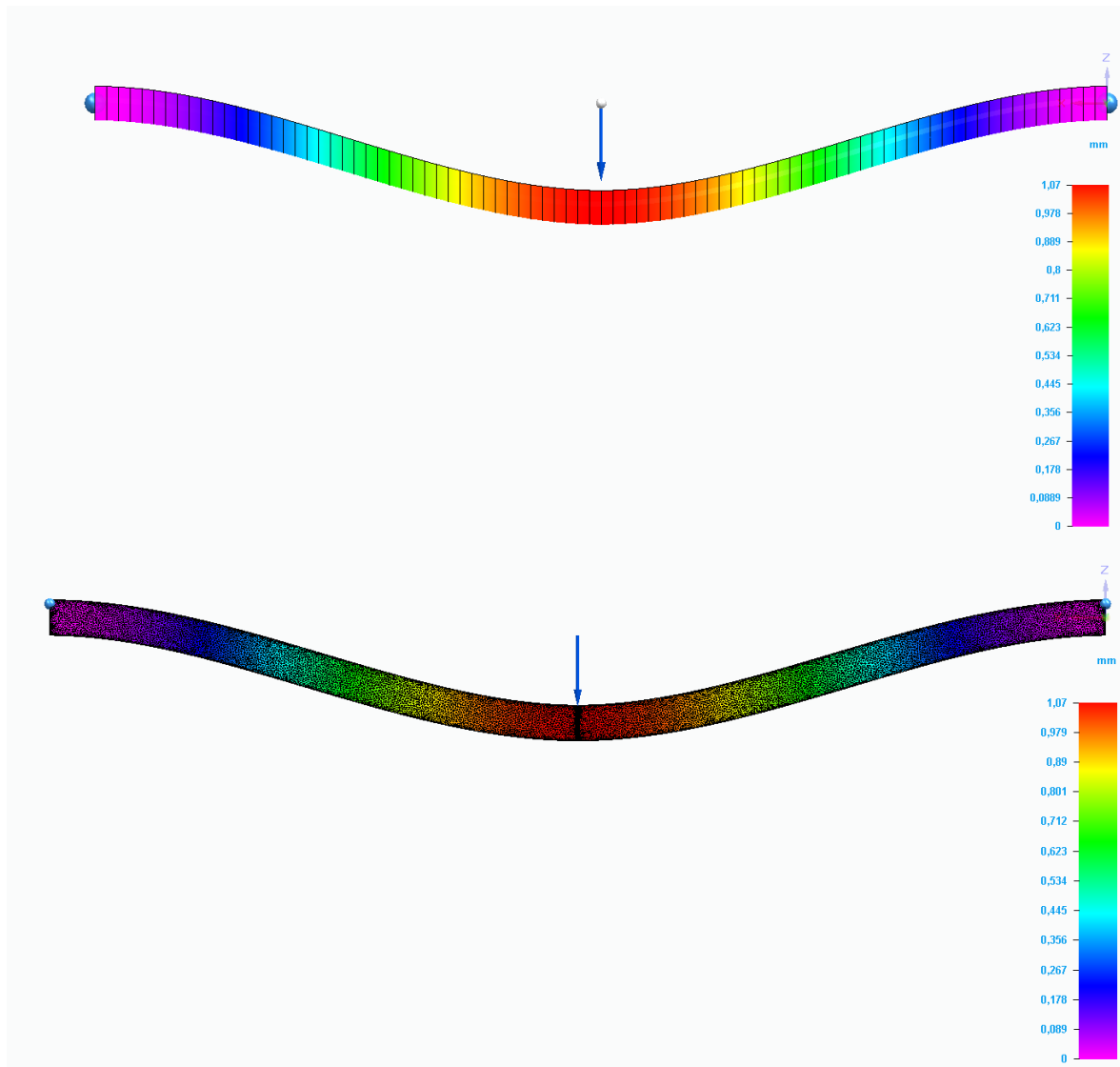


Figura 5.8. Desplazamientos. Elemento viga (arriba) y tetraedro de diez nodos (abajo).

A partir de los resultados obtenidos por MEF, se puede observar como el elemento viga solo tiene en cuenta las tensiones por flexión, despreciando las tensiones perpendiculares al espesor que aparecen en la zona de aplicación de la carga y de las reacciones provocadas por el empotramiento.

Sin embargo, podemos ver como los desplazamientos son exactamente los mismos, por tanto, se utilizará el elemento viga debido a la baja carga computacional para determinar si chasis cumple con el requerimiento de desplazamiento máximo. Además de que conseguir un mapeado de elementos de ese tamaño en un chasis completo supondría tener una malla de varios cientos de millones de elementos.

Como las simulaciones que se realizarán serán simulaciones dentro del rango elástico, vamos poner como condición que no aparezcan tensiones superiores al límite elástico del acero de los tubos.

6. Evolución del chasis

En este capítulo se va a resumir algunos de los cambios y evoluciones que ha sufrido el chasis a lo largo de su diseño hasta conseguir los modelos que se van a mostrar en los siguientes capítulos, los cuales dan resultados coherentes, aun estando fuera del objetivo de obtener tensiones inferiores a la tensión ultima.

6.1. Cambios en la estructura de impacto frontal.

La estructura de impacto frontal ha sido la parte más difícil de ajustar debido, en gran parte, a que en el ensayo se exige aplicar una carga bastante superior a los otros, lo que daba lugar a unos valores de tensión y deformación muy altos.

Para conseguir unos valores de tensión adecuados en las simulaciones, los tubos de esta estructura han pasado al nivel de los empleados en el arco frontal y el arco principal, de forma que se utiliza el mismo espesor en la sección.

6.2. Cambios en la estructura de soporte delantera

En esta zona se han realizado varias reestructuraciones para conseguir resultados similares, o mejores, en las simulaciones empleando menos cantidad de tubos, para así disminuir el peso del chasis.

A continuación, en la figura 6.1., se muestra un ejemplo de una de las primeras estructuras de soporte delantera que se diseñó para este proyecto. Si la comparamos con la estructura del chasis final, vemos que hay una mejora sustancial.

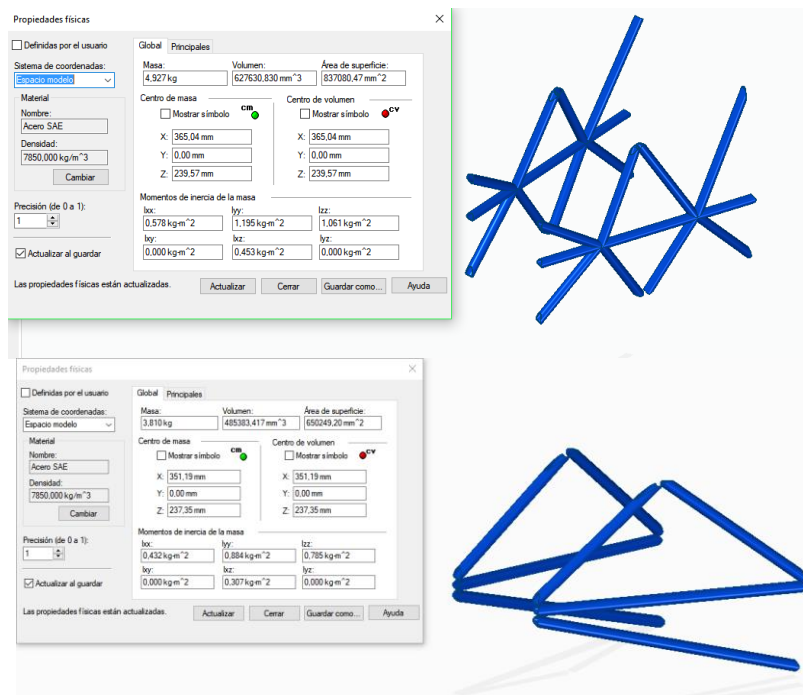


Figura 6.1. Ejemplo de cambios en la estructura de soporte delantera.

6.3. Cambios en el arco frontal

El arco frontal del modelo base contaba con un elemento tubular recto en la parte superior. Esto suponía que al realizar el análisis se obtenían unos valores de deformación y tensión en la parte central del arco superiores a soluciones con arco curvo, y realizado a partir de curvas tangentes, de forma que quedase un tubo lo más continuo posible, con los mínimos cambios de curvatura.

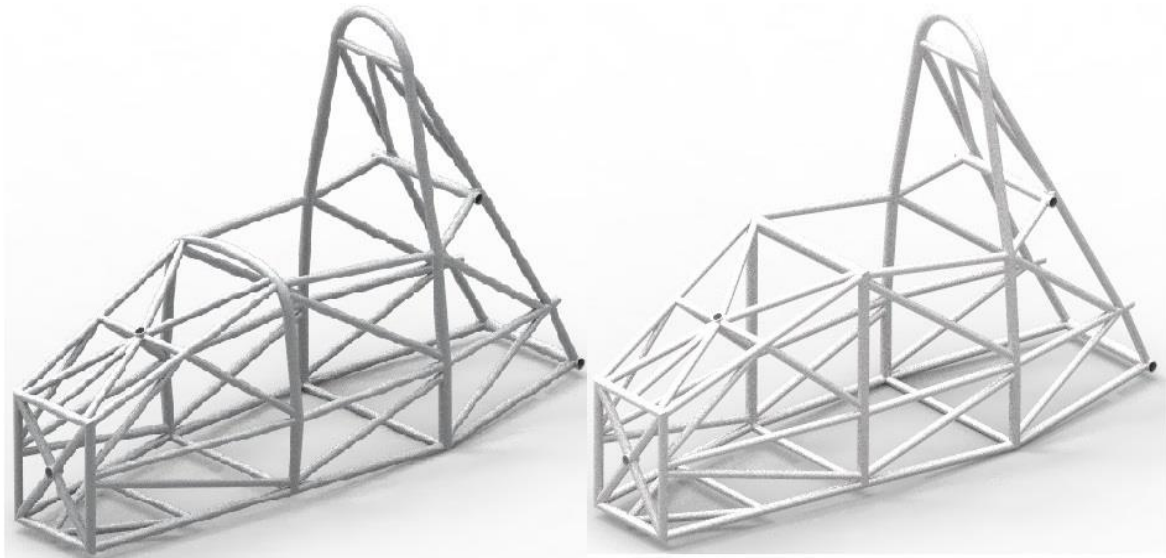


Figura 6.2. Arco frontal del modelo final (izq.) frente al inicial (derecha.).

6.4. Cambios en la estructura de soporte del arco principal

Para mejorar los resultados en los análisis sobre el arco principal, se vio que añadiendo los elementos en azul de la figura 6.3, se conseguía mejorar mucho los resultados de tensión y deformación.

También se comprobó que los elementos en rojo, que en un principio se pusieron pensando en reforzar la parte trasera para este mismo ensayo, resultó en un cambio prácticamente imperceptible en los resultados. Por tanto, se eliminaron reduciendo así en 900 g el peso del chasis.

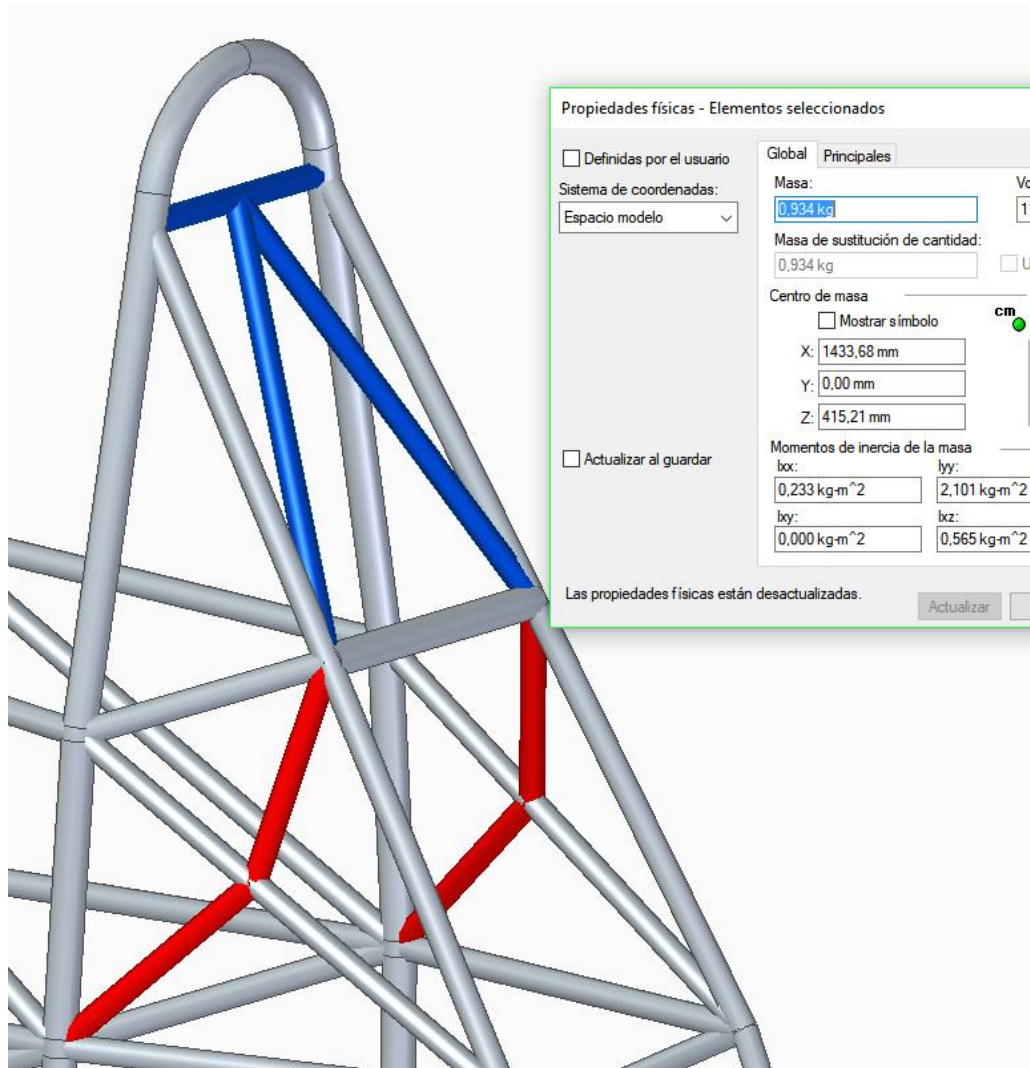


Figura 6.3. Elementos removidos en rojo, y elementos añadidos en azul.

7. ANÁLISIS DEL MODELO 3D

Para asegurar que el chasis diseñado cumple con unos requisitos mínimos en cuanto a resistencia, la normativa exige realizar unos análisis por medio de cálculo con elementos finitos (MEF).

Las propiedades del acero para llevar a cabo los análisis son las siguientes:

- Módulo de Young (E) = 200 GPa
- Limite elástico (σ_y) = 355 MPa
- Tensión última (σ_u) = 510 MPa

Para considerar un resultado favorable en las simulaciones, la máxima deformación permitida es de 25 mm y no debe ocurrir fallo en la estructura, es decir, no debe superarse la tensión última.

A la hora de aplicar las cargas, estas se aplicarán siendo los ejes principales tal y como se muestra en la figura 5.1. El eje x será el eje longitudinal, el eje y el eje transversal y el eje z será el eje vertical.

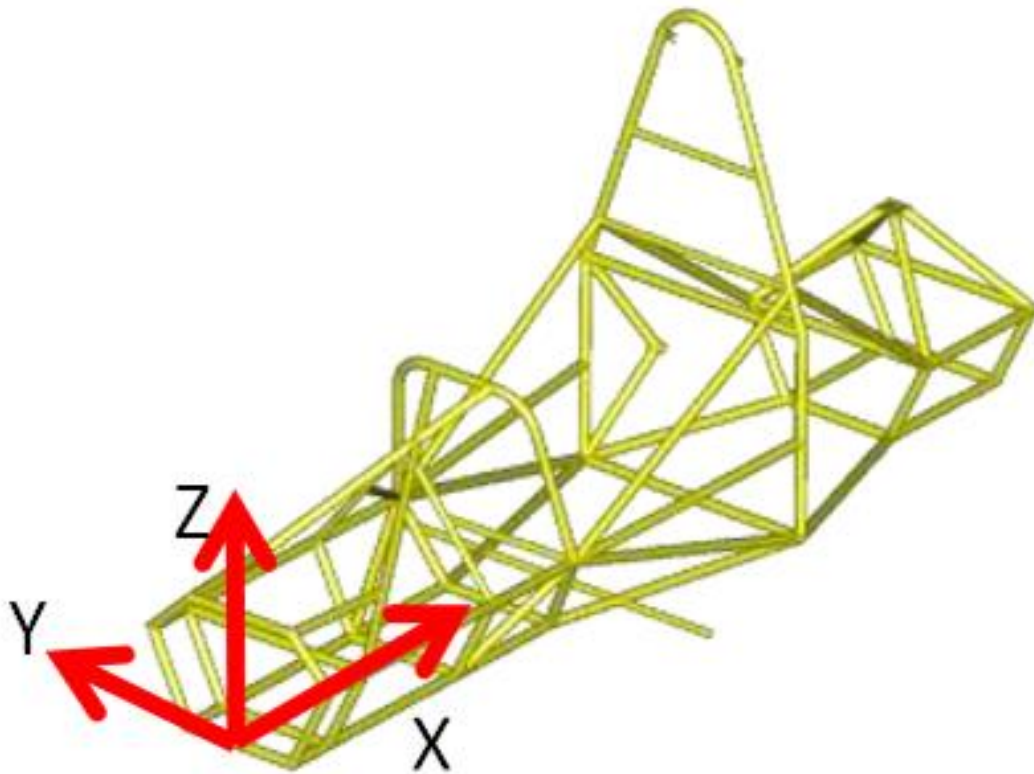


Figura 7.1. Representación de los ejes de coordenadas.

7.1. Arco principal

Este análisis tiene como objetivo comprobar la resistencia del arco principal y de todos los componentes que soportan este. Para ello el ensayo, el reglamento nos indica que se habrá de colocar una carga de valor $F(x,y,z) = 6\text{ i} + 5\text{ j} - 9\text{ k}$ (KN) sobre el arco principal y restringir el movimiento, pero no el giro, en la parte inferior del arco principal y del arco frontal.

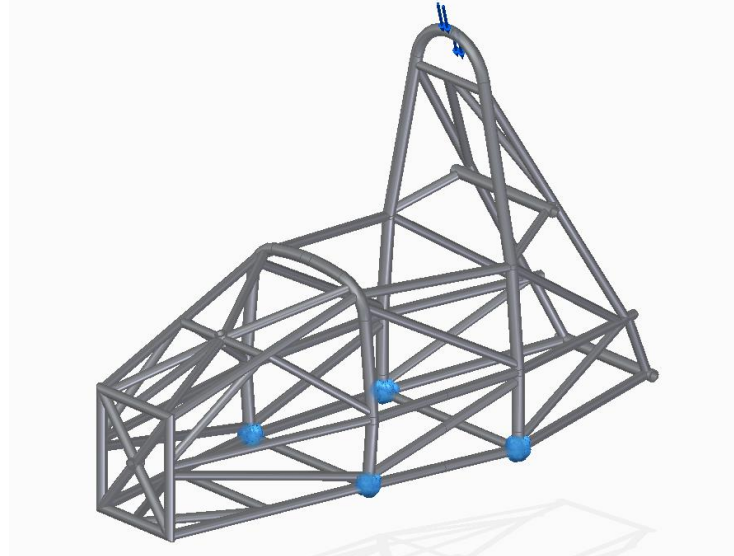


Figura 7.2 Representación gráfica de carga y restricciones en el análisis para el arco principal.

7.2. Arco frontal

Este análisis tiene como objetivo comprobar la resistencia del arco frontal y de todos los componentes que sirven de apoyo a este. Para este ensayo, la carga establecida por la normativa es $F(x,y,z) = 6\text{ i} + 5\text{ j} - 9\text{ k}$ (KN), igual que para el análisis del arco principal, pero situada sobre la superficie superior del arco frontal. Las restricciones para la estructura, igual que en el análisis anterior, consisten en la restringir el movimiento, pero no el giro, en la parte inferior del arco principal y del arco frontal.

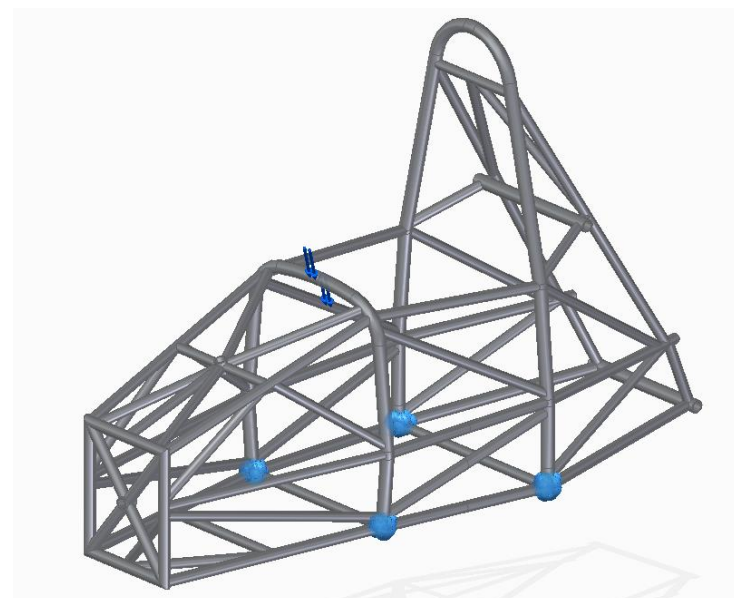


Figura 7.3. Representación gráfica de carga y restricciones en el análisis para el arco frontal.

7.3. Estructura de impacto frontal

Este análisis tiene como objetivo comprobar la resistencia de la estructura de impacto frontal. Para este ensayo, el reglamento indica que habrá que colocar una carga de valor $F(x,y,z) = 200\ i + 0\ j + 0\ k$ (KN) sobre la zona real donde iría unido el mamparo frontal con la estructura de tubos.

Las restricciones en este ensayo serán restricciones de movimiento, pero no de giro, en la zona inferior a cada lado del arco principal y en las uniones de los elementos soporte de los refuerzos principales del arco principal con este.

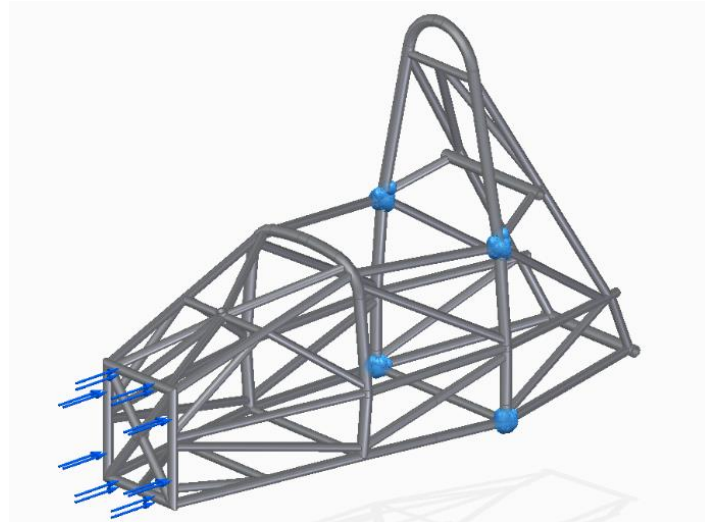


Figura 7.4. Representación gráfica de carga y restricciones en el análisis para la estructura de impacto frontal.

7.4. Estructura de impacto lateral

Este análisis tiene como objetivo comprobar la resistencia de la estructura de impacto lateral. Las condiciones de contorno consistirán en restringir el movimiento, pero no el giro, en la parte inferior del arco principal y el arco frontal, al igual que en los ensayos para los arcos principal y frontal. La carga a aplicar, en la estructura de impacto lateral, será $F(x,y,z) = 7\ j$ (KN), con sentido hacia el piloto.

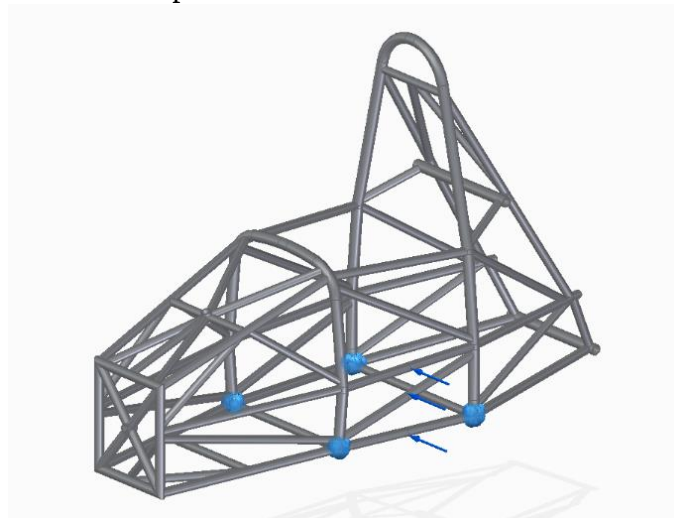


Figura 7.5. Representación gráfica de carga y restricciones en el análisis para la estructura de impacto lateral.

8. RESULTADOS

En este capítulo se van a presentar los resultados de una muestra de las distintas opciones que surgieron a la hora de obtener el chasis final. Estos análisis con elementos finitos se han realizado empleando el elemento viga.

Posteriormente se analizará el chasis final, el cual será aquel que mejores resultados presente, empleando elemento tetraédrico.

8.1. Comparativa de modelos

Los modelos de chasis presentados a continuación presentan variaciones en dimensiones geométricas y en configuración de elementos de tubo. Pero se mantendrá la misma sección de tubos en todos los chasis para obtener valores comparables.

La sección empleada es la mostrada en la tabla 4, con la configuración de la figura 8.1.

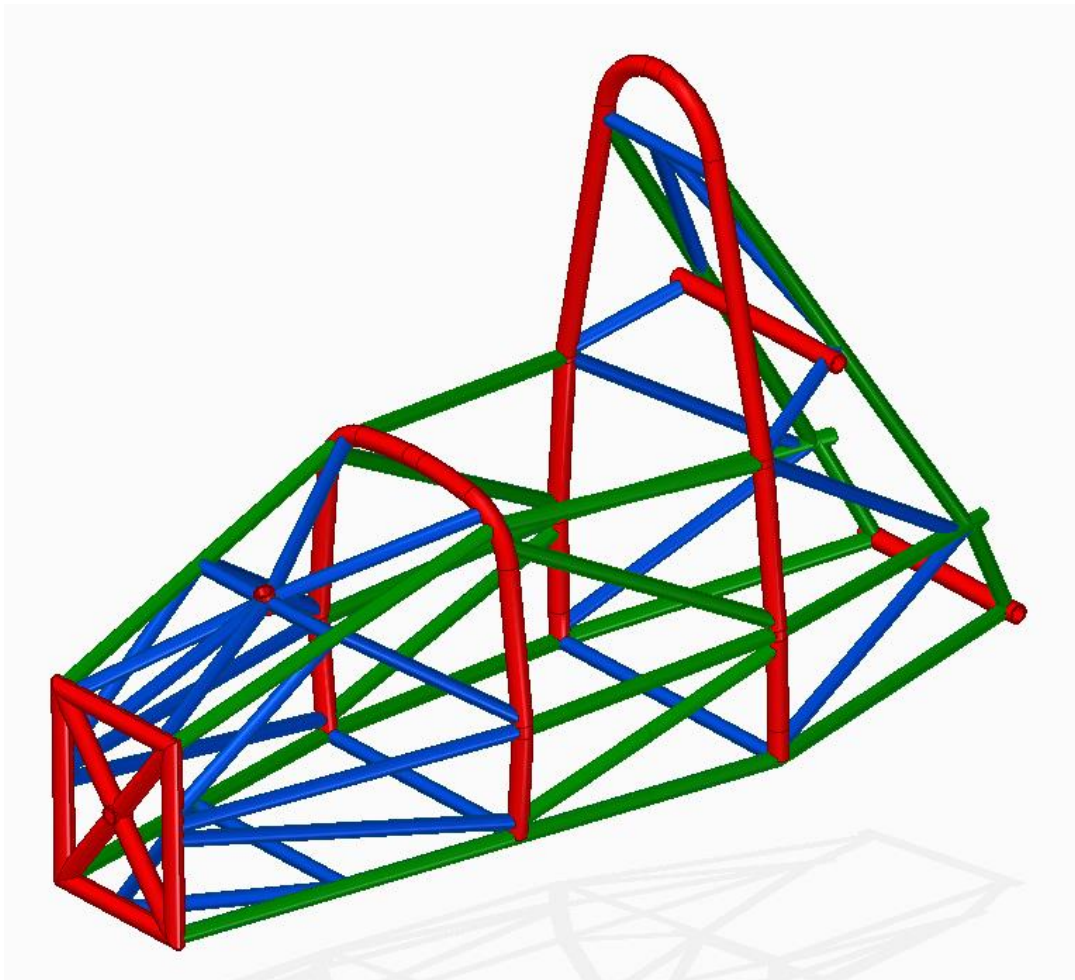


Figura 8.1. Representación de configuración de las secciones de tubo en el chasis

Tabla 4. Características de las diferentes secciones de tubo

ϕ_e (mm)	ϕ_i (mm)	e(mm)	A(mm ²)	I(mm ⁴)
30	25	2.5	216	20586
26.9	23.9	1.5	120	9686
25	22	1.5	111	7676

Tabla 5. Tabla comparativa de resultados.

	TENSIÓN MÁXIMA (MPa)			
	MRH	FRH	FBH	SIE
CHASIS A	369	462	295	136
CHASIS B	369	397	285	137
CHASIS C	387	418	318	129
CHASIS D	389	430	310	127

8.2. Comparación de secciones de tubo

Tras ver la comparativa del punto anterior, se va a partir del chasis B, que es el que mejores resultados de tensión ha dado en los análisis realizados por medio de elemento viga. Por tanto, ahora se va a comprobar que la tensión obtenida por medio de elementos tetraédricos no supera la tensión última que nos da el fabricante de los tubos.

Para realizar los ensayos, se han elegido cuatro configuraciones diferentes de secciones de tubo, las cuales se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Tabla con todas las diferentes configuraciones de sección de tubo.

	ϕ_e (mm)	ϕ_i (mm)	e(mm)	A(mm ²)	I(mm ⁴)
Chasis B _S1	30	25	2.5	216	20586
	26.9	23.9	1.5	120	9686
	25	22	1.5	111	7676
Chasis B _S2	30	25	2.5	216	20586
	28	25	1.5	125	10997
	25	22	1.5	111	7676
Chasis B _S3	35	30	2.5	255	33901
	26.9	23.9	1.5	120	9686
	25	22	1.5	111	7676
Chasis B _S4	32	27	2.5	232	25385
	28	25	1.5	125	10997
	25	22	1.5	111	7676

En la tabla 7 se recogen todos los resultados de las simulaciones para cada una de las configuraciones de secciones de tubo.

También pueden verse los resultados de todas estas simulaciones en el [capítulo 9.1](#).

Tabla 7. Resultados de las simulaciones. En verde los resultados más favorables y en rojo los más desfavorables.

		Arco Principal	Arco frontal	Est. delantera	Est. lateral
S1	Tensión (MPa)	548	551	419	489
	Desp (mm)	10.1	5.49	1.89	2.63
S2	Tensión (MPa)	533	546	407	422
	Desp (mm)	9.75	5.31	1.85	2.42
S3	Tensión (MPa)	469	504	492	528
	Desp (mm)	8.59	4.37	1.78	2.41
S4	Tensión (MPa)	490	512	418	441
	Desp (mm)	9.09	4.83	1.79	2.31

8.3. Chasis final

A partir de toda la información obtenida de todas las simulaciones anteriores, se puede hacer una combinación de forma que se utilice la sección de tubo que mejor resultado ha dado en cada zona del chasis.

De modo que nos queda la configuración mostrada en la figura 8.18, cuyas dimensiones de sección quedan recogidas en la tabla 8.

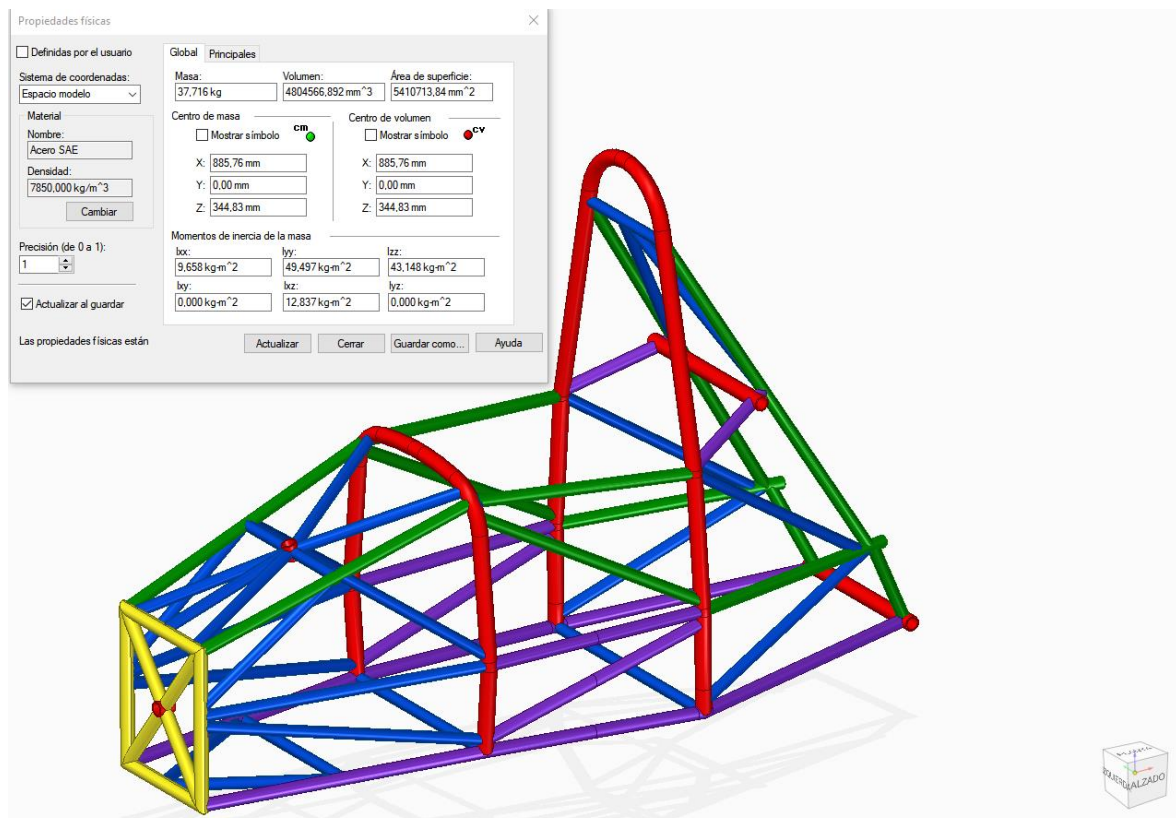


Figura 8.2. Configuración y propiedades físicas del modelo de chasis final

Tabla 8. Dimensión de secciones de tubo para el modelo final

$\phi_e(\text{mm})$	$\phi_i(\text{mm})$	$e(\text{mm})$	$A(\text{mm}^2)$	$I(\text{mm}^4)$
35	30	2.5	255	33901
30	25	2.5	216	20586
26.5	23.5	1.5	118	9237
28	25	1.5	125	10997
25	22	1.5	111	7676

Tabla 9. Resultados de las simulaciones.

CHASIS FINAL		Arco Principal	Arco frontal	Est. delantera	Est. lateral
TETRAÉDRICO	Tensión (MPa)	455	506	466	484
	Desp (mm)	8.37	4.34	1.79	2.21
VIGA	Tensión (MPa)	245	245	288	128
	Desp (mm)	8.15	5.28	1.69	2.13

Los resultados de las simulaciones quedan recogidos en el [capítulo 9.2](#).

8.3.1. Análisis SES para sección de tubos

En este apartado se van a presentar imágenes extraídas directamente de la hoja de cálculo que da la organización para llevar a cabo la comprobación de equivalencia estructural de las secciones de tubo.

Para cada uno de los cálculos hay que elegir la configuración del chasis, en nuestro caso es de “solo tubos” (tubing only), y las dimensiones del tubo que corresponda, las cuales están recogidas en la tabla 8.

En el caso de que la configuración de tubos elegida, la sección empleada y/o el material empleado no sean correctos, la hoja de cálculo nos muestra el valor obtenido en rojo, informándonos así de que estamos con un valor de EI por debajo del valor permitido.

25.4	28
2.4	2

Baseline	Your Tube	
0.0254	0.028	
0.0024	0.002	
1.1593E-08	1.38876E-08	
2.32E+03	2.78E+03	119.8
173.4	163.4	94.2
5.29E+04	4.98E+04	94.2
6.33E+04	5.96E+04	94.2
3.12E+04	2.94E+04	94.2
5.20E+04	4.90E+04	94.2
1.33E+03	1.45E+03	108.7
1.20E-02	1.00E-02	83.5
7.98E+00	7.87E+00	98.6

Figura 8.3. Ejemplo de sección no válida para el arco principal

Main Hoop Structural Equivalency - note, only steel may be used

Material Property	Baseline	Your Tube
Material type	Steel	Steel
Tube shape	Round	Round
Material name /grade	Steel	Steel
Youngs Modulus, E	2.00E+11	2.00E+11
Yield strength, Pa	3.05E+08	3.05E+08
UTS, Pa	3.65E+08	3.65E+08
Yield strength, welded, Pa	1.80E+08	1.80E+08
UTS welded, Pa	3.00E+08	3.00E+08
Tube OD, mm	25.4	35
Wall, mm	2.4	2.5
	Baseline	Your Tube
OD, m	0.0254	0.035
Wall, m	0.0024	0.0025
I, m ⁴	1.1593E-08	3.39054E-08
EI	2.32E+03	6.78E+03
Area, mm ²	173.4	255.3
Yield tensile strength, N	5.29E+04	7.79E+04
UTS, N	6.33E+04	9.32E+04
Yield tensile strength, N as welded	3.12E+04	4.59E+04
UTS, N as welded	5.20E+04	7.66E+04
Max load at mid span to give UTS for 1m long tube, N	1.33E+03	2.83E+03
Max deflection at baseline load for 1m long tube, m	1.20E-02	4.09E-03
Energy absorbed up to UTS, J	7.98E+00	1.23E+01

Figura 8.4. Análisis SES para sección de tubo del arco principal.

Front Hoop Structural Equivalency

Material Property	Baseline	Your Tube
Material type	Steel	Steel
Tube shape	Round	Round
Material name /grade	Steel	Steel
Youngs Modulus, E	2.00E+11	2.00E+11
Yield strength, Pa	3.05E+08	3.05E+08
UTS, Pa	3.65E+08	3.65E+08
Yield strength, welded, Pa	1.80E+08	1.80E+08
UTS welded, Pa	3.00E+08	3.00E+08
Tube OD, mm	25.4	35
Wall, mm	2.4	2.5
	Baseline	Your Tube
OD, m	0.0254	0.035
Wall, m	0.0024	0.0025
I, m ⁴	1.1593E-08	3.39054E-08
EI	2.32E+03	6.78E+03
Area, mm ²	173.4	255.3
Yield tensile strength, N	5.29E+04	7.79E+04
UTS, N	6.33E+04	9.32E+04
Yield tensile strength, N as welded	3.12E+04	4.59E+04
UTS, N as welded	5.20E+04	7.66E+04
Max load at mid span to give UTS for 1m long tube, N	1.33E+03	2.83E+03
Max deflection at baseline load for 1m long tube, m	1.20E-02	4.09E-03
Energy absorbed up to UTS, J	7.98E+00	1.23E+01

Figura 8.5. Análisis SES para sección de tubo del arco frontal

Main Hoop Bracing - Note: Only Steel may be used

Material Property	Baseline	Your Tube
Material type	Steel	Steel
Tube shape	Round	Round
Material name /grade	Steel	Steel
Youngs Modulus, E	2.00E+11	2.00E+11
Yield strength, Pa	3.05E+08	3.05E+08
UTS, Pa	3.65E+08	3.65E+08
Yield strength, welded, Pa	1.80E+08	1.80E+08
UTS welded, Pa	3.00E+08	3.00E+08

Tube OD, mm	25.4	26.9
Wall, mm	1.6	1.5

	Baseline	Your Tube	
OD, m	0.0254	0.0269	
Wall, m	0.0016	0.0015	
I, m^4	8.51E-09	9.69E-09	
EI	1.70E+03	1.94E+03	113.8
Area, mm^2	119.6	119.7	100.1
Yield tensile strength, N	3.65E+04	3.65E+04	100.1
UTS, N	4.37E+04	4.37E+04	100.1
Yield tensile strength, N as welded	2.15E+04	2.15E+04	100.1
UTS, N as welded	3.59E+04	3.59E+04	100.1
Max load at mid span to give UTS for 1m long tube, N	9.78E+02	1.05E+03	107.5
Max deflection at baseline load for 1m long tube, m	1.20E-02	1.05E-02	87.8
Energy absorbed up to UTS, J	5.86E+00	5.95E+00	101.5

Figura 8.6. Análisis SES para sección de tubo de los brazos del arco principal

Main Hoop Bracing Supports

Enter construction type		Tubing only		
Material Property	Baseline	Your Tube	Your Composite	Your Total
Material type	Steel	Steel	Composite 1	
Tubing Type	Round	Round	NA	
Material name /grade	Steel	Steel	T3.30 Laminate	
Youngs Modulus, E	2.00E+11	2.00E+11	0.00E+00	
Yield strength, Pa	3.05E+08	3.05E+08	0.00E+00	
UTS, Pa	3.65E+08	3.65E+08	0.00E+00	
Yield strength, welded, Pa	1.80E+08	1.80E+08	N/A	
UTS welded, Pa	3.00E+08	3.00E+08	N/A	
Number of tubes	2	2		
Tube OD, mm	25.4	25		
Wall, mm	1.20	1.5		
Thickness of panel, mm			22	
Thickness of core, mm			18	
Thickness of inner skin, mm			2	
Thickness of outer skin, mm			2	
Panel height, mm			250	
OD, m	0.0254	0.025		
Wall, m	0.0012	0.0015		
I, m^4	6.70E-09	7.68E-09	Tubing Only	7.68E-09
EI	2.68E+03	3.07E+03		114.6
Area, mm^2	182.5	221.5		121.4
Yield tensile strength, N	5.57E+04	6.76E+04		121.4
UTS, N	6.66E+04	8.08E+04		121.4
Yield tensile strength, N as welded	3.28E+04	3.99E+04		121.4
UTS, N as welded	5.47E+04	6.64E+04		121.4
Max load at mid span to give UTS for 1m long tube, N	1.54E+03	1.79E+03		116.5
Max deflection at baseline load for 1m long tube, m	1.20E-02	1.04E-02		87.2
Energy absorbed up to UTS, J	9.22E+00	1.09E+01		118.3

Figura 8.7. Análisis SES para sección de los tubos soporte de los brazos del arco principal

JOSÉ TEJADA CASTILLO
DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE

Front Hoop Bracing

		Enter construction type Tubing only		
Material Property	Baseline	Your Tube	Your Composite	Your Total
Material type	Steel	Steel	Composite 1	
Tubing Type	Round	Round	NA	
Material name /grade	Steel	Steel	T3.30_Laminate	
Youngs Modulus, E	2.00E+11	2.00E+11	0.00E+00	
Yield strength, Pa	3.05E+08	3.05E+08	0.00E+00	
UTS, Pa	3.65E+08	3.65E+08	0.00E+00	
Yield strength, welded, Pa	1.80E+08	1.80E+08	N/A	
UTS welded, Pa	3.00E+08	3.00E+08	N/A	
Number of tubes	1	1		
Tube OD, mm	25.4	26.9		
Wall, mm	1.60	1.5		
Thickness of panel, mm			22	
Thickness of core, mm			18	
Thickness of inner skin, mm			2	
Thickness of outer skin, mm			2	
Panel height,mm (half width across top of chassis)			100	
OD, m	0.0254	0.0269		
Wall, m	0.0016	0.0015		
I, m ⁴	8.51E-09	9.69E-09	Tubing Only	9.69E-09
EI	1.70E+03	1.94E+03		1.94E+03 113.8
Area, mm ²	119.6	119.7		119.7 100.1
Yield tensile strength, N	3.65E+04	3.65E+04		3.65E+04 100.1
UTS, N	4.37E+04	4.37E+04		4.37E+04 100.1
Yield tensile strength, N as welded	2.15E+04	2.15E+04		2.15E+04 100.1
UTS, N as welded	3.59E+04	3.59E+04		3.59E+04 100.1
Max load at mid span to give UTS for 1m long tube, N	9.78E+02	1.05E+03		1.05E+03 107.5
Max deflection at baseline load for 1m long tube, m	1.20E-02	1.05E-02		1.05E-02 87.8
Energy absorbed up to UTS, J	5.86E+00	5.95E+00		5.95E+00 101.5

Figura 8.8. Análisis SES para sección de tubo del arco frontal

Front Bulkhead

		Enter construction type Tubing only		
Material Property	Baseline	Your Tube	Your Composite	Your Total
Material type	Steel	Steel	Composite 1	
Tubing Type	Round	Round	NA	
Material name /grade	Steel	Steel	T3.30_Laminate	
Youngs Modulus, E	2.00E+11	2.00E+11	0.00E+00	
Yield strength, Pa	3.05E+08	3.05E+08	0.00E+00	
UTS, Pa	3.65E+08	3.65E+08	0.00E+00	
Yield strength, welded, Pa	1.80E+08	1.80E+08	N/A	
UTS welded, Pa	3.00E+08	3.00E+08	N/A	
UTS shear, Pa	2.19E+08		0.00E+00	
Number of tubes	2	2		
Tube OD, mm	25.4	30		
Wall, mm	1.6	2.5		
Thickness of panel, mm			22	
Thickness of core, mm			18	
Thickness of inner skin, mm			2	
Thickness of outer skin, mm			2	
Panel height,mm			60	
OD, m	0.0254	0.03		
Wall, m	0.0016	0.0025		
I, m ⁴	8.51E-09	2.06E-08	Tubing Only	2.06E-08
EI	3.40E+03	8.24E+03		8.24E+03 241.9
Area, mm ²	239.3	432.0		432.0 180.5
Yield tensile strength, N	7.30E+04	1.32E+05		1.32E+05 180.5
UTS, N	8.73E+04	1.58E+05		1.58E+05 180.5
Yield tensile strength, N as welded	4.31E+04	7.78E+04		7.78E+04 180.5
UTS, N as welded	7.18E+04	1.30E+05		1.30E+05 180.5
Max load at mid span to give UTS for 1m long tube, N	1.96E+03	4.01E+03		4.01E+03 204.8
Max deflection at baseline load for 1m long tube, m	1.20E-02	4.95E-03		4.95E-03 41.3
Energy absorbed up to UTS, J	1.17E+01	2.03E+01		2.03E+01 173.4
Perimeter shear, N (monocoques only)	4.27E+05	N/A		N/A NA

Figura 8.9. Análisis SES para sección de tubo de la estructura de protección ante impacto frontal

JOSÉ TEJADA CASTILLO

DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE

Front Bulkhead Support Structure

Enter construction type		Tubing only					
Material Property	Baseline	Your Tube type 1	Your Tube type 2	Your Tube type 3	Your Tubes Total	Your Composite	Your Total
Material type	Steel	Steel	Steel	Steel		Composite 1	
Tubing Type	Round	Round	Round	Round		NA	
Material name /grade	Steel	Steel	Steel	Steel		T3.30_Laminate	
Youngs Modulus, E	2.00E+11	2.00E+11	2.00E+11	2.00E+11		0.00E+00	
Yield strength, Pa	3.05E+08	3.05E+08	3.05E+08	3.05E+08		0.00E+00	
UTS, Pa	3.65E+08	3.65E+08	3.65E+08	3.65E+08		0.00E+00	
Yield strength, welded, Pa	1.80E+08	1.80E+08	1.80E+08	1.80E+08		N/A	
UTS welded, Pa	3.00E+08	3.00E+08	3.00E+08	3.00E+08		N/A	
Number of tubes	3	4	0	0			
Tube OD, mm	25.4	25	25	25			
Wall, mm	1.2	1.5	1.5	1.5			
Thickness of panel, mm		Baseline design? NO					
Thickness of core, mm						26	
Thickness of inner skin, mm						20	
Thickness of outer skin, mm						3	
Panel height,mm						3	
						150	
OD, m	0.0254	0.025	No tubes	No tubes			
Wall, m	0.0012	0.0015					
I, m^4	6.70E-09	7.68E-09			7.68E-09	Tubing Only	7.68E-09
EI	4.02E+03	6.14E+03			6.14E+03		6.14E+03
Area, mm^2	273.7	443.0			443.0		152.9
Yield tensile strength, N	8.35E+04	1.35E+05			1.35E+05		161.8
UTS, N	9.99E+04	1.62E+05			1.62E+05		161.8
Yield tensile strength, N as welded	4.93E+04	7.97E+04			7.97E+04		161.8
UTS, N as welded	8.21E+04	1.33E+05			1.33E+05		161.8
Max load at mid span to give UTS for 1m long tube, N	2.31E+03	3.59E+03			3.59E+03		155.3
Max deflection at baseline load for 1m long tube, m	1.20E-02	7.83E-03			7.83E-03		65.4
Energy absorbed up to UTS, J	1.38E+01	2.18E+01			2.18E+01		157.8

Figura 8.10. Análisis SES para sección de tubos soporte de la estructura de protección ante impacto frontal

Side Impact Structure

		Enter construction type				Tubing only			
Material Property		Baseline	Upper SIS Member	Your Tube type 2	Your Tube type 3	Your Tubes Total	Composite Side (Vertical)	Composite Floor (Horizontal)	Your Total
Material type	Steel	Steel	Steel	Steel			Composite 1	Composite 1	
Tubing Type	Round	Round	Round	Round			NA	NA	
Material name /grade	Steel	Steel	Steel	Steel			T3.30 Laminate	T3.30 Laminate	
Youngs Modulus, E	2.00E+11	2.00E+11	2.00E+11	2.00E+11			0.00E+00	0.00E+00	
Yield strength, Pa	3.05E+08	3.05E+08	3.05E+08	3.05E+08			0.00E+00	0.00E+00	
UTS, Pa	3.65E+08	3.65E+08	3.65E+08	3.65E+08			0.00E+00	0.00E+00	
Yield strength, welded, Pa	1.80E+08	1.80E+08	1.80E+08	1.80E+08			N/A	N/A	
UTS welded, Pa	3.00E+08	3.00E+08	3.00E+08	3.00E+08			N/A	N/A	
Straight or Bent / Multipiece Upper Member?	N/A	Straight	N/A	N/A					
Number of tubes	3	1	1	1					
Tube OD, mm	25.4	28	28	28					
Wall, mm	1.6	1.5	1.5	1.5					
		Baseline design? NO							
Thickness of panel, mm							35	15	
Thickness of core, mm							25	10	
Thickness of inner skin, mm							5	2.5	
Thickness of outer skin, mm							5	2.5	
Panel height (Vertical Side)/width (Horiz. Floor),mm							325	200	
		0.028	0.028	0.028					
OD, m	0.0254	0.0015	0.0015	0.0015					
Wall, m	0.0016	1.10E-08	1.87E-08	1.10E-08	4.07E-08	Tubing Only	Tubing Only	4.07E-08	
I, m^4	8.51E-09	2.20E+03	3.73E+03	2.20E+03	8.13E+03			8.13E+03	159.3
EI	5.11E+03	124.9	159.0	124.9	408.8			4.09E+02	113.9
Area, mm^2	358.9	3.81E+04	4.85E+04	3.81E+04	1.25E+05			1.25E+05	113.9
Yield tensile strength, N	1.09E+05	4.56E+04	5.80E+04	4.56E+04	1.49E+05			1.49E+05	113.9
UTS, N	1.31E+05	2.25E+04	2.86E+04	2.25E+04	7.36E+04			7.36E+04	113.9
Yield tensile strength, N as welded	6.46E+04	3.75E+04	4.77E+04	3.75E+04	1.23E+05			1.23E+05	113.9
UTS, N as welded	1.08E+05	1.15E+03	1.95E+03	1.15E+03	4.24E+03			4.24E+03	144.5
Max load at mid span to give UTS for 1m long tube, N	2.93E+03	2.78E-02	1.64E-02	2.78E-02	7.52E-03				62.8
Max deflection at baseline load for 1m long tube, m	1.20E-02	6.23E+00	1.06E+01	6.23E+00	2.30E+01				131.1
Energy absorbed up to UTS, J	1.76E+01								

Figura 8.11. Análisis SES para sección de tubo de la estructura de protección ante impacto lateral

Shoulder Harness Bar Equivalency

Enter construction type		Tubing only		
Material Property	Baseline	Your Tube	Your Composite	Your Total
Material type	Steel	Steel	Composite 1	Cε
Tubing Type	Round	Round	N/A	
Material name /grade	Steel	Steel	T3.30 Laminate	
Youngs Modulus, E	2.00E+11	2.00E+11	0.00E+00	
Yield strength, Pa	3.05E+08	3.05E+08	0.00E+00	
UTS, Pa	3.65E+08	3.65E+08	0.00E+00	
Yield strength, welded, Pa	1.80E+08	1.80E+08	N/A	
UTS welded, Pa	3.00E+08	3.00E+08	N/A	
Number of tubes	1	1		
Tube OD, mm	25.4	35		
Wall, mm	2.4	2.5		
Thickness of panel, mm			22	
Thickness of core, mm			18	
Thickness of inner skin, mm			2	
Thickness of outer skin, mm			2	
Panel height,mm			100	
OD, m	0.0254	0.035		
Wall, m	0.0024	0.0025		
I, m^4	1.16E-08	3.39E-08	Tubing Only	3.39E-08
EI	2.32E+03	6.78E+03		6.78E+03
Area, mm^2	173.4	255.3		255.3
Yield tensile strength, N	5.29E+04	7.79E+04		7.79E+04
UTS, N	6.33E+04	9.32E+04		9.32E+04
Yield tensile strength, N as welded	3.12E+04	4.59E+04		4.59E+04
UTS, N as welded	5.20E+04	7.66E+04		7.66E+04
Max load at mid span to give UTS for 1m long tube, N	1.33E+03	2.83E+03		2.83E+03
Max deflection at baseline load for 1m long tube, m	1.20E-02	4.09E-03		4.09E-03
Energy absorbed up to UTS, J	7.98E+00	1.23E+01		1.23E+01
				292.5
				147.2
				147.2
				147.2
				147.2
				212.2
				34.2
				154.0

Figura 8.12. Análisis SES para sección de tubo para el cinturón de seguridad.

9. RECOPIACIÓN DE SIMULACIONES CON FEM

9.1. Simulaciones capítulo 8.2

9.1.1. Arco principal

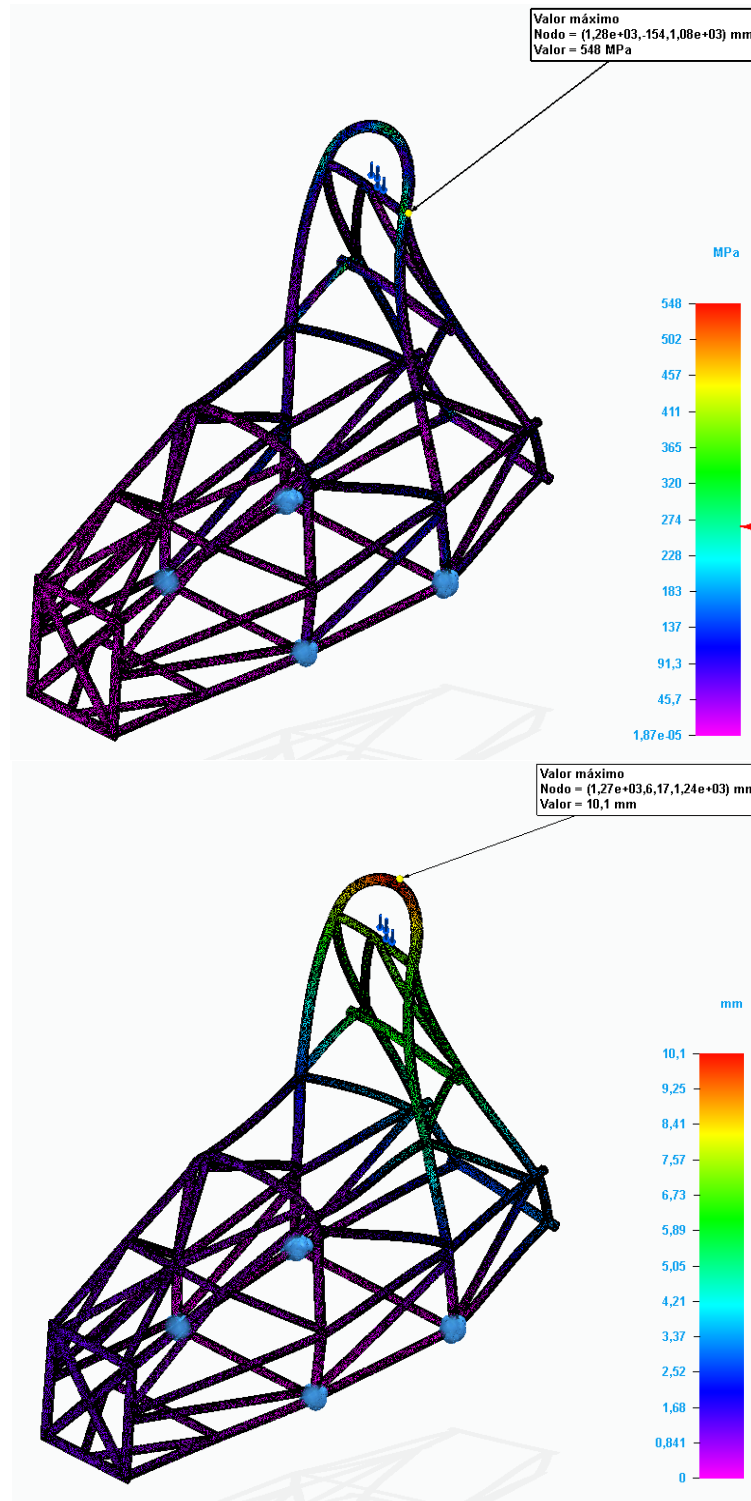


Figura 9.1. Chasis B_S1

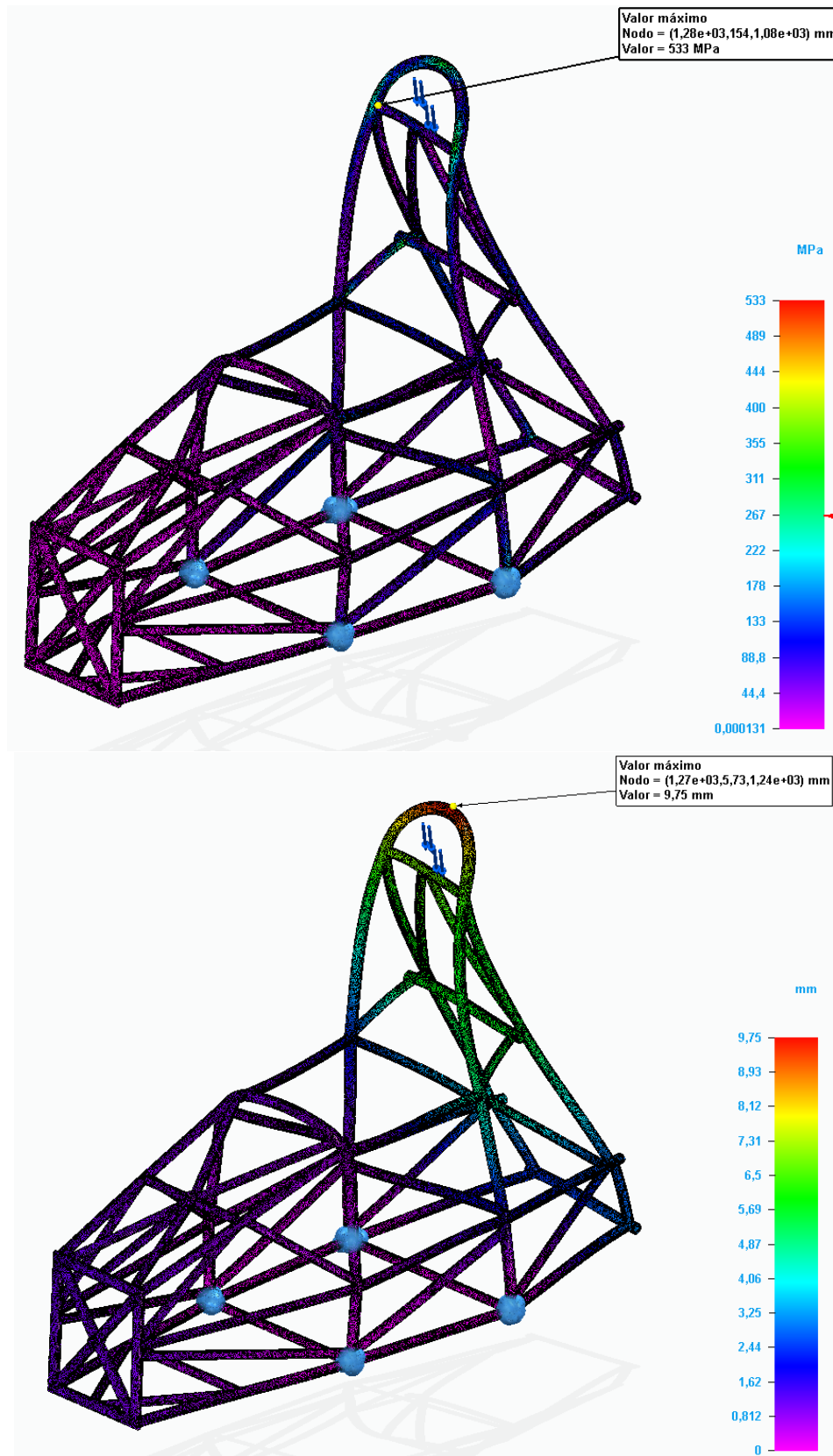


Figura 9.2. Chasis B _S2

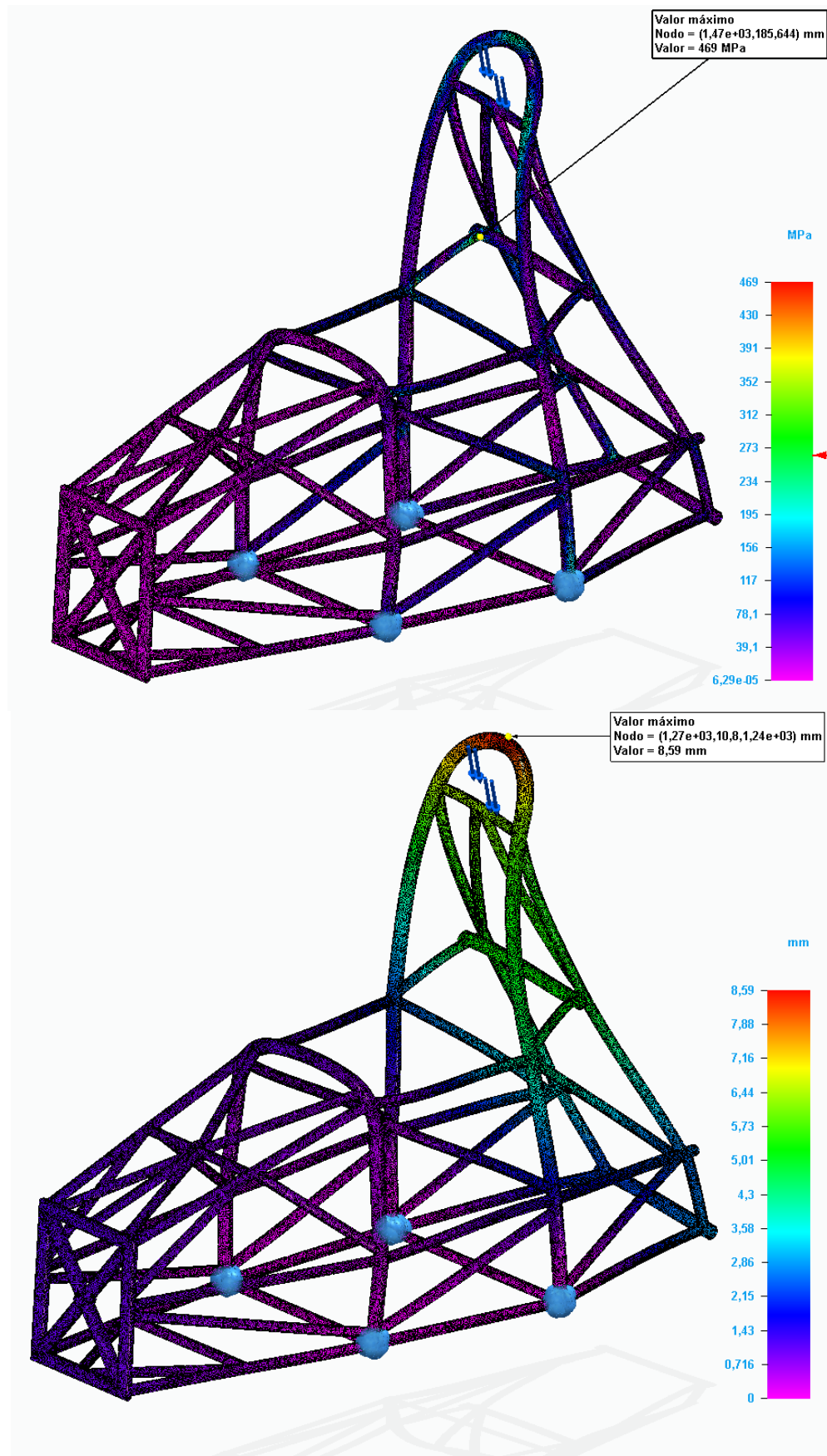


Figura 9.3. Chasis B_S3

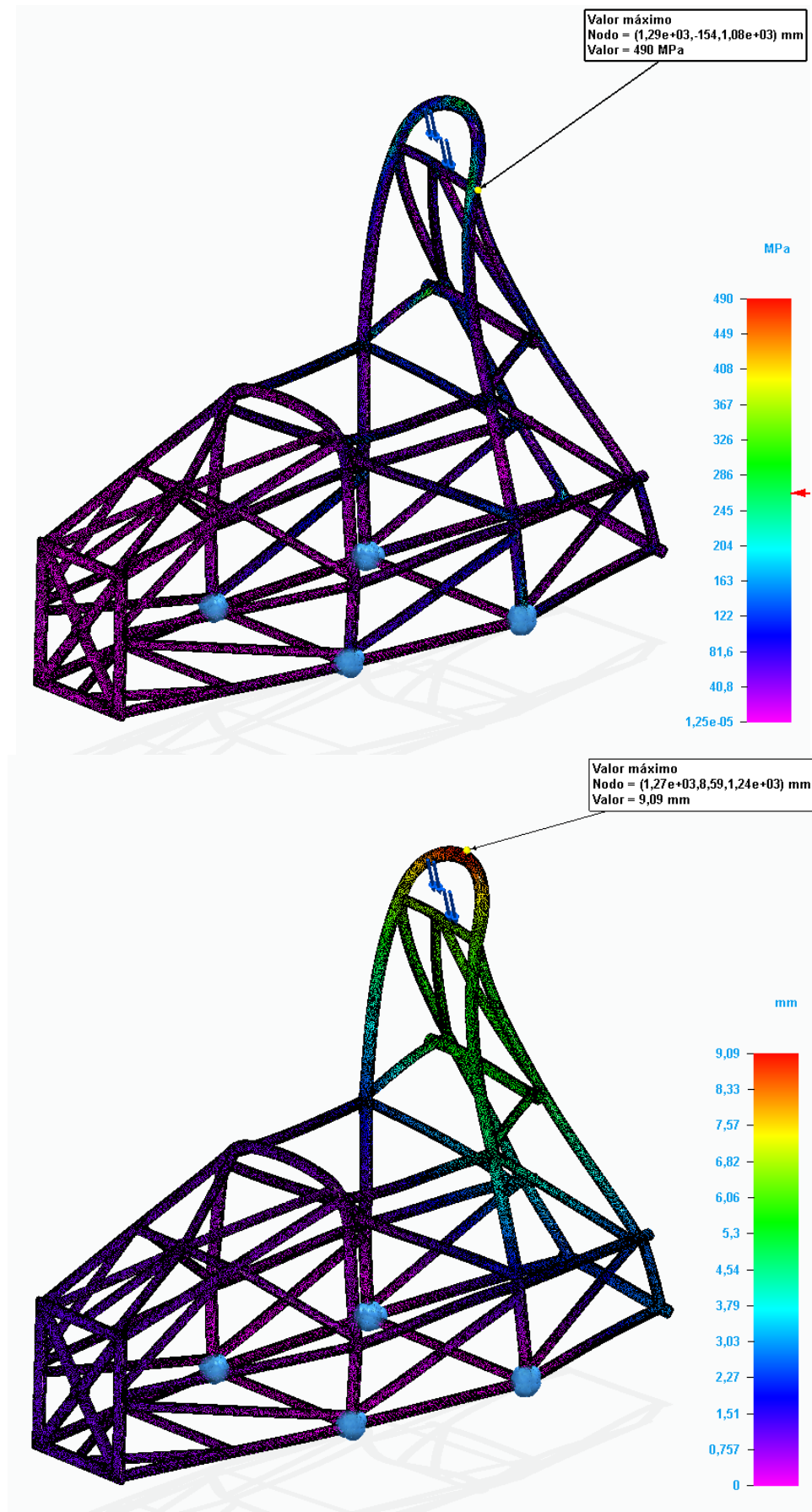


Figura 9.4. Chasis B_S4

9.1.2. Arco frontal

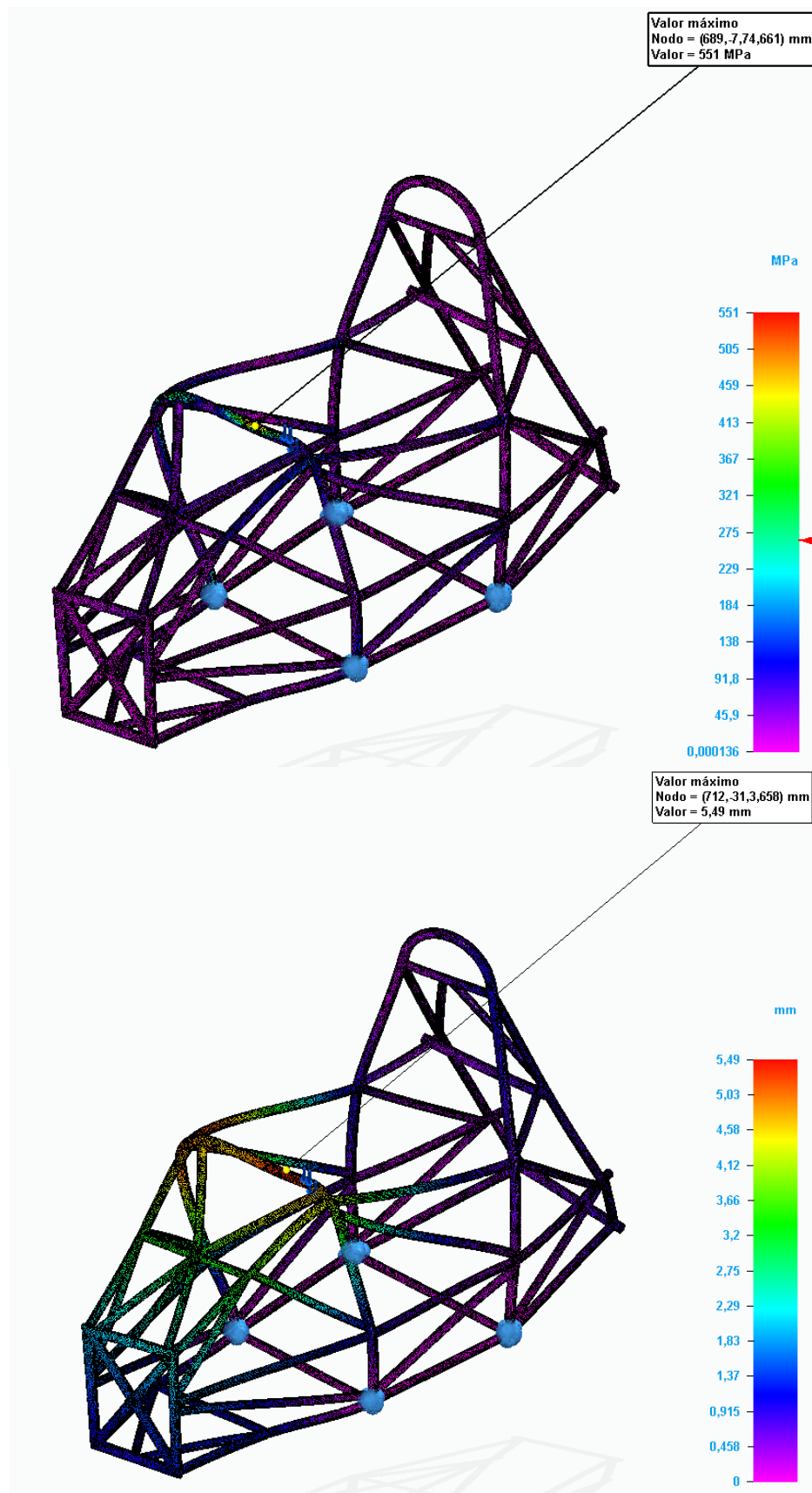


Figura 9.5. Chasis B_S1

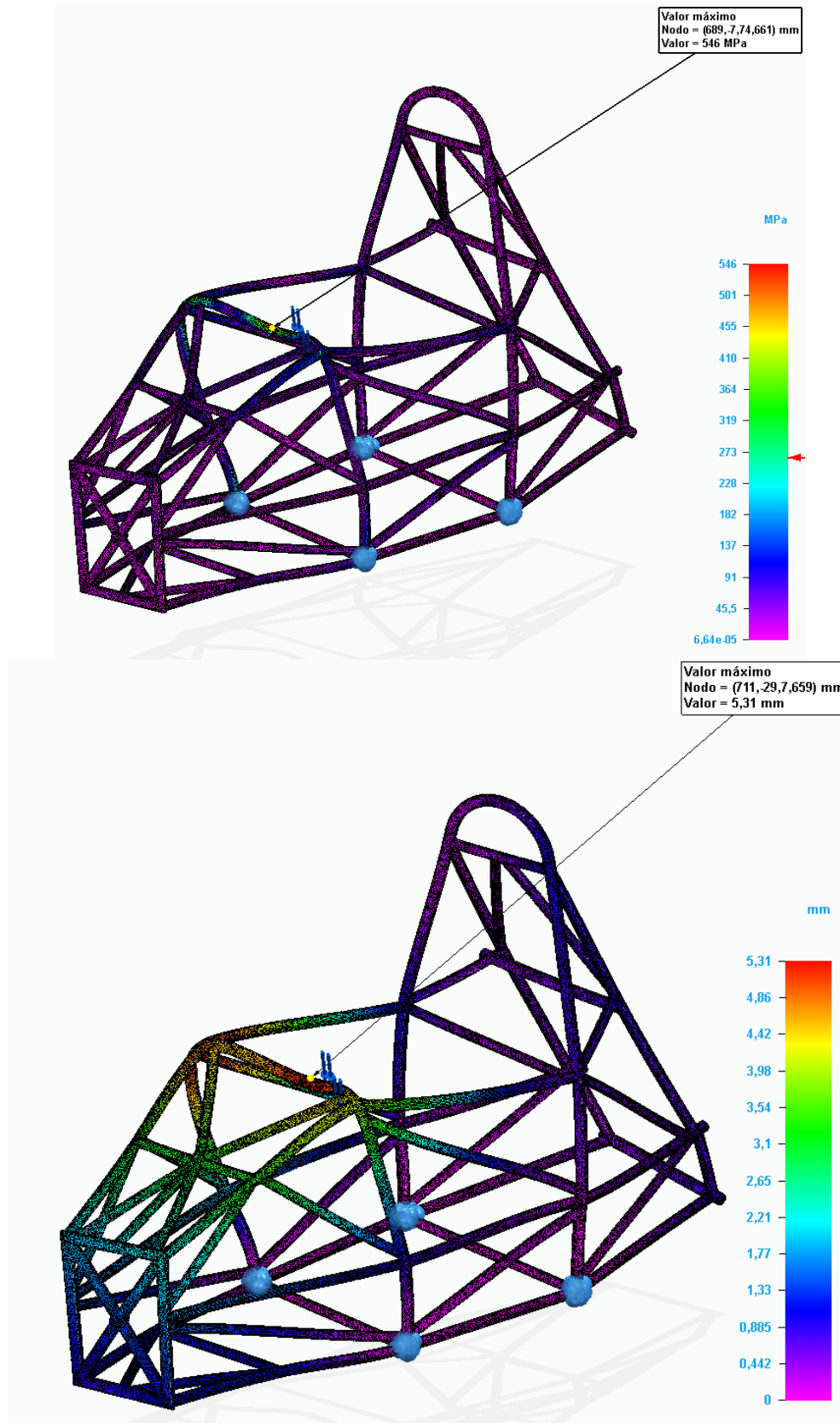


Figura 9.6. Chasis B_S2

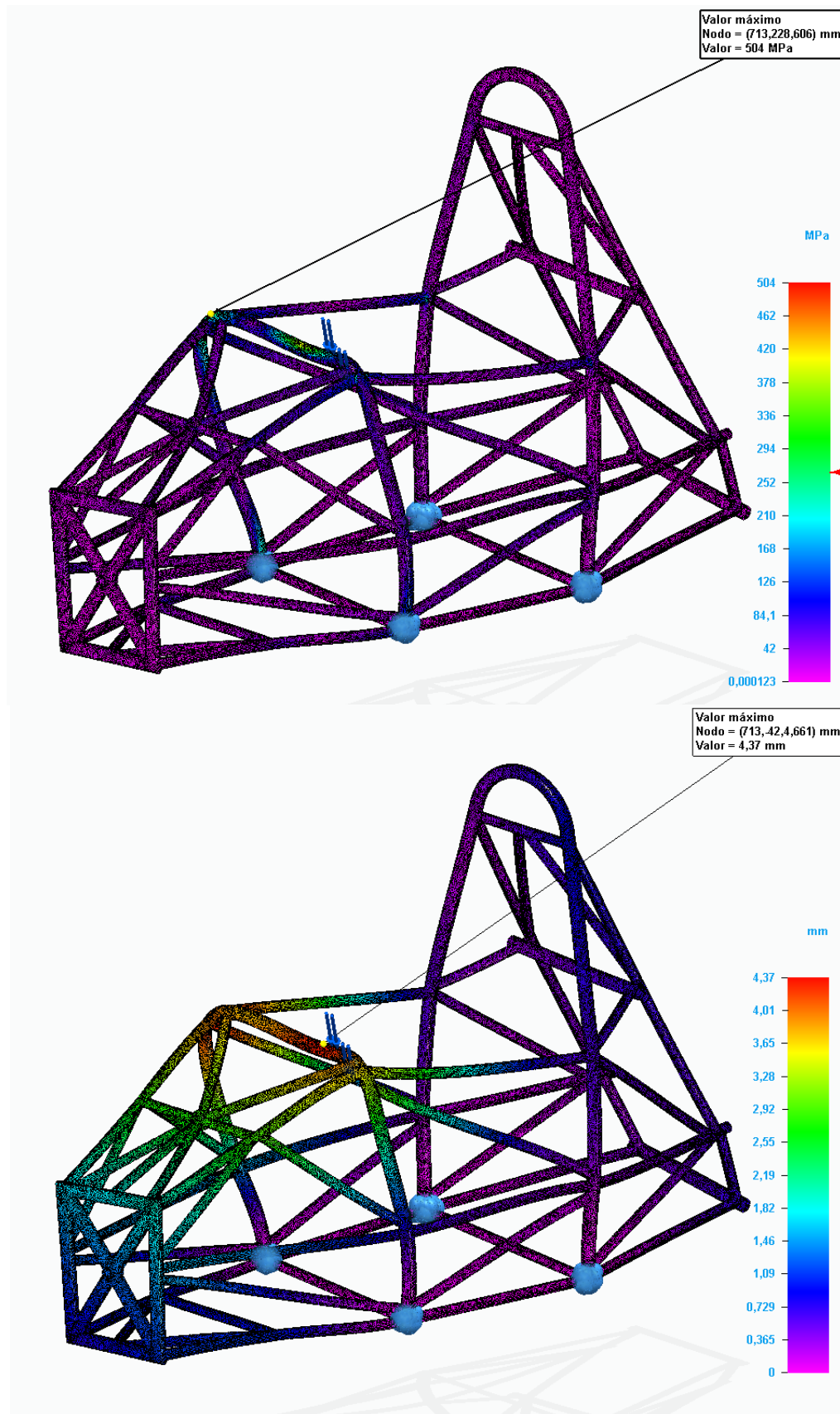


Figura 9.7. Chasis B_S3

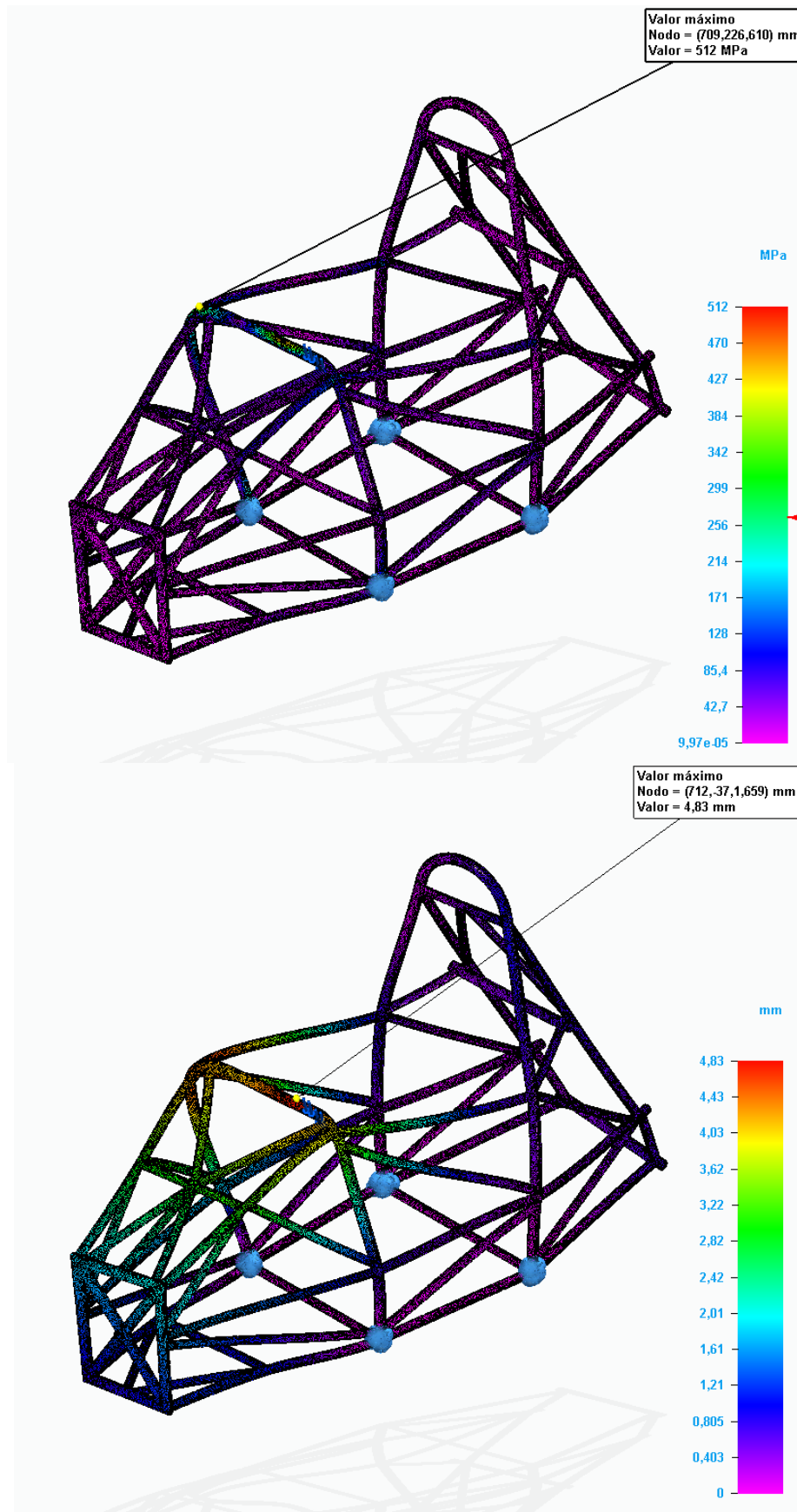


Figura 9.8. Chasis B_S4

9.1.3. Estructura de impacto frontal

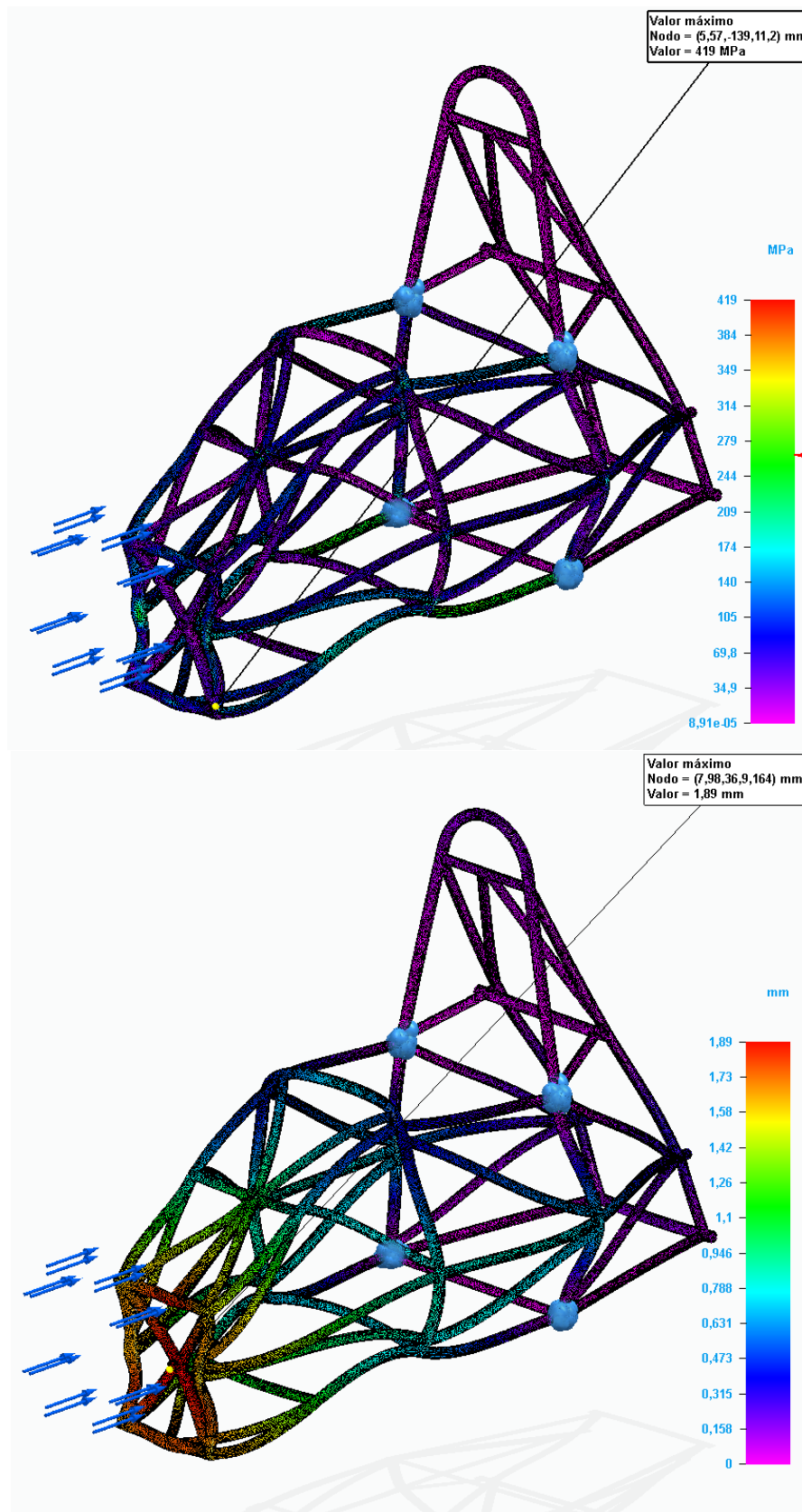


Figura 9.9. Chasis B_S1

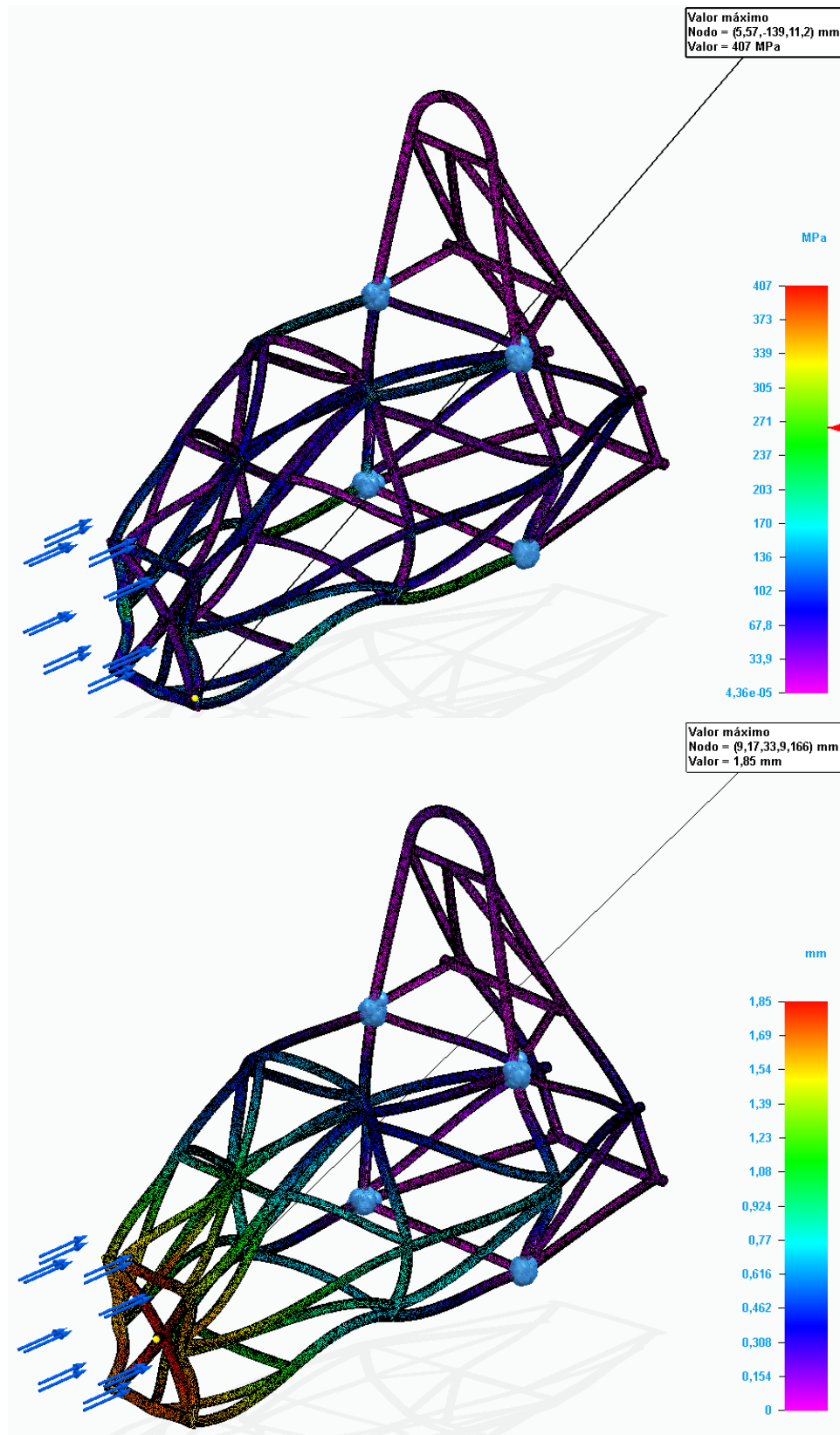


Figura 9.10. Chasis B_S2

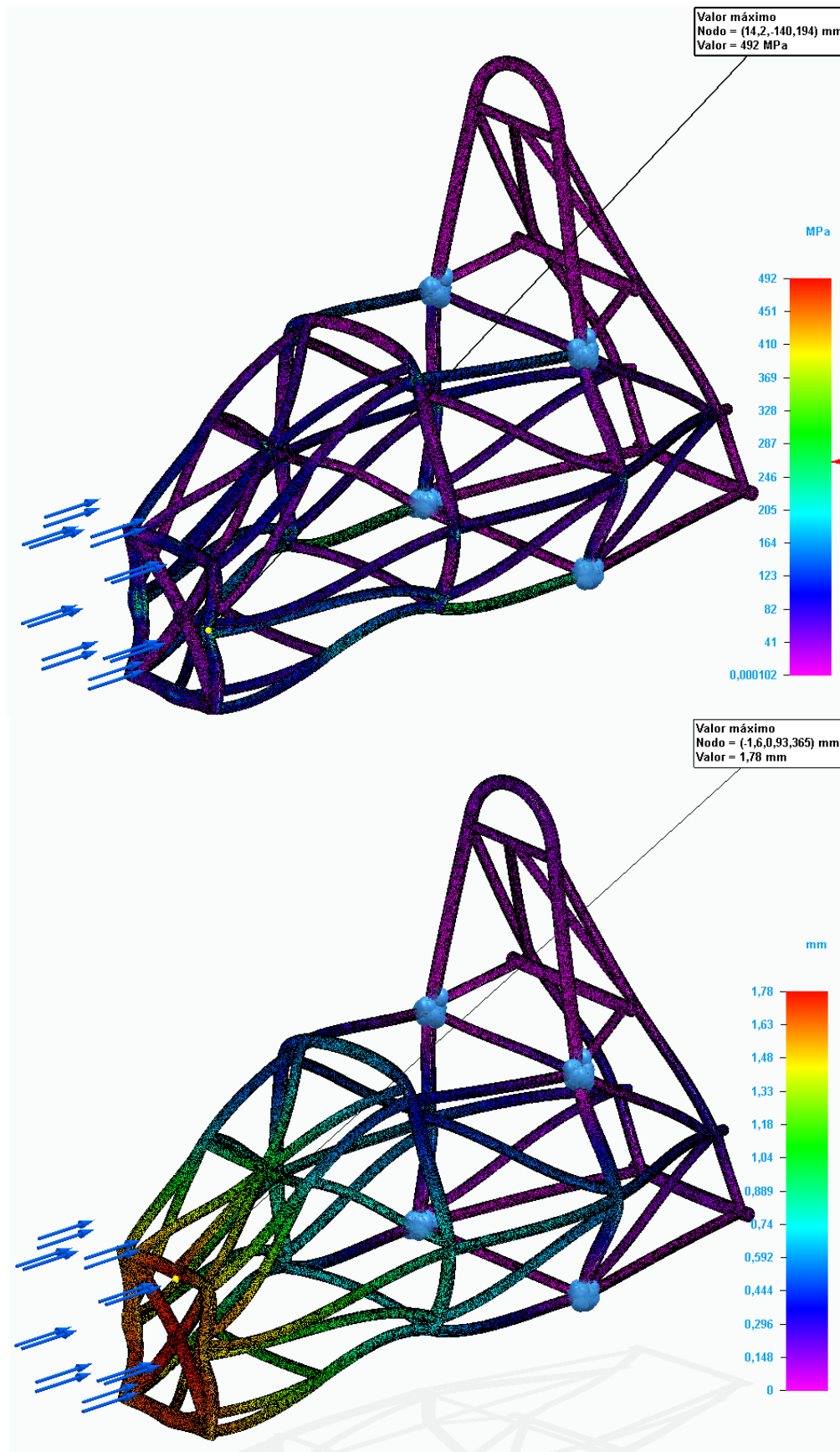


Figura 9.11. Chasis B_S3

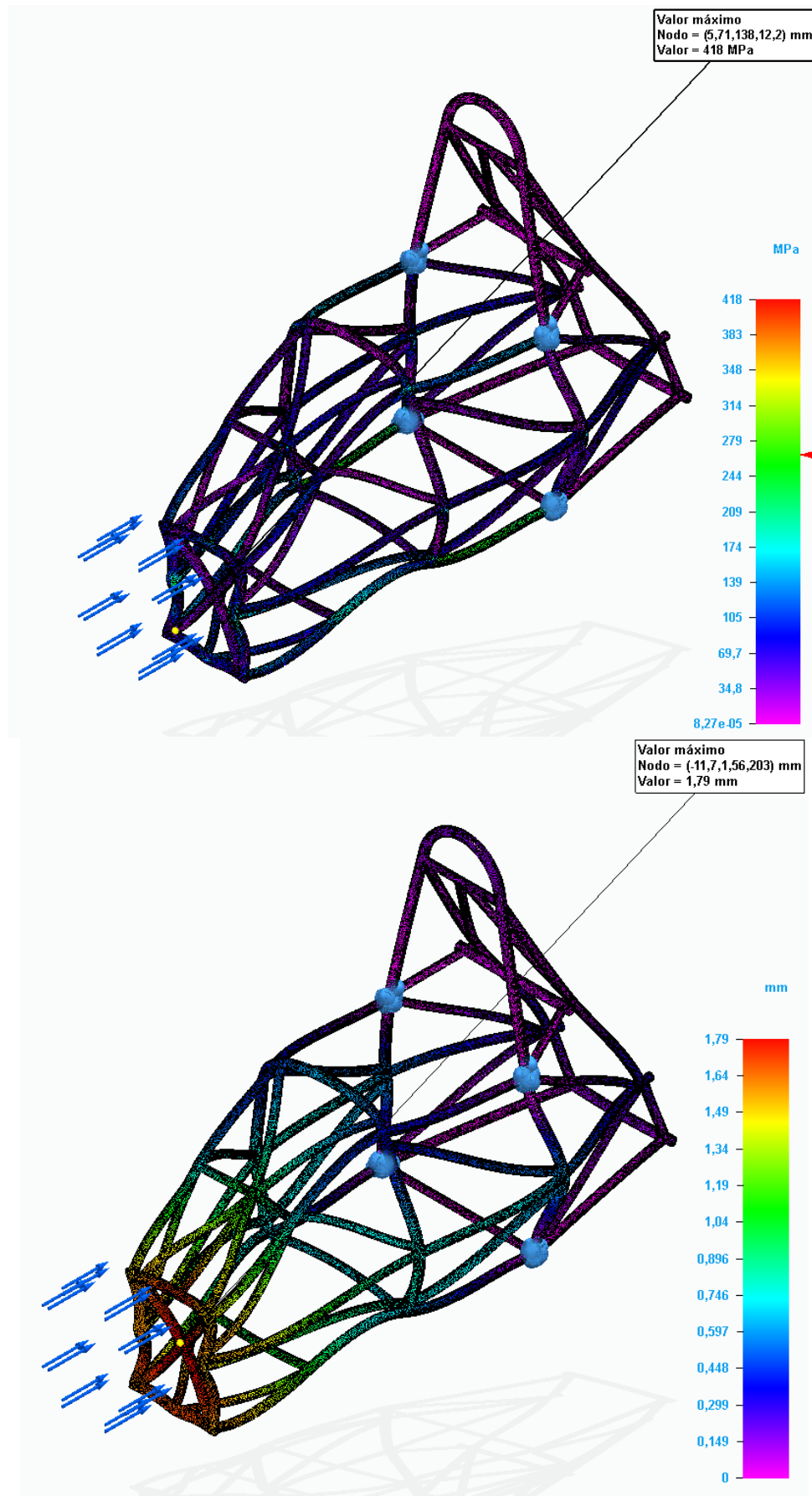


Figura 9.12. Chasis B_S4

9.1.4. Estructura de impacto lateral

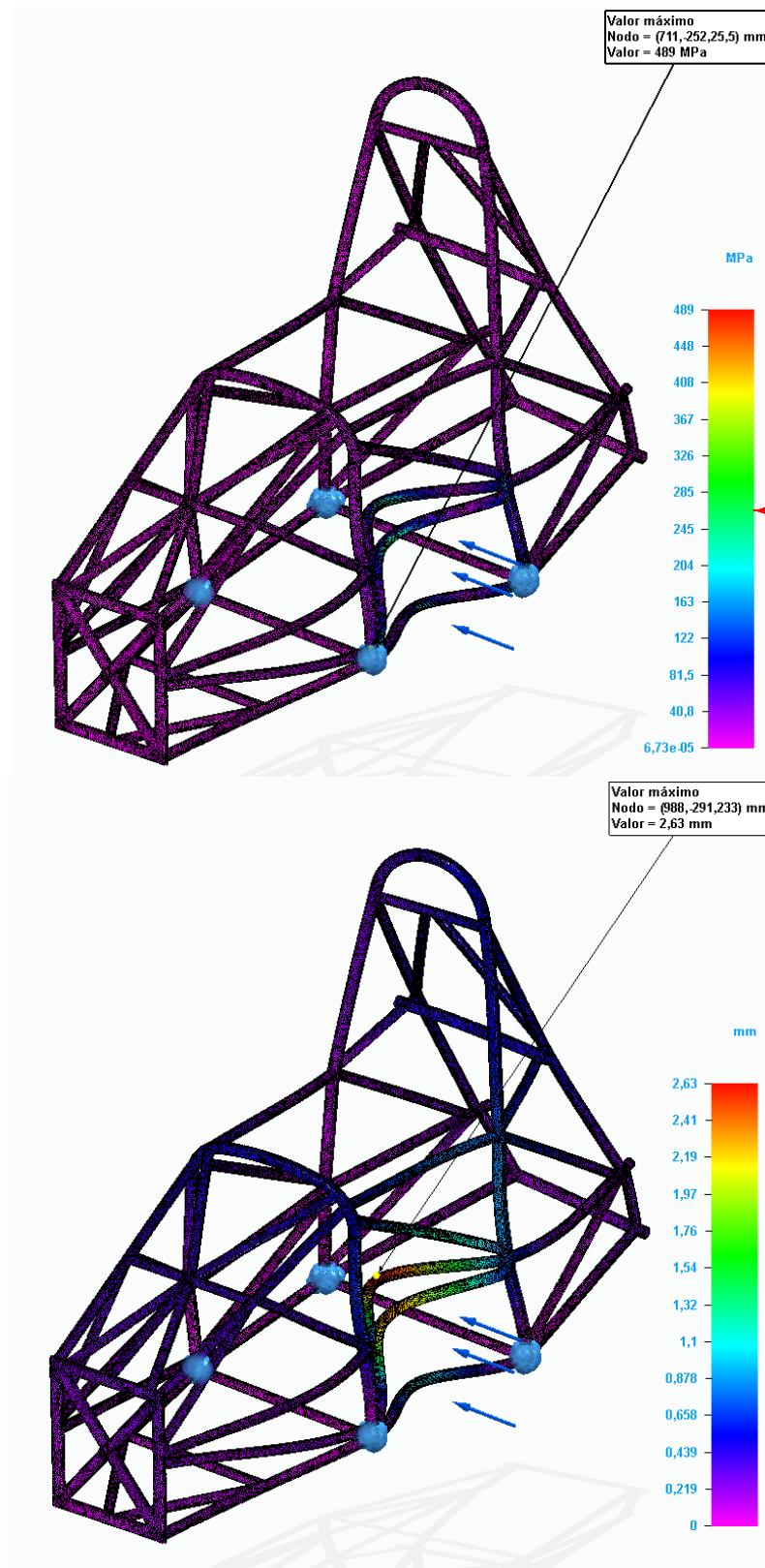


Figura 9.13. Chasis B_S1

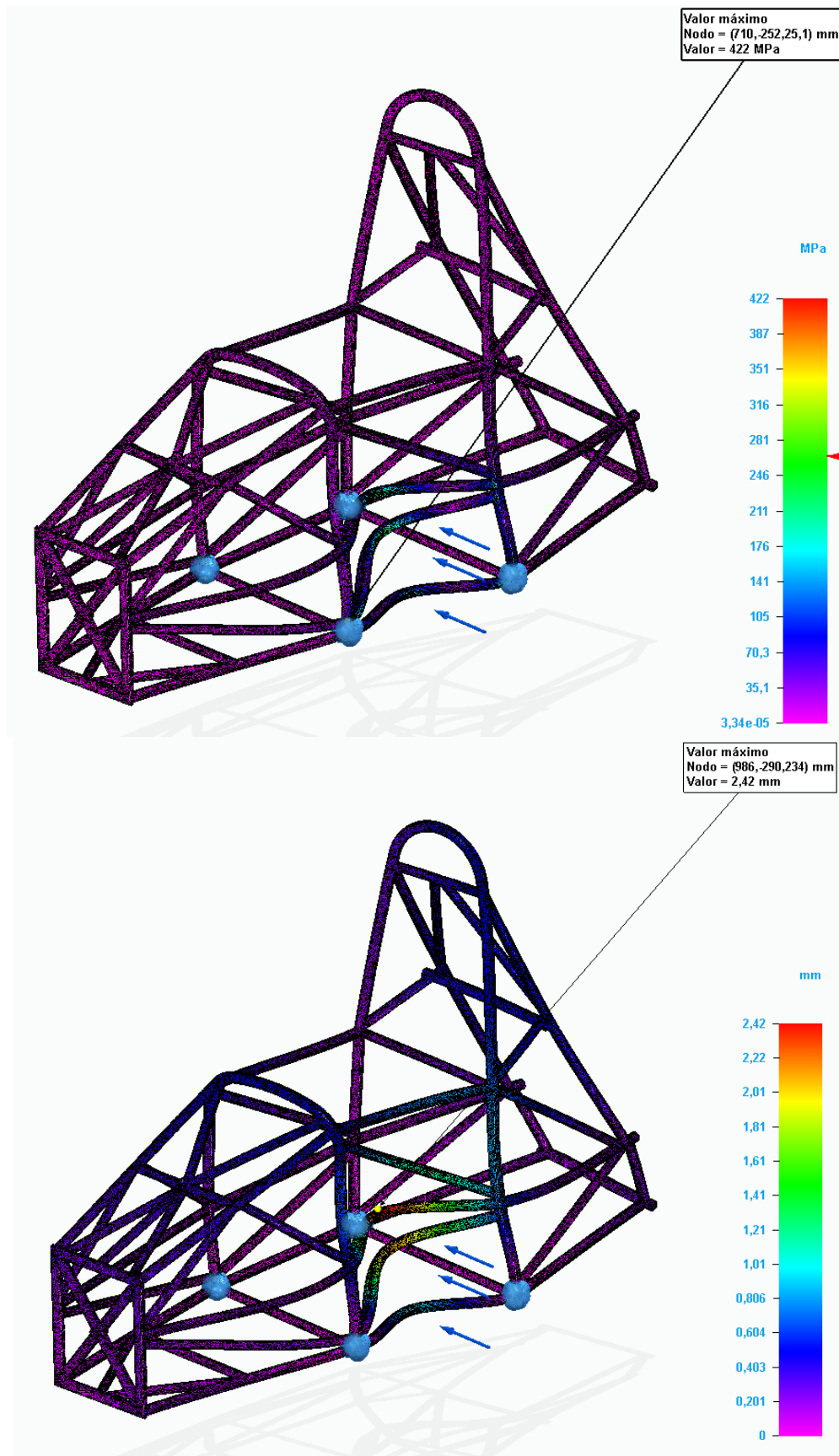


Figura 9.14. Chasis B_S2

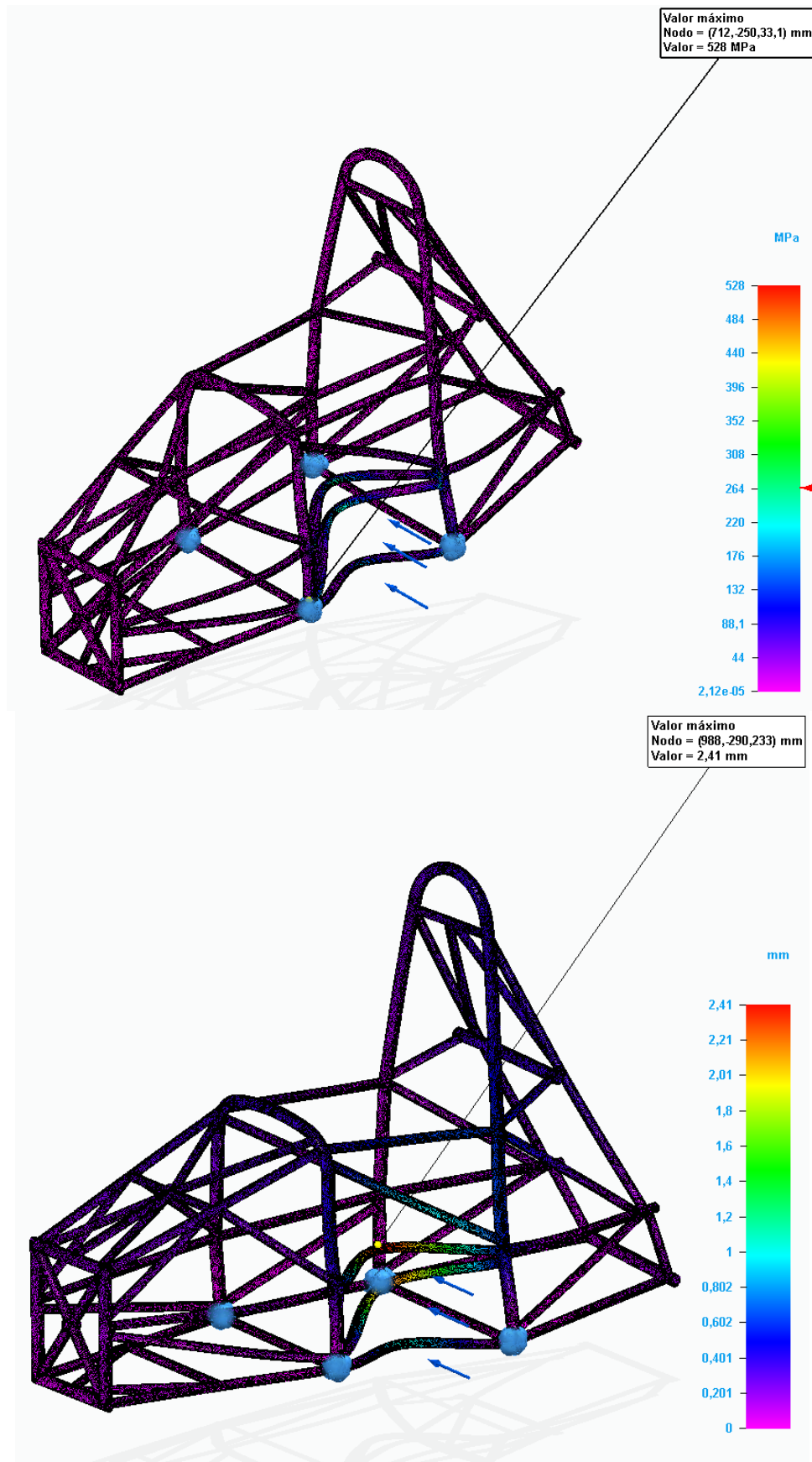


Figura 9.15. Chasis B_S3

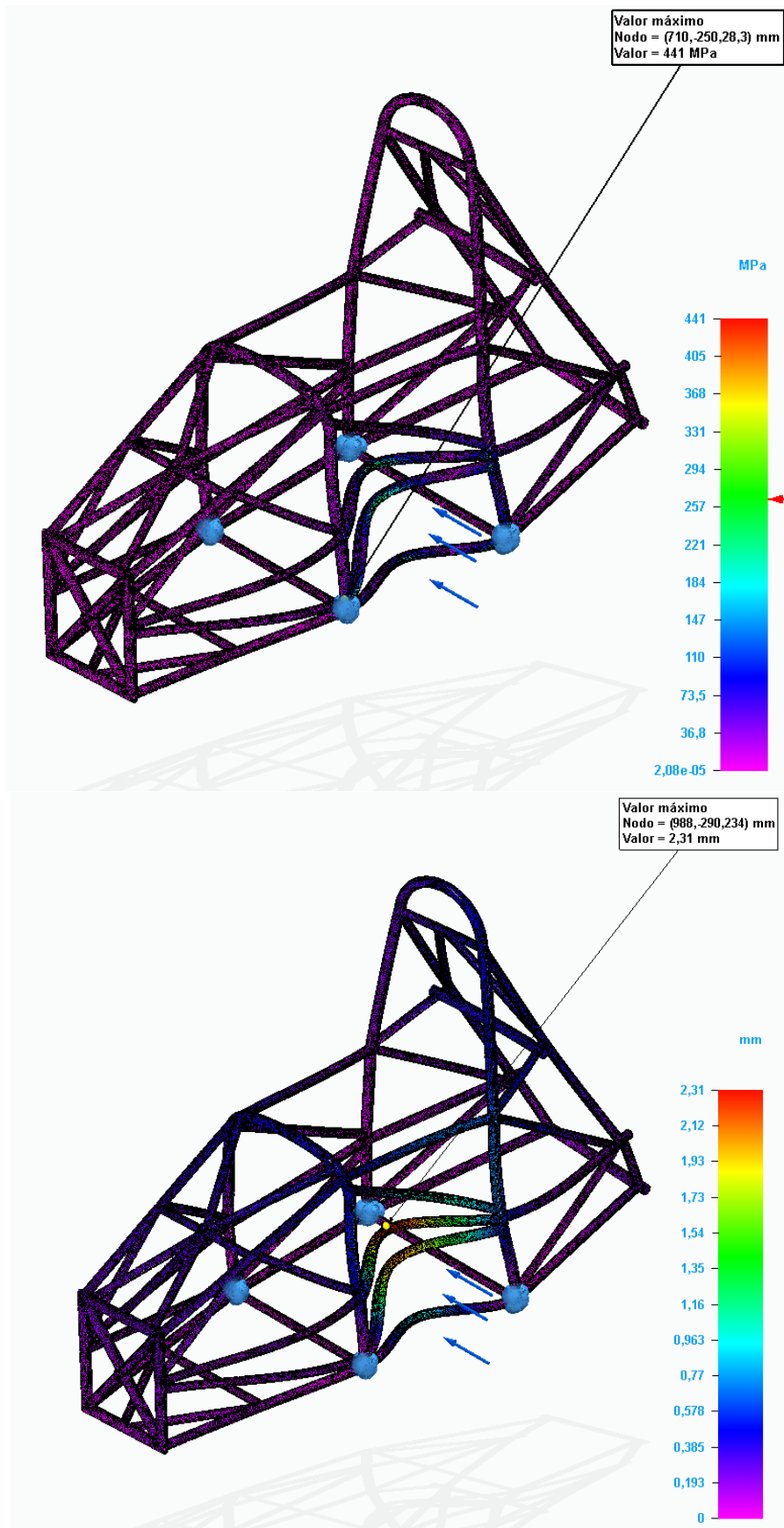


Figura 9.16. Chasis B_S4

9.2. Simulaciones capítulo 8.3

9.2.1. Arco principal

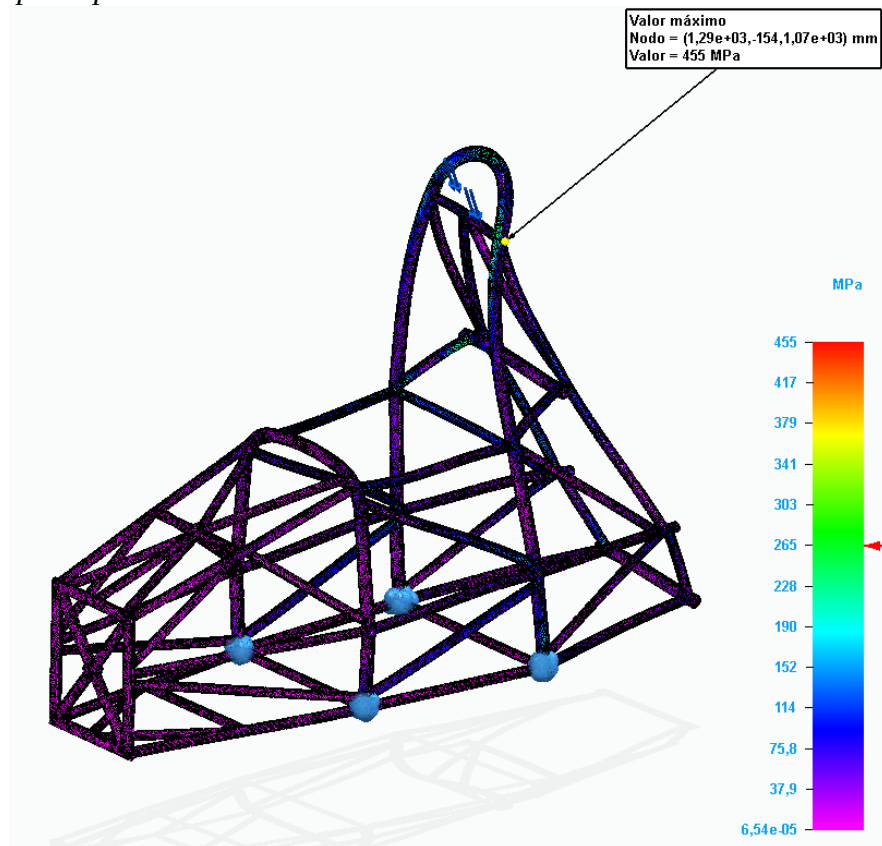


Figura 9.17. Elemento tetraédrico

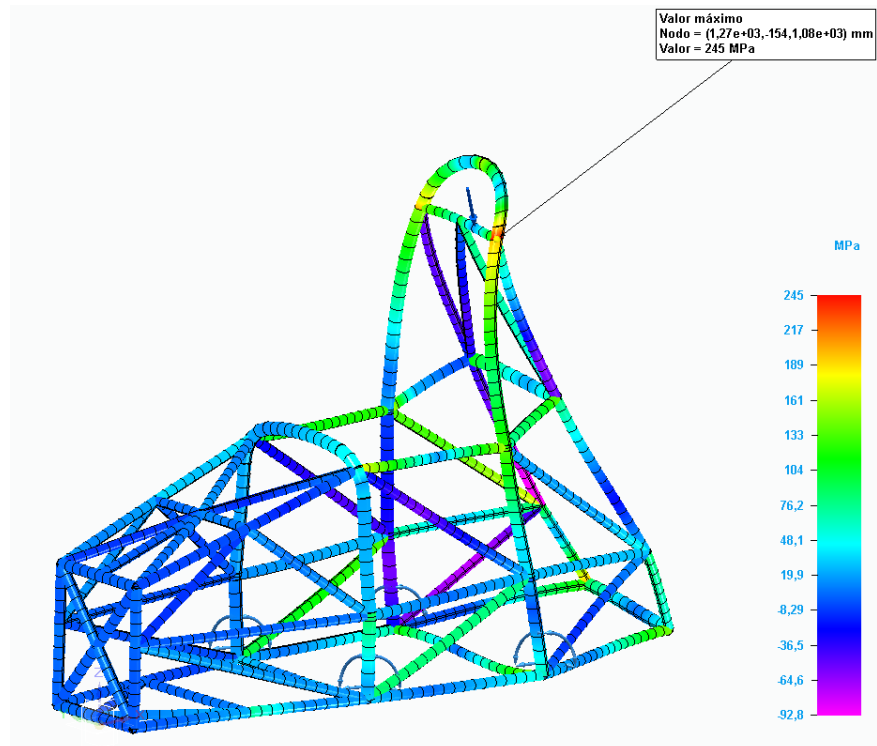


Figura 9.18. Elemento viga

9.2.2. Arco frontal

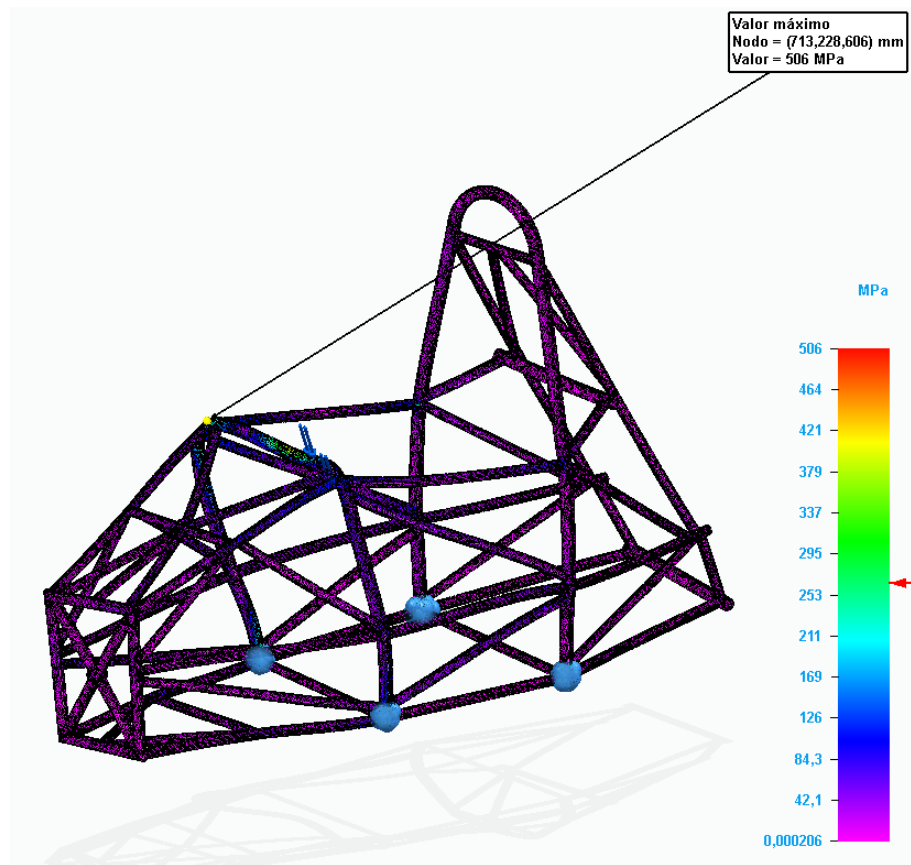


Figura 9.19. Elemento tetraédrico

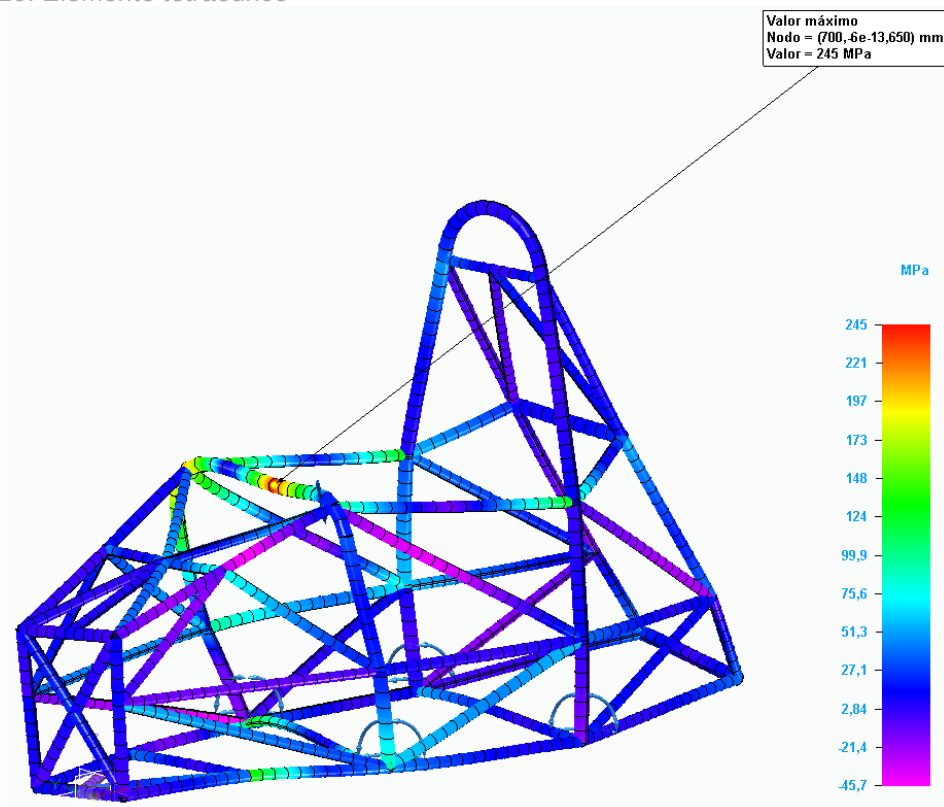


Figura 9.20. Elemento viga

9.2.3. Estructura de protección delantera

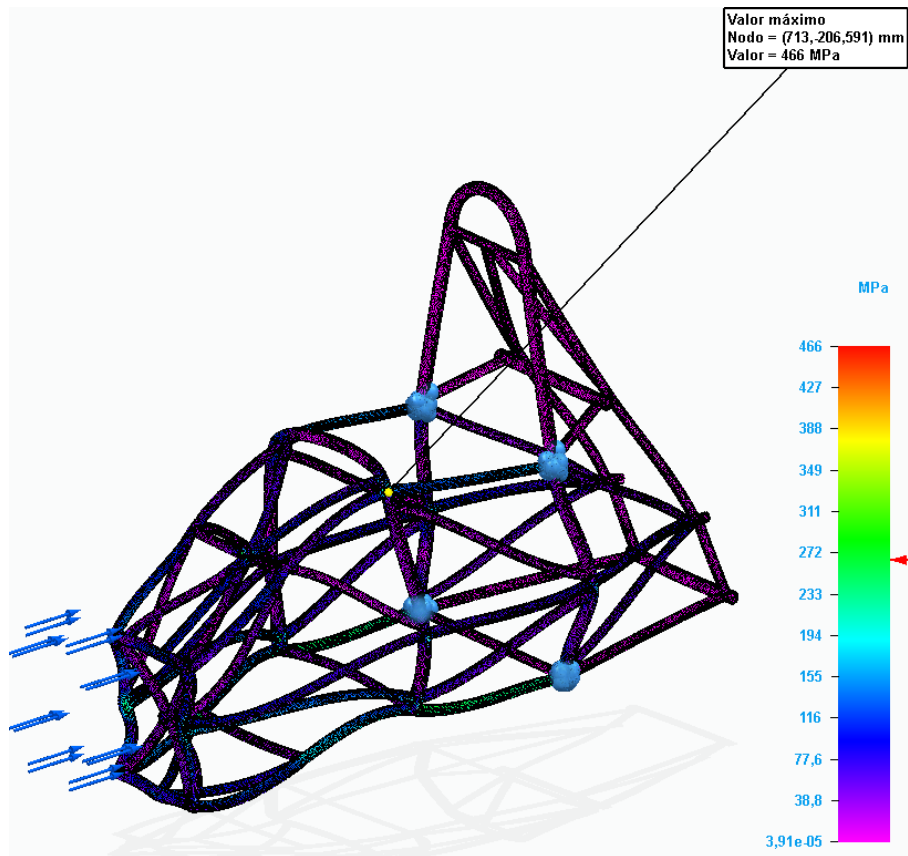


Figura 9.21. Elemento tetraédrico

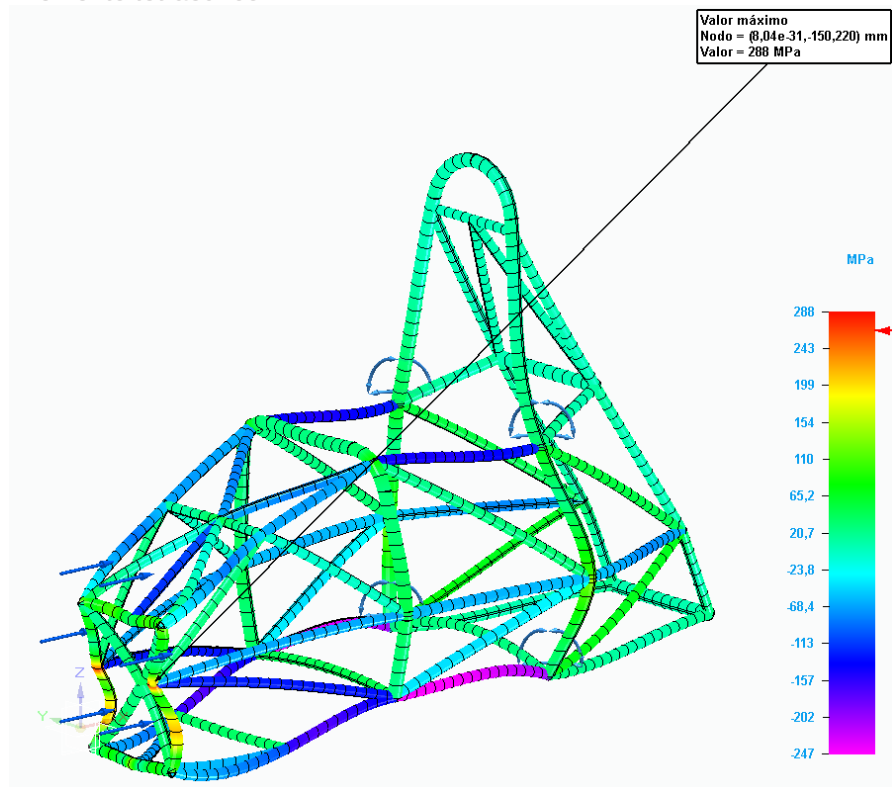


Figura 9.22. Elemento viga

9.2.4. Estructura de impacto lateral

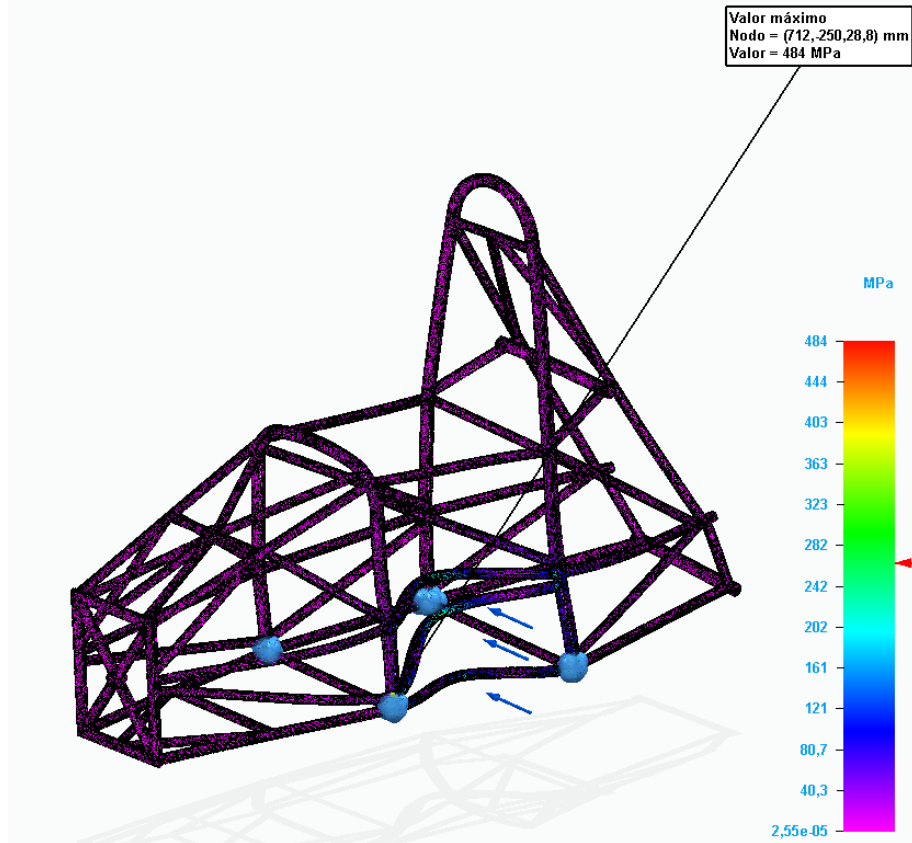


Figura 9.23. Elemento tetraédrico

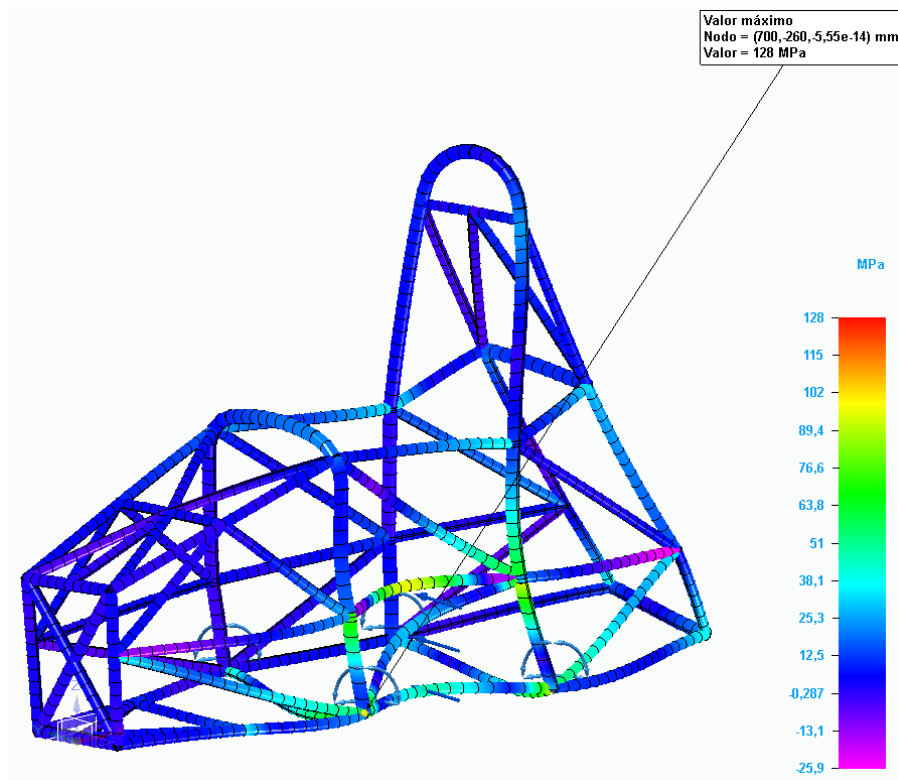


Figura 9.24. Elemento viga

10. MATERIALES Y METODO DE FABRICACIÓN DEL CHASIS

10.1. Materiales empleados

Tal y como se ha visto en los puntos anteriores, se ha diseñado un chasis formado por tubos de acero de diversas secciones. De modo que, a continuación, se van a presentar las distintas secciones de tubo a emplear, y la cantidad de tubo que se va a necesitar de cada tipo a partir de las longitudes de corte que se han recogido en los planos.

El tipo de acero y sus propiedades se han obtenido del catálogo de “CONDESA Grupo”, el cual se muestra en la figura 10.1. Vamos a elegir, por sus propiedades, tubos de acero S355 J2H y, como ya se ha visto anteriormente, en nuestro caso el espesor es menor de 3 mm, por tanto, $t < 3\text{mm}$.

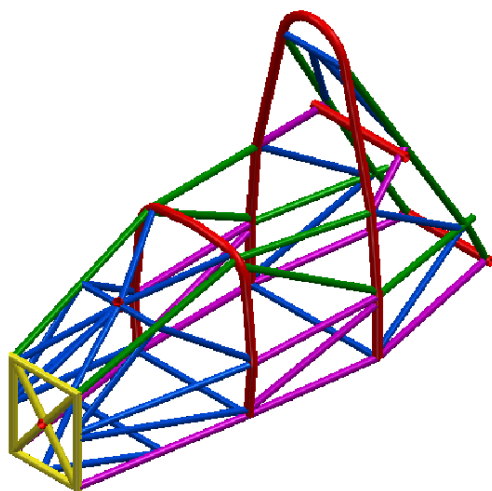
Características mecánicas de los perfiles tubulares para construcción de acero no aleado según normas EN 10219 y EN 10210.

DESIGNACIÓN DE ACERO	LÍMITE ELÁSTICO MÍNIMO N/mm²	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN N/mm²		ALARGAMIENTO MÍNIMO %		RESISTENCIA A LA FLEXIÓN POR CHOQUE		
	ESPESOR NOMINAL T ≤ 16 mm	ESPESOR NOMINAL			ESPESOR NOMINAL T ≤ 40 mm		TEMPERATURA DE RECARGO °C	ENERGÍA MEDIA MIN. AUTORIZADA PARA LAS PROBETAS NORMALIZADAS J
		T < 3 mm	FRÍO	CALENTE				
			3 mm ≤ T ≤ 40 mm	3 mm ≤ T ≤ 40 mm	FRÍO	CALENTE		
S 275 J0H	275	430/580	410/560		20 °	23	0	27
S 355 J2H	355	510/680	470/630		20 °	22	-20	27

a. Para tamaños de perfil D/T < 15 (sección circular) y (B+H)/2T < 12,5 (sección cuadrada y rectangular) el alargamiento mínimo se reduce a la mitad.

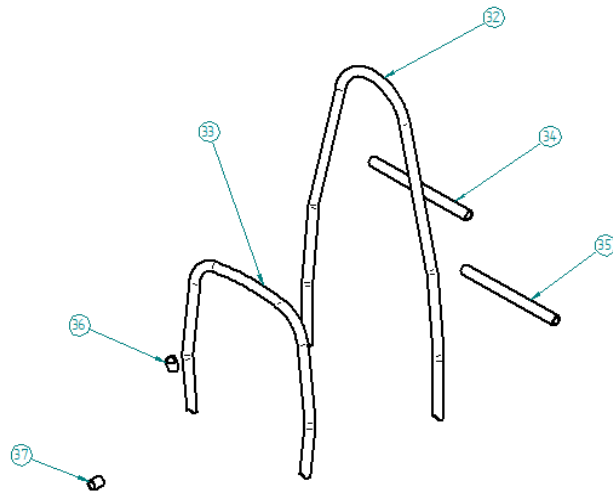
Figura 10.1. Propiedades de los tubos de acero.

Vamos a clasificar las secciones y a enumerar cada una de las barras tal y como se muestra en las figuras 10.2. a la 10.7.



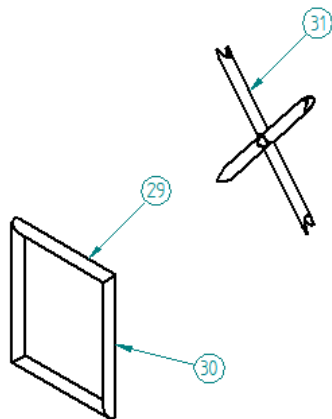
Nombre	Dimension	Color
Sección A	∅ 35 e = 2,5	ROJO
Sección B	∅ 30 e = 2,5	AMARILLO
Sección C	∅ 28 e = 1,5	VIOLETA
Sección D	∅ 26,9 e = 1,5	VERDE
Sección E	∅ 25 e = 1,5	AZUL

Figura 10.2. Conjunto completo



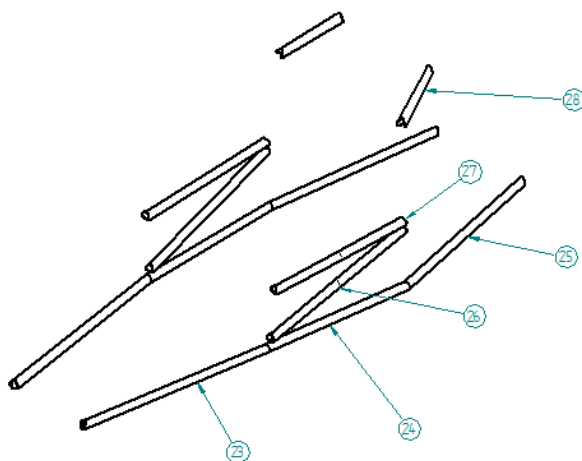
Número de elemento	Sección de tubo	Cantidad	Longitud de corte (mm)
32	ø35 - e 2,5 mm	2	2634 + 10%
33	ø35 - e 2,5 mm	2	1620 + 10%
34	ø35 - e 2,5 mm	2	440
35	ø35 - e 2,5 mm	2	420
36	ø35 - e 2,5 mm	2	40
37	ø35 - e 2,5 mm	4	40

Figura 10.3. Tubos de sección A.



Número de elemento	Sección de tubo	Cantidad	Longitud de corte (mm)
29	ø30 - e 2,5 mm	2	330
30	ø30 - e 2,5 mm	2	410
31	ø30 - e 2,5 mm	4	231

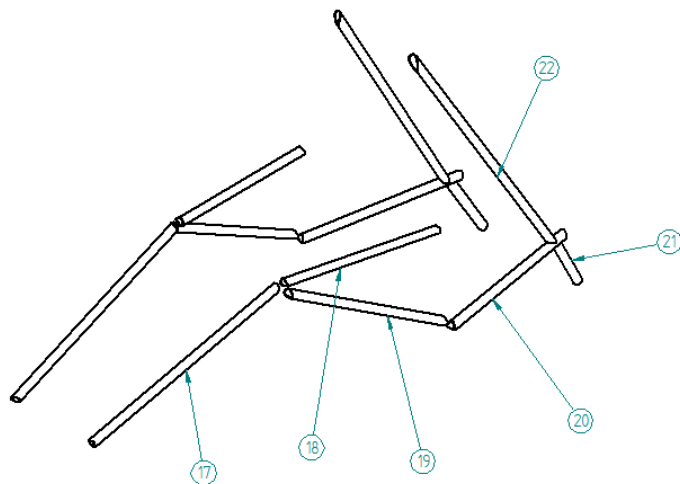
Figura 10.4. Tubos de sección B.



Número de elemento	Sección de tubo	Cantidad	Longitud de corte (mm)
23	ø28 - e 15 mm	2	704
24	ø28 - e 15 mm	2	575
25	ø28 - e 15 mm	2	632
26	ø28 - e 15 mm	2	574
27	ø28 - e 15 mm	2	549
28	ø28 - e 15 mm	2	227

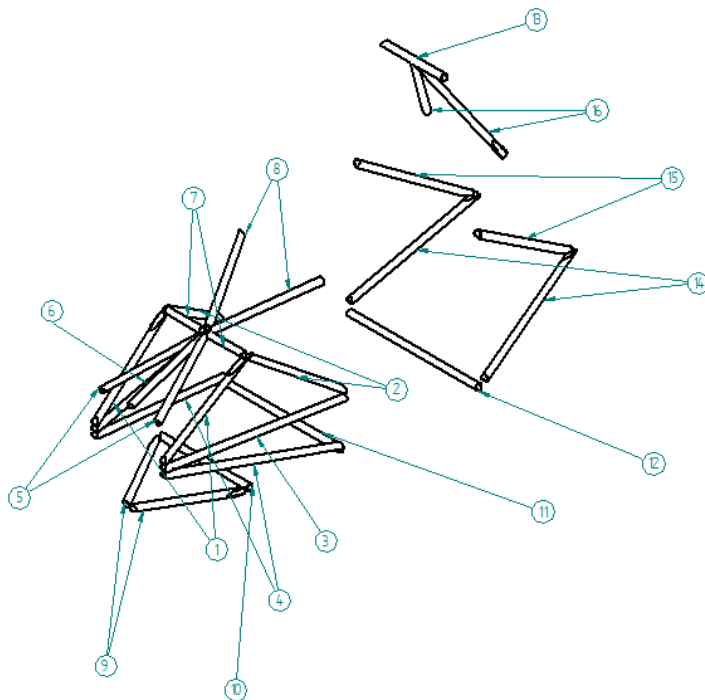
Figura 10.5. Tubos de sección C.

JOSÉ TEJADA CASTILLO
DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE



Número de elemento	Sección de tubo	Cantidad	Longitud de corte (mm)
17	∅26,9 - e 15 mm	2	721
18	∅26,9 - e 15 mm	2	554
19	∅26,9 - e 15 mm	2	650
20	∅26,9 - e 15 mm	2	547
21	∅26,9 - e 15 mm	2	241
22	∅26,9 - e 15 mm	2	980

Figura 10.6. Tubos de sección D.



Número de elemento	Sección de tubo	Cantidad	Longitud de corte (mm)
1	∅25 - e 15 mm	2	415
2	∅25 - e 15 mm	2	430
3	∅25 - e 15 mm	2	692
4	∅25 - e 15 mm	2	709
5	∅25 - e 15 mm	2	368
6	∅25 - e 15 mm	1	348
7	∅25 - e 15 mm	2	160
8	∅25 - e 15 mm	2	390
9	∅25 - e 15 mm	2	378
10	∅25 - e 15 mm	1	397
11	∅25 - e 15 mm	1	507
12	∅25 - e 15 mm	1	587
13	∅25 - e 15 mm	1	272
14	∅25 - e 15 mm	2	357
15	∅25 - e 15 mm	2	561
16	∅25 - e 15 mm	2	491

Figura 10.7. Tubos de sección E.

Todos los datos aportados en las figuras anteriores se pueden resumir en la tabla 10, en la cual se recogen los metros lineales totales que se necesitaran cortar, además de la cantidad de tubos a 6 metros de longitud, pues es la longitud comercial de este tipo de tubo, necesaria para cortar todos los tubos.

Tabla 10. Tabla de cantidad de tubos

	Sección A	Sección B	Sección C	Sección D	Sección E
Longitud total (m)	10840	2404	6522	7386	12003
Cant. De tubos (6m/tubo)	2 uds.	1 uds.	2 uds.	2 uds.	3 uds.

10.2. Corte y utillaje

Uno de los problemas a solventar a la hora de la fabricación del chasis es el corte de los extremos de cada pieza para que encaje cada una en su lugar.

Para ello, se ha pensado en llevar a cabo la fabricación de unas plantillas para cortar los extremos mediante el empleo de la tecnología de impresión 3D. El material empleado será PLA ya que no necesitamos un acabado superficial liso, como el que se puede conseguir al emplear acetona con el ABS, y es un material fácil de utilizar debido a que, a diferencia del ABS, no sufre separación entre capas o despegue de la pieza de la cama provocando “warping”.



Figura 10.8. Modelo 3D.

JOSÉ TEJADA CASTILLO

DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE

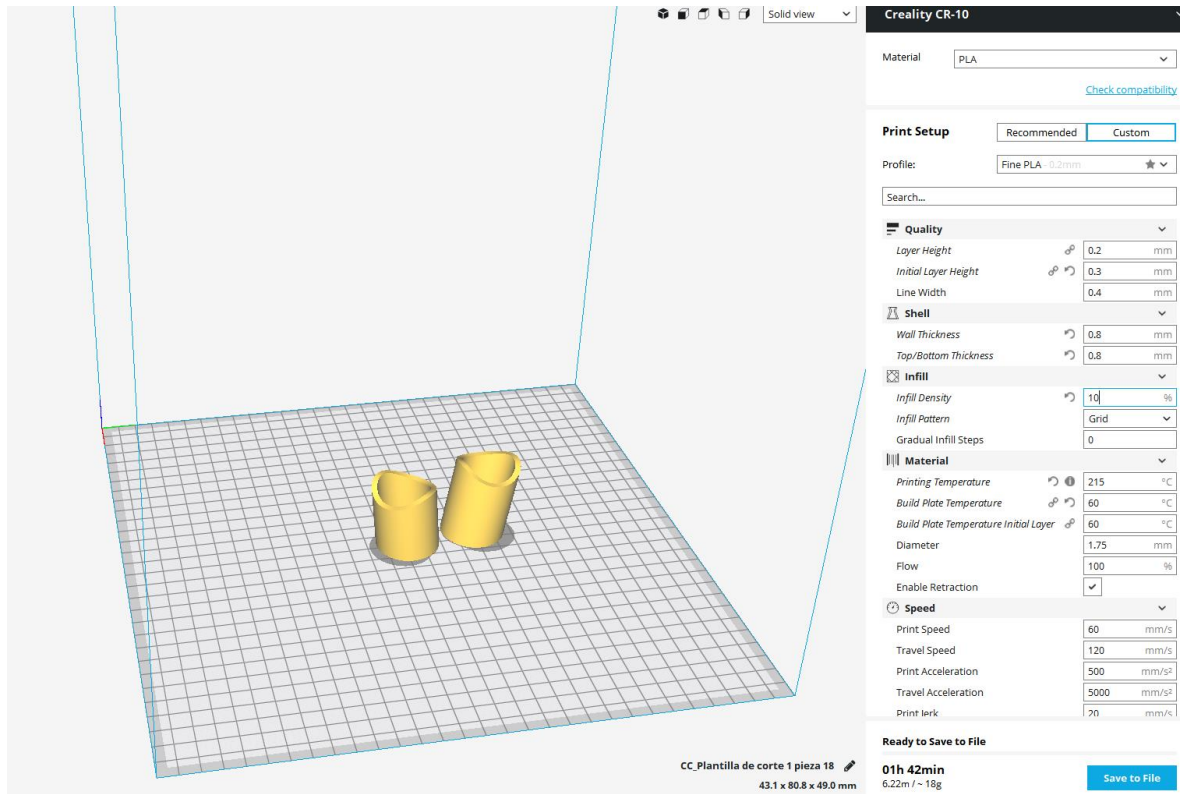


Figura 10.9. Programa impresión 3D.

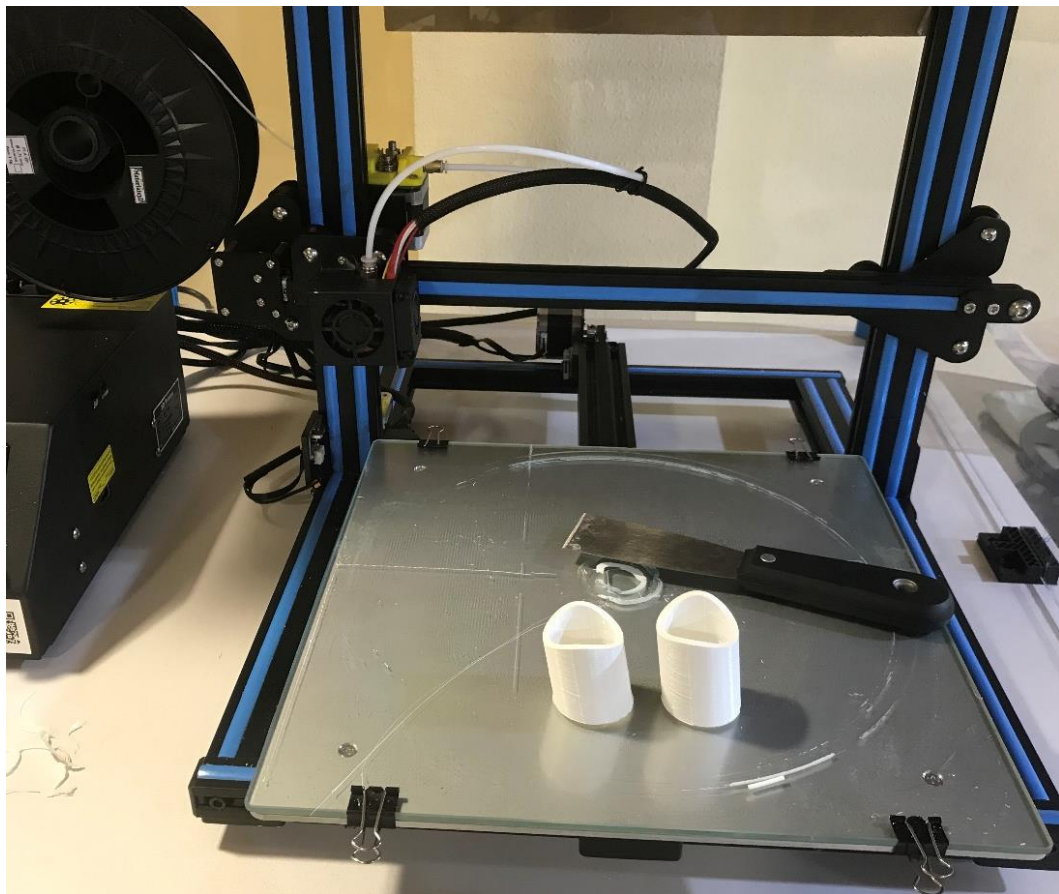


Figura. 10.10. Plantilla realizada en impresión 3D.

La idea es que estas plantillas sirvan de guía para marcar cada tubo con su forma, para posteriormente proceder a su corte mediante radial. De este modo conseguimos que el extremo del tubo quede con una forma muy aproximada a la forma de la cara a la que se va a enfrentar. Lo que ayudara a su colocación y posterior soldadura, puesto que eliminamos las distancias que quedaría si se cortan los tubos de forma recta, lo que dificultaría la soldadura y nos obligaría a emplear material de aporte, quedando una soldadura de peor calidad.

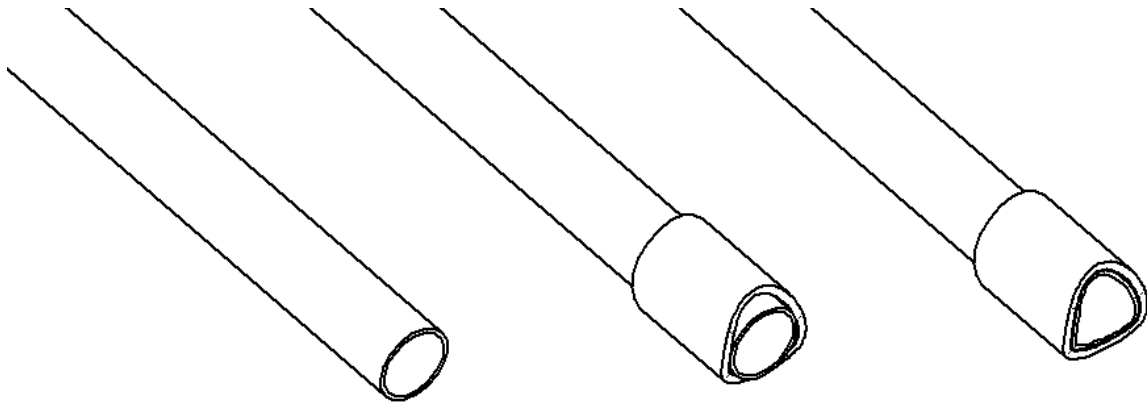


Figura 10.11. Método de corte.

De igual modo, mediante impresión 3D, podemos fabricar unos modelos para que nos sirvan de apoyo a la hora de montar la base del chasis formada por el arco principal, el arco frontal, la estructura de protección delantera y los largueros inferiores tal y como se muestra en la figura 10.12 y 10.13. Además, estos utillajes cuentan también con aberturas para introducir los tubos inferiores del resto de la estructura que forma el chasis.

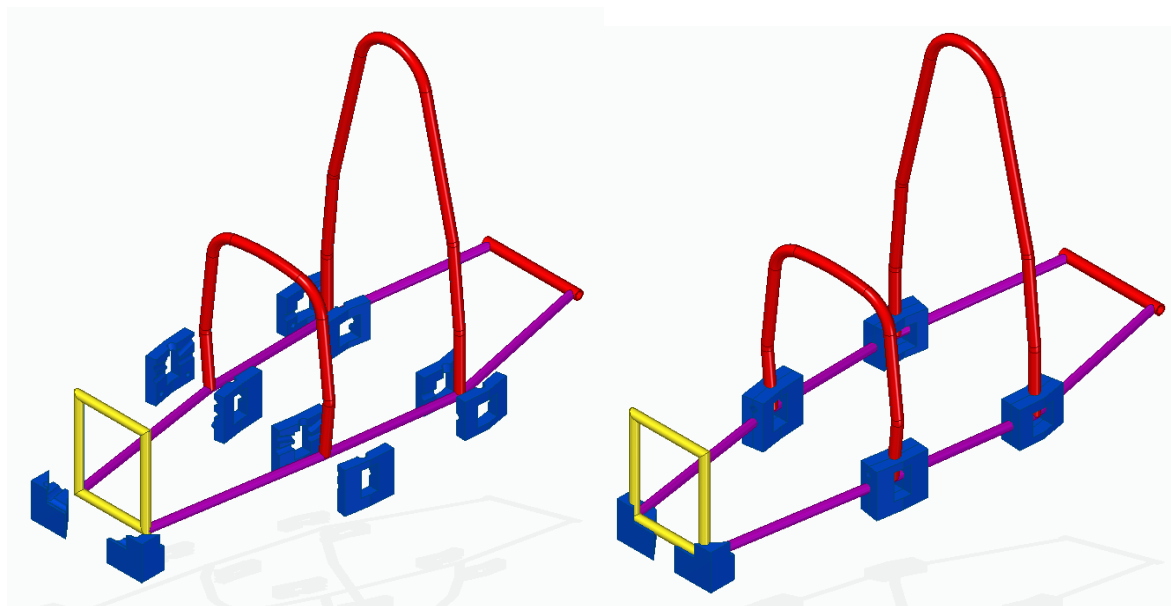


Figura 10.12. Imagen de utillaje de la base del chasis

JOSÉ TEJADA CASTILLO

DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE

De esta forma conseguimos un ayuda importante para comenzar el montaje del chasis, ya que nos va a permitir guiar los tubos a su zona correcta para soldar a la vez que nos da sujeción.

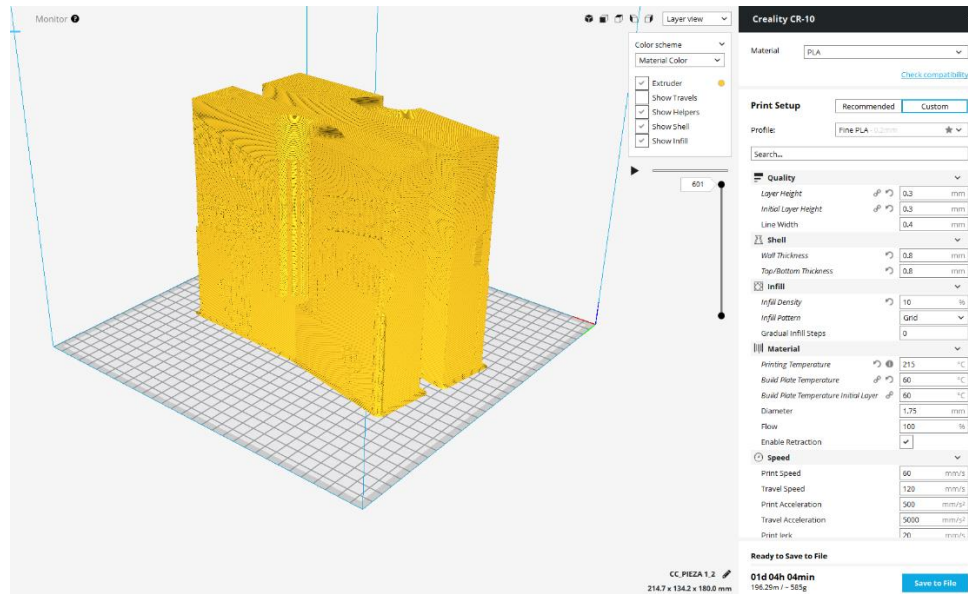


Figura 10.13. Programa para impresora 3D con Ultimaker Cura

11. CONCLUSIONES

A lo largo de este proyecto se han desarrollado varios aspectos técnicos referentes a cómo desarrollar un chasis de Formula SAE y a la normativa técnica que este ha de cumplir.

A partir de la normativa oficial, que nos exige una serie de pautas a cumplir en lo referente a la geometría del chasis, secciones mínimas de tubo, tipo de material, etc., se ha realizado el diseño de un chasis tubular con una configuración de tubo final tal y como se visto en el apartado 8.4., la cual cumple con la equivalencia SES (Structural Equivalency Spreadsheet) para todas las secciones de tubo empleadas.

Además de cumplir con la equivalencia SES, se pedían una serie de test por medio de elementos finitos, los cuales exigían que no se superasen los 25 mm de deformación y que no ocurriera fallo en la estructura.

Se ha realizado una comparativa de dos métodos de mallado a la hora de realizar los test de elementos finitos, de forma que se ha comprobado que los valores de tensión máxima en las simulaciones mediante elementos viga son menores a las obtenidas por elementos tetraédricos, lo cual se debe como se ha explicado anteriormente, a que una de las hipótesis del elemento viga es que no hay desplazamientos laterales, de forma que se desprecian las deformaciones en el espesor del tubo, es decir, la forma de la sección del tubo permanece constante.

Mediante los ensayos realizados se ha mostrado que los resultados obtenidos por el chasis han quedado por debajo de esta deformación máxima y que la tensión máxima obtenida con elementos tetraédricos no llega al rango de tensión última que nos da el fabricante de los tubos para un acero S355 H2J, lo cual nos indica que tampoco ocurrirá fallo en la estructura.

A pesar de que los resultados con elementos tetraédricos muestran que teóricamente superamos el límite elástico y por tanto estaríamos dentro del rango no lineal de deformación, pero se va a suponer que los valores de deformación máxima en el chasis están lo suficientemente alejados del límite como para no superarlo en el caso de realizar un análisis no lineal, para lo cual sería necesario utilizar un software CAE más potente, como puede ser Femap, Abaqus o Ansys.

Como resultado final se ha obtenido un chasis que tiene una masa teórica de 37,7 kg, lo cual está por dentro un rango de masa aceptable para un chasis fabricado completamente en acero, y está por debajo del que en un principio se marcó como objetivo, obtener un chasis con un peso menor de 40 kg.

Una vez se ha tenido un diseño consistente, que cumple los objetivos y con la normativa marcada, se ha propuesto una idea para llevar a cabo la fabricación del chasis. Diseñando un método de corte, para facilitar el contacto entre los tubos y mejorar la soldabilidad de estos, y un método de montaje por medio de utillaje, todo mediante el empleo de la tecnología de impresión en 3D.

12. BIBLIOGRAFÍA

12.1. Publicaciones

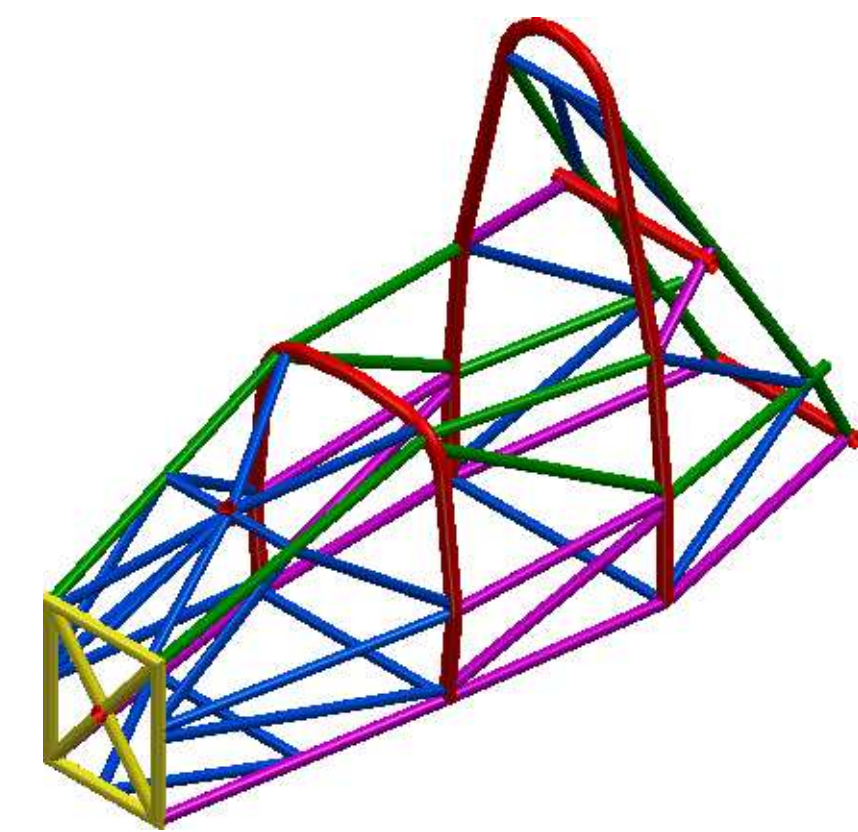
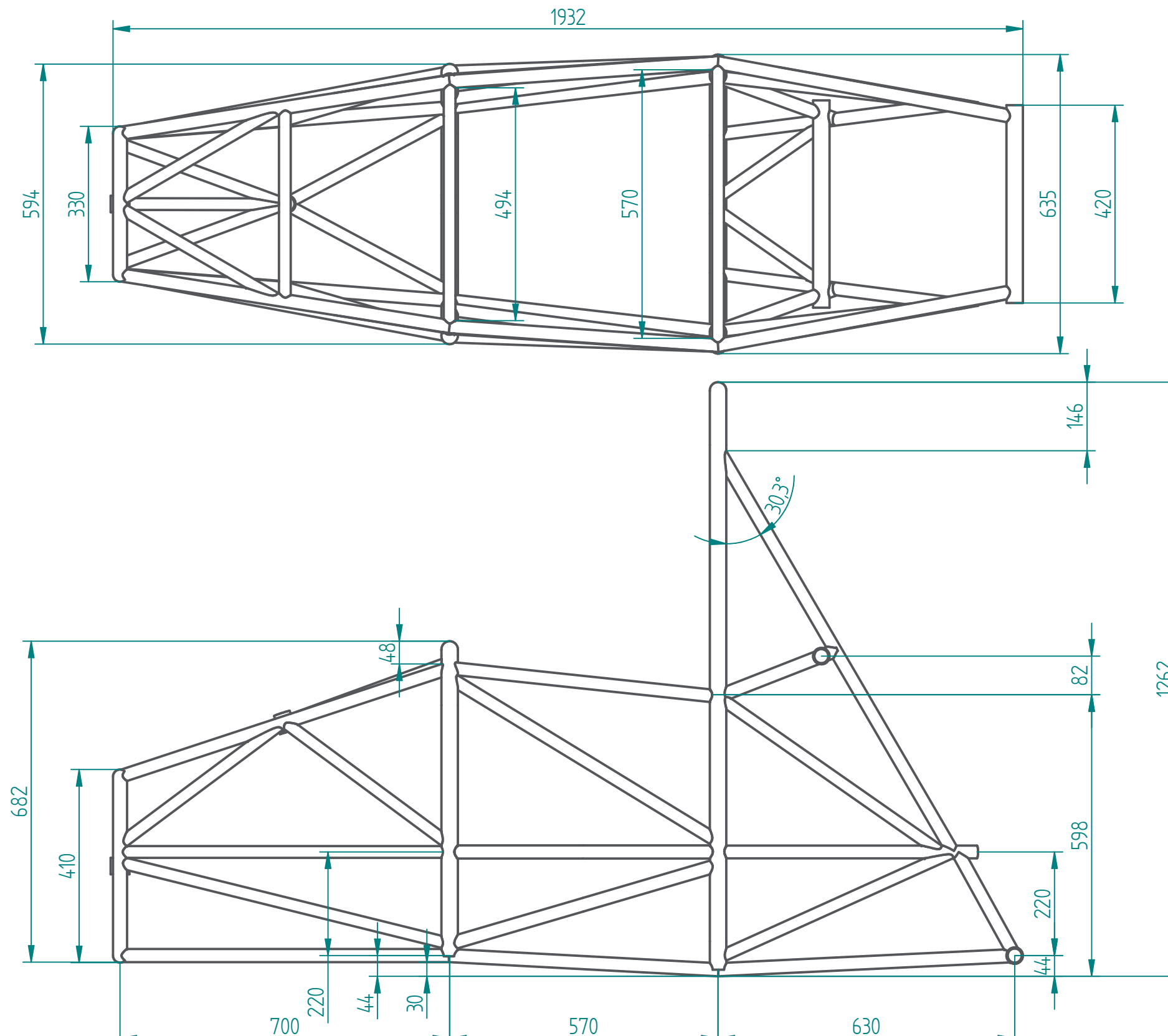
- Formula SAE Rules, 2017/2018
- M. Cascajosa, “*Ingeniería de vehículos. Sistemas y Cálculos*”. 2ª Edición, México: Alfaomega, 2005.
- Richard G. Budynas, J.Keith Nisbett. “*Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley*”. 8ª Edición, México: McGraw-Hill, 2008.
- M. Cervera, E. Blanco. “*Resistencia de Materiales*”. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, 2015
- E. Case, “Formula SAE – Competition History 1981 – 1996”. SAE Technical Paper.
- Departamento de Ingeniería Mecánica y Minera. “*Métodos Avanzados de Diseño Mecánico*”. Curso 2016/2017
- Departamento de Ingeniería Mecánica y Minera. “*Ingeniería de Vehículos*”. Curso 2016/2017

12.2. Referencias

- [1]
<http://www.sccafoundation.com/formula-sae/>
- [2]
<https://www.utaracing.com/legacy/>
- [3]
http://www.elchapista.com/chasis_carrocerias_vehiculos.html
- [4]
<http://www.grupotecun.com/honduras/unidades-de-negocio/transporte/linea-de-chasis-urbanos/item/627-volvo-b340-m-articulado>
- [5]
<https://8000vueltas.com/2016/03/28/formula-ford-el-primer-paso-hacia-el-exito>
- [6]
<https://jalopnik.com/meet-the-progenitor-of-the-carbon-fiber-chassis-1774239202>
- [7]
Formula SAE Rules, 2017/2018

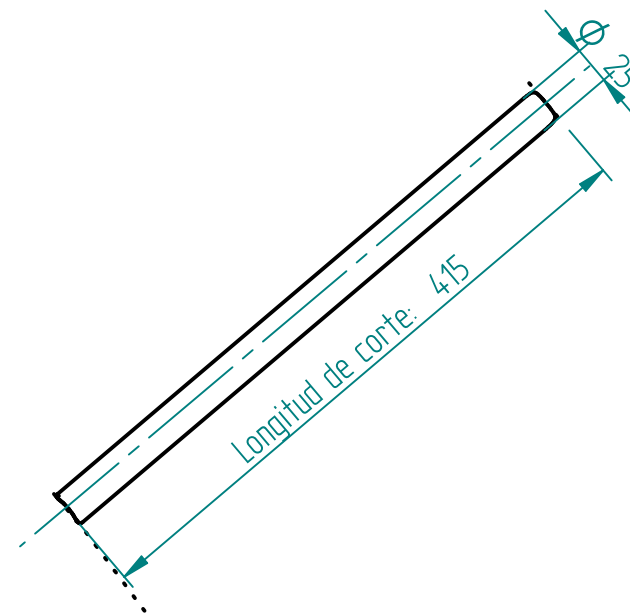
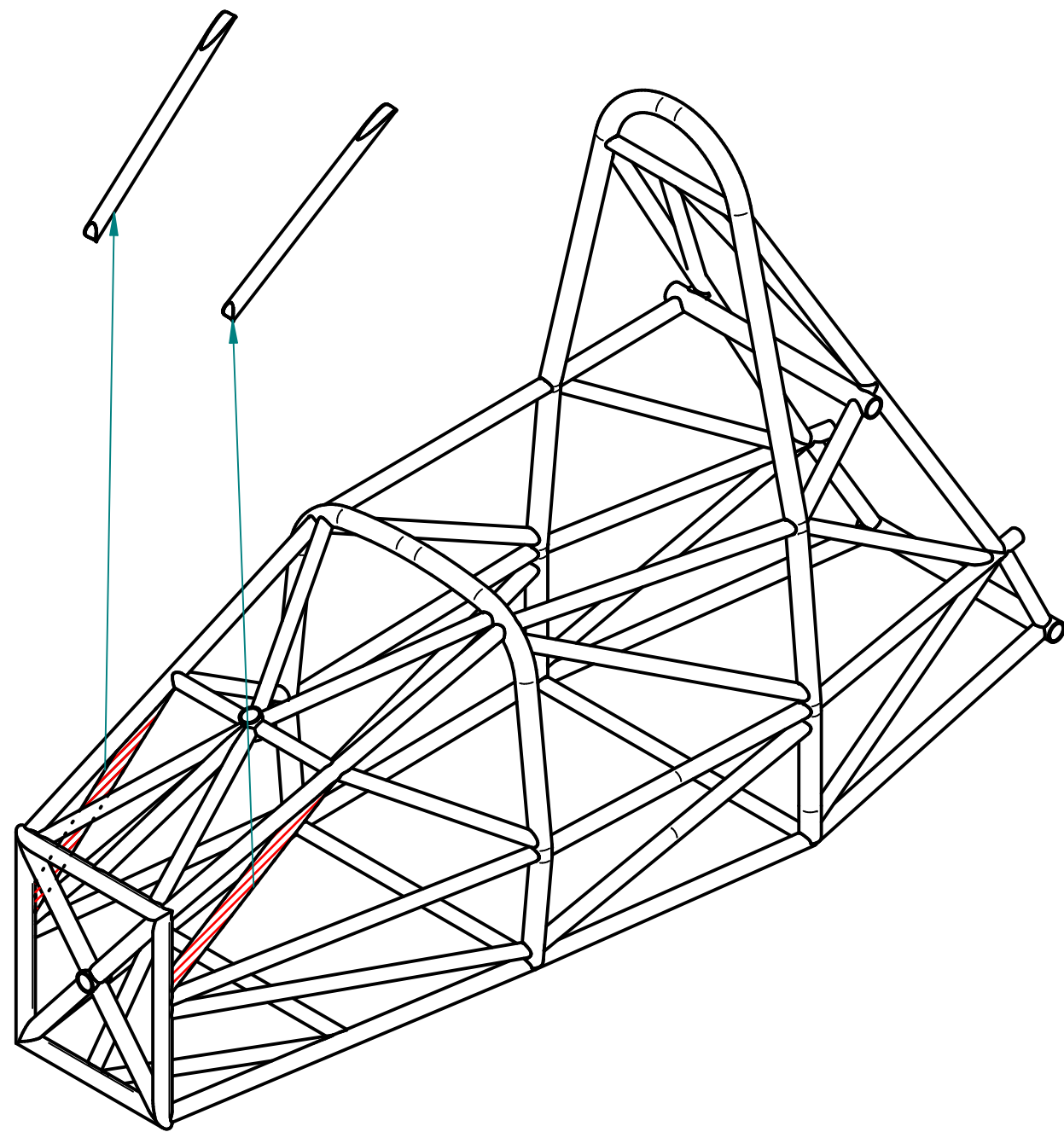
[8]

<https://www.esss.co/blog/es/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>

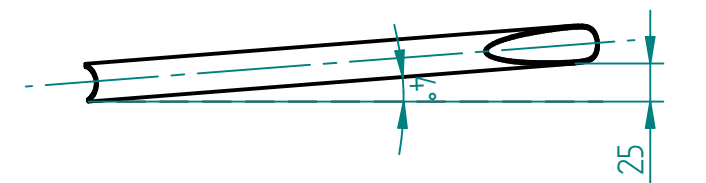
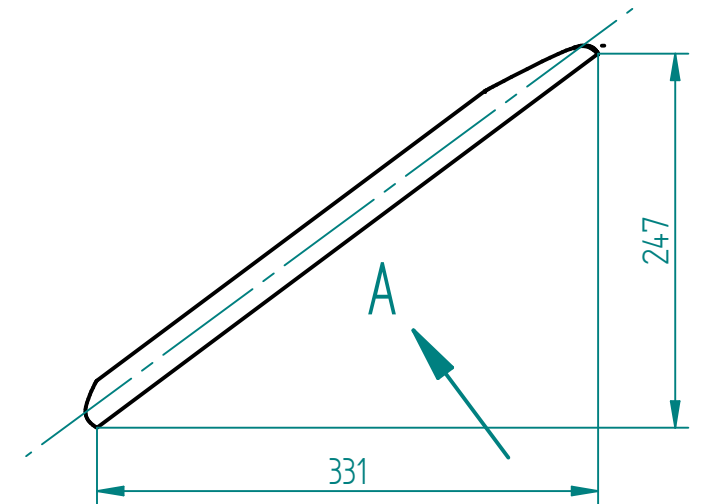


Nombre	Dimension	Color
Sección A	Ø 35 e = 2,5	ROJO
Sección B	Ø 30 e = 2,5	AMARILLO
Sección C	Ø 28 e = 1,5	VIOLETA
Sección D	Ø26,9 e = 1,5	VERDE
Sección E	Ø25 e = 1,5	AZUL

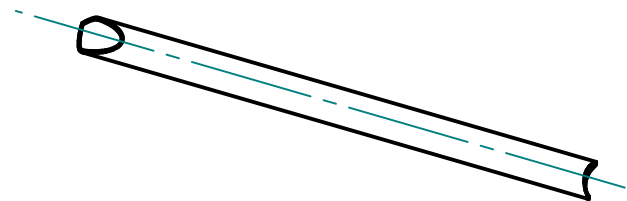
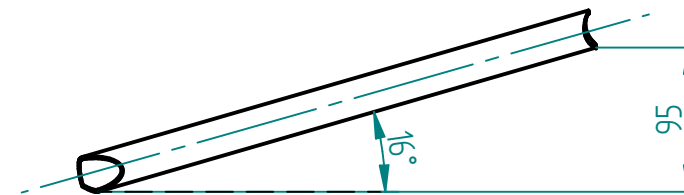
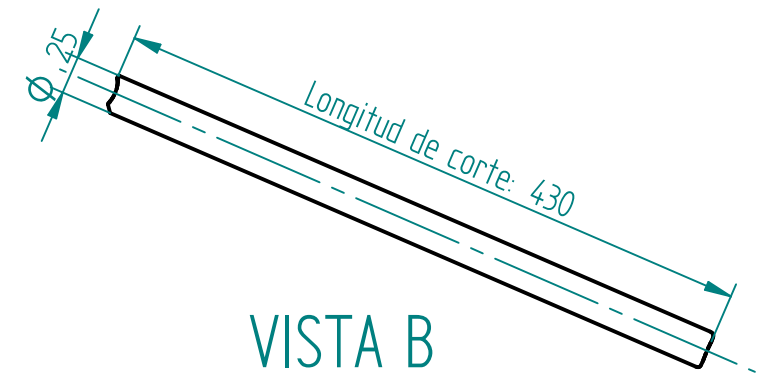
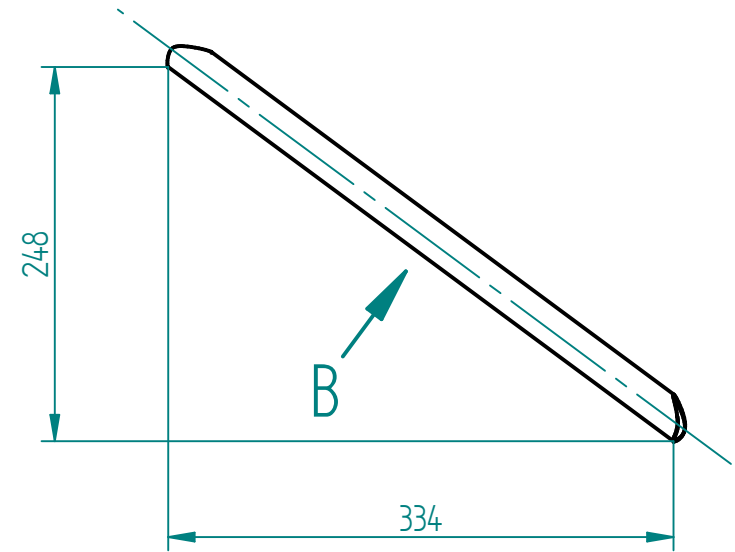
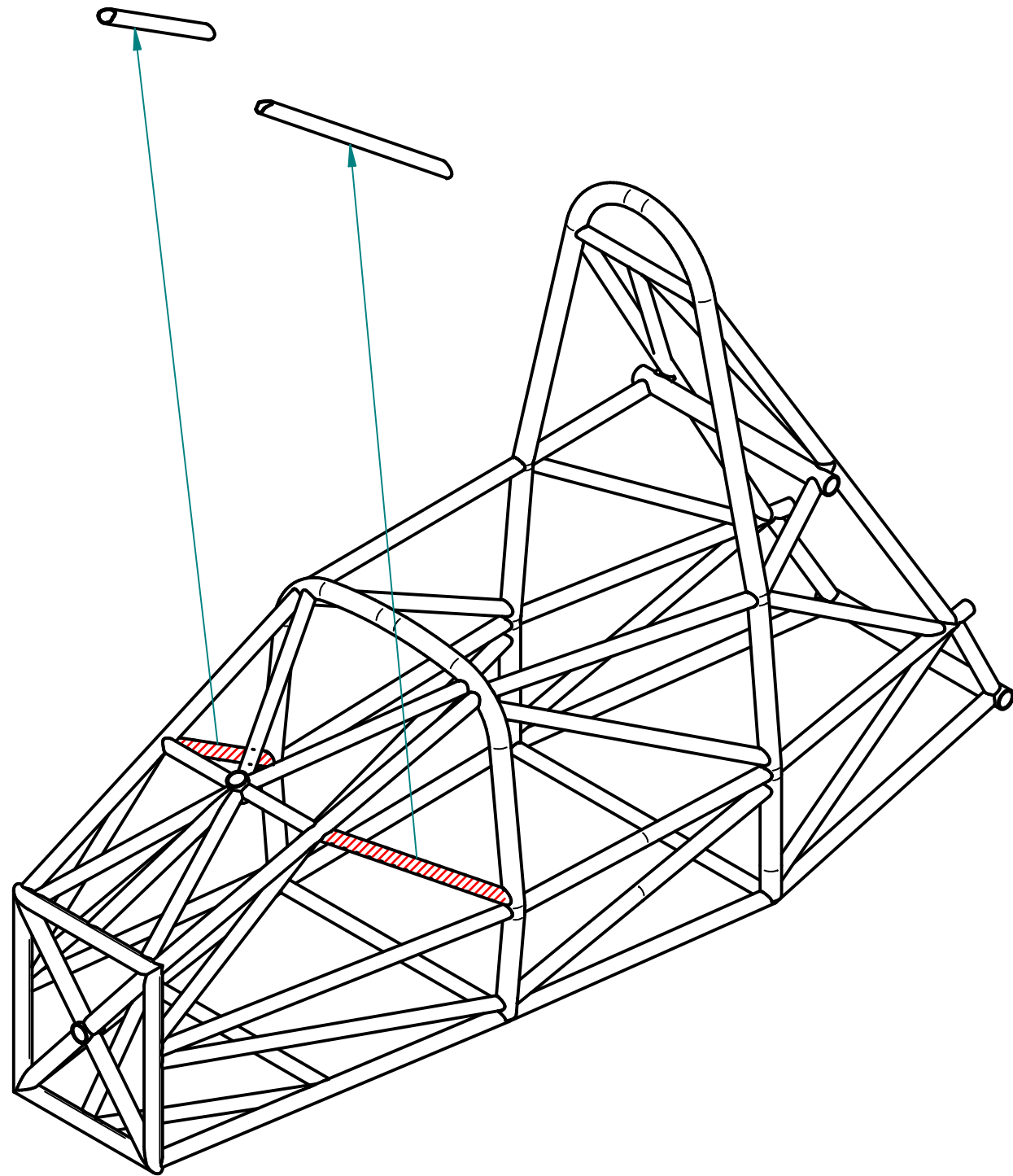
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE			Nº PLANO	
1:10				1/36	
				SUSTITUYE A:	
	Conjunto Chasis			SUSTITUIDO POR:	



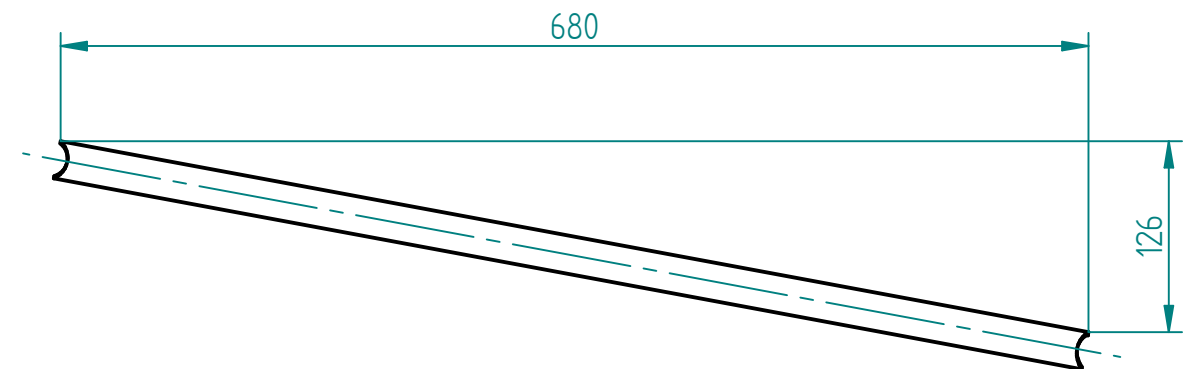
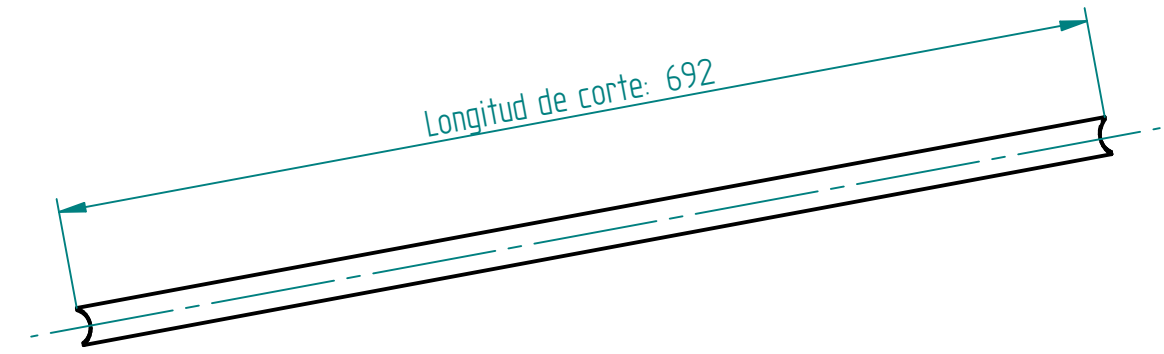
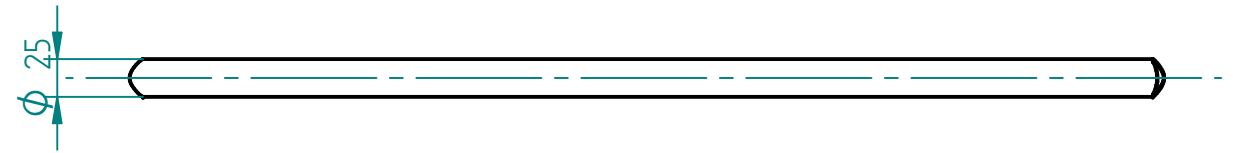
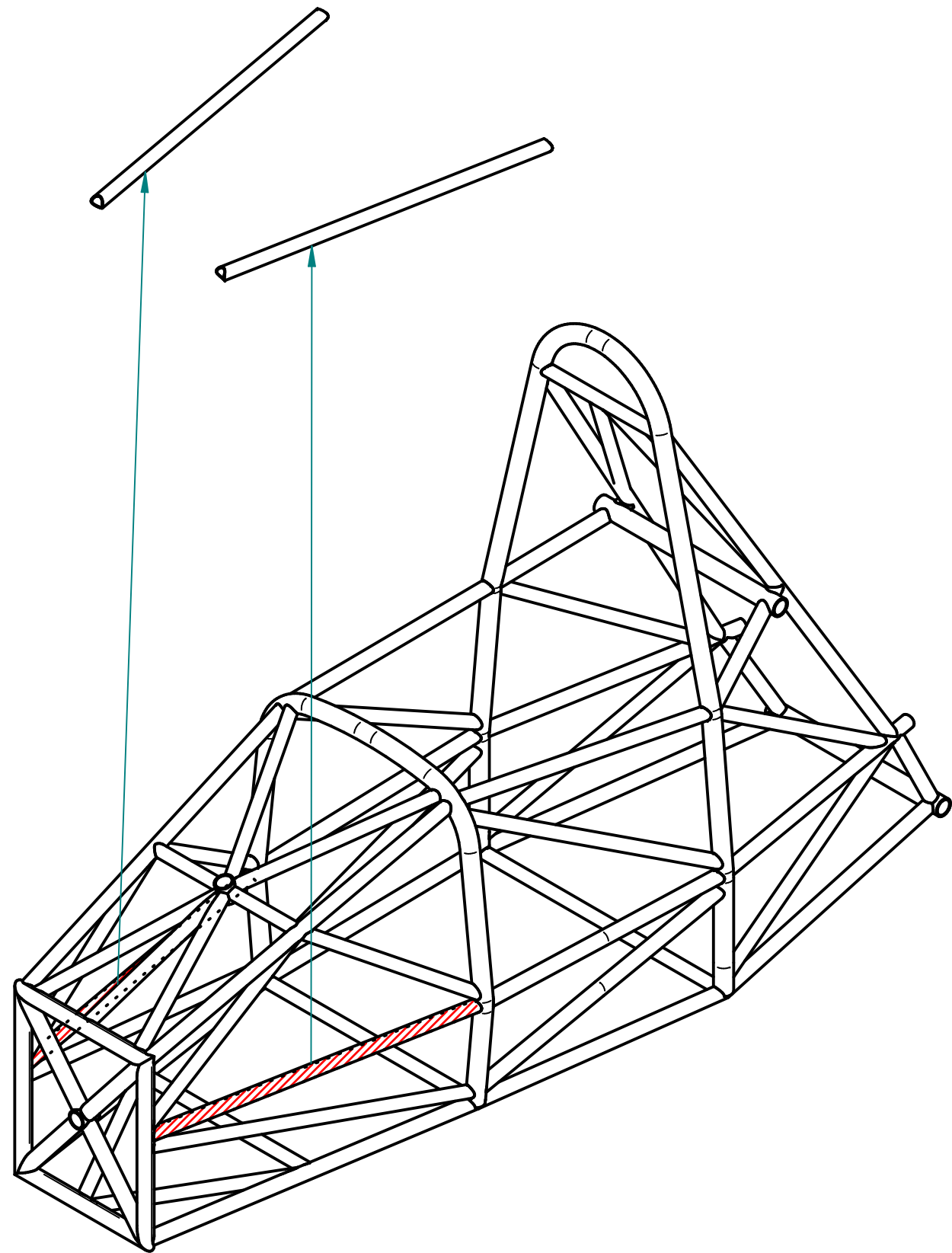
VISTA A



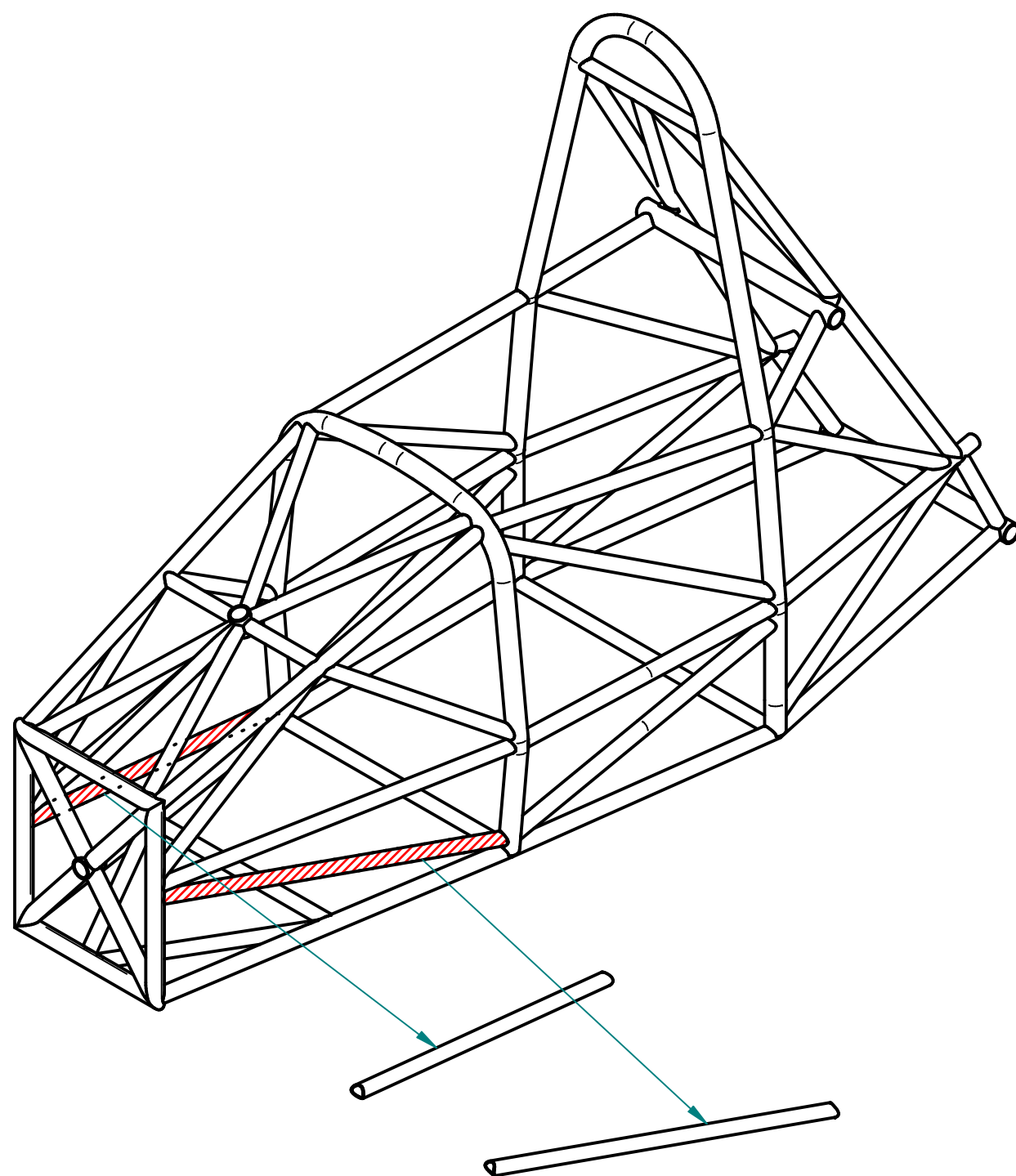
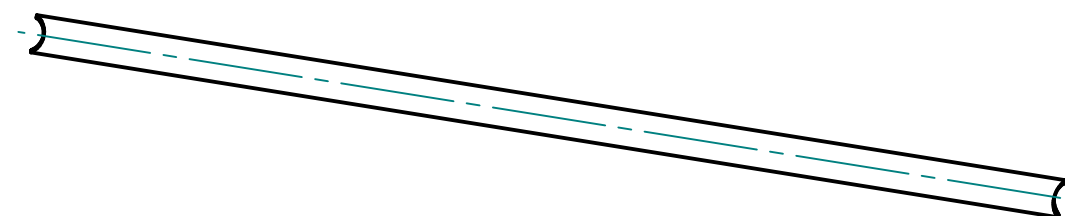
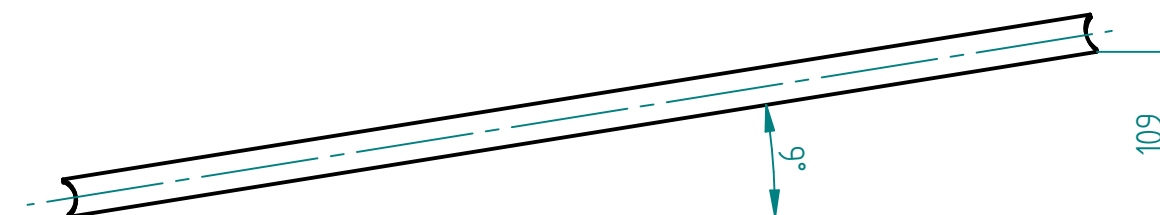
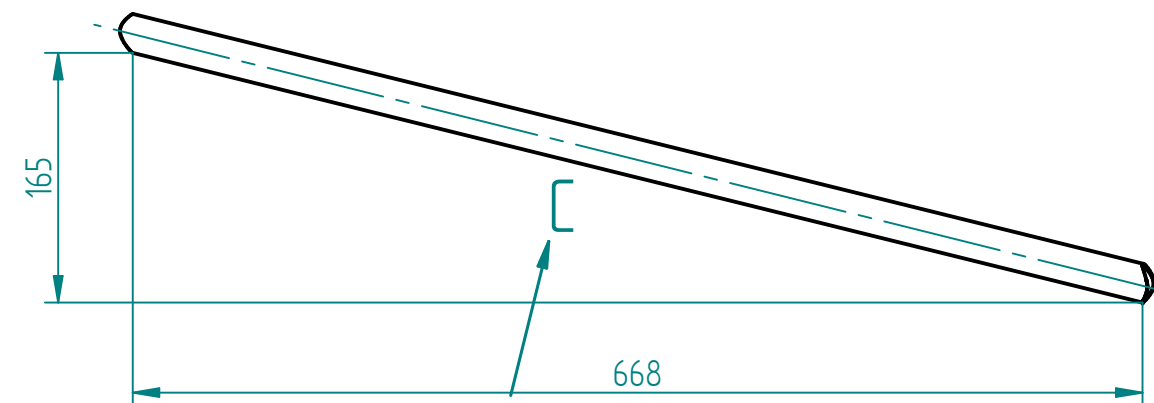
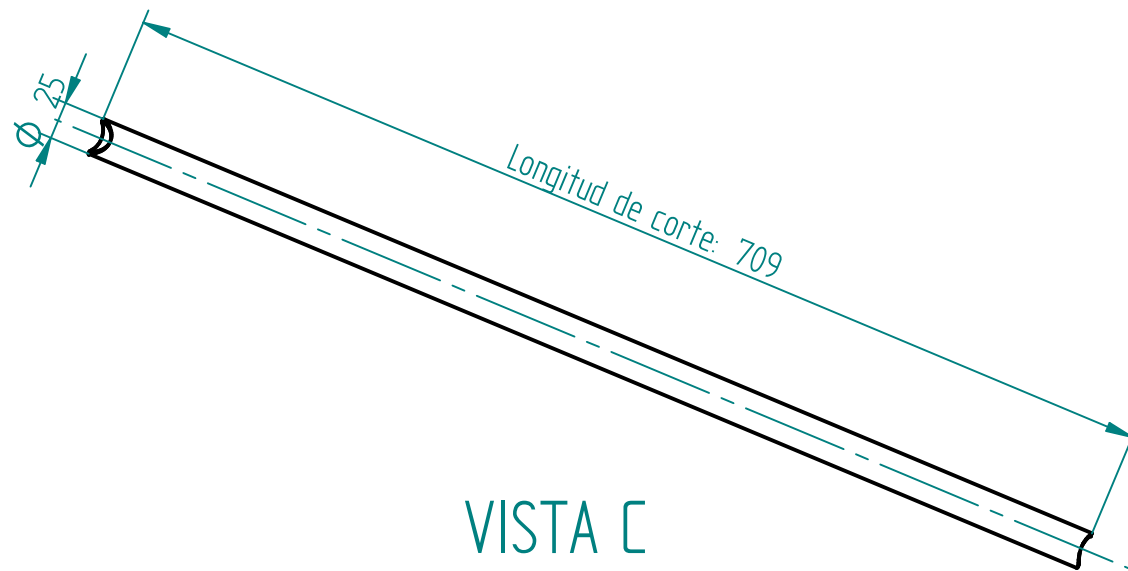
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo		
COMPROBADO				
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE			Nº PLANO
1:5	ELEMENTO 1			2/36
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



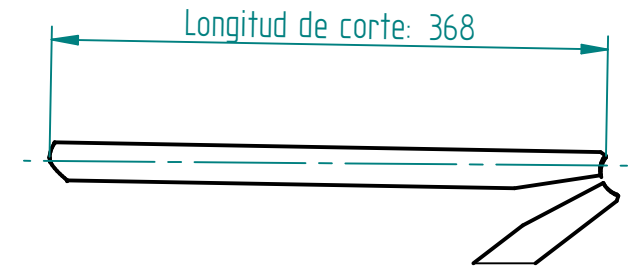
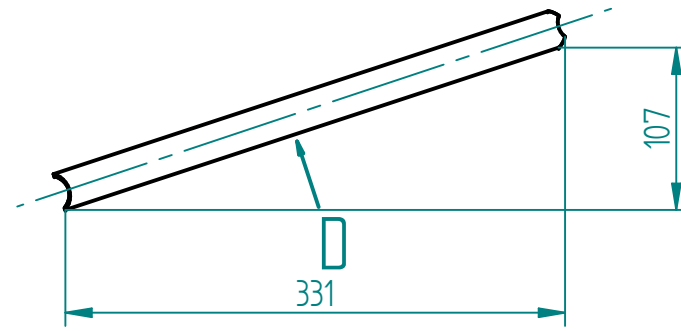
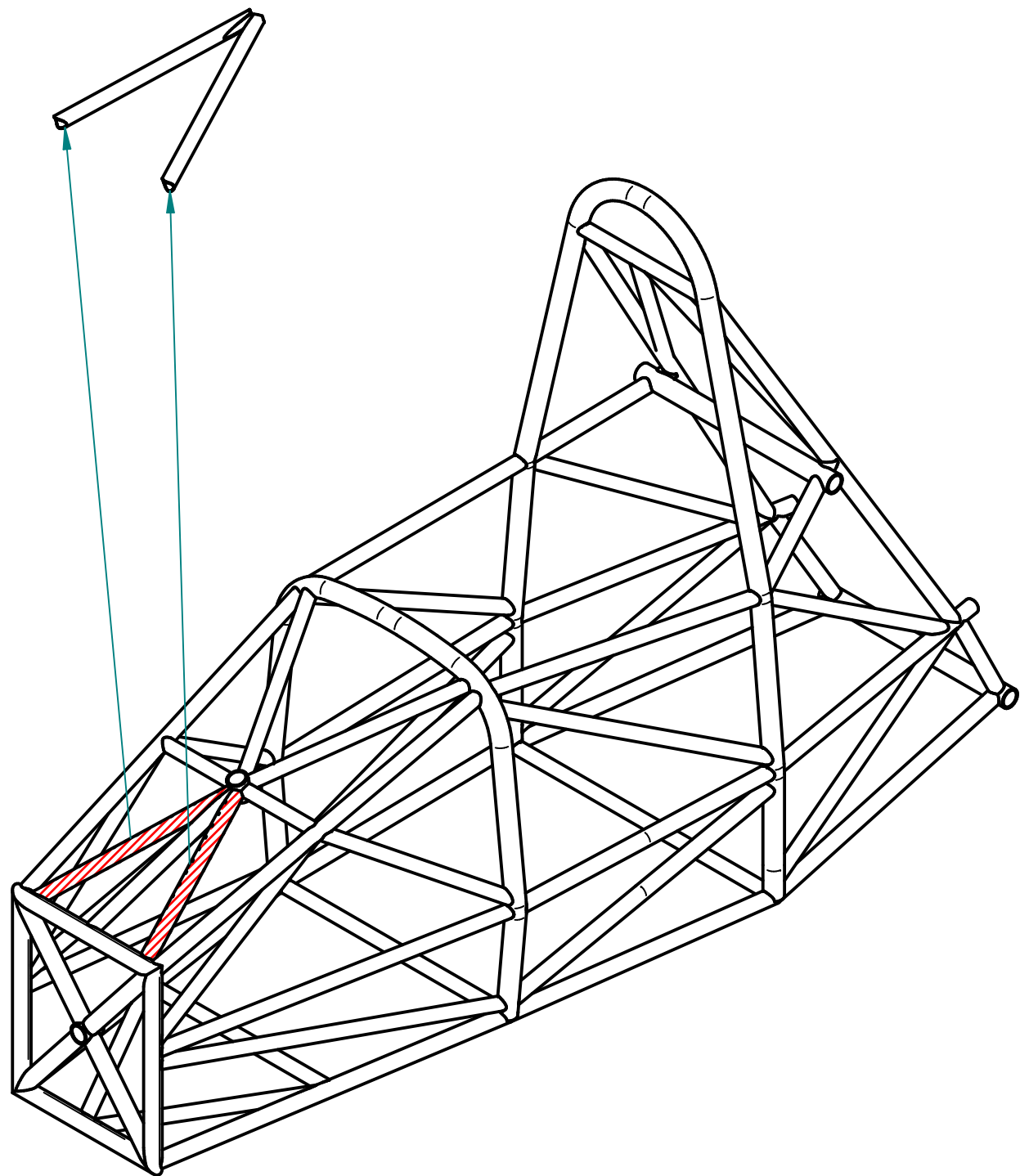
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE ELEMENTO 2			Nº PLANO 3/36	
1:5				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



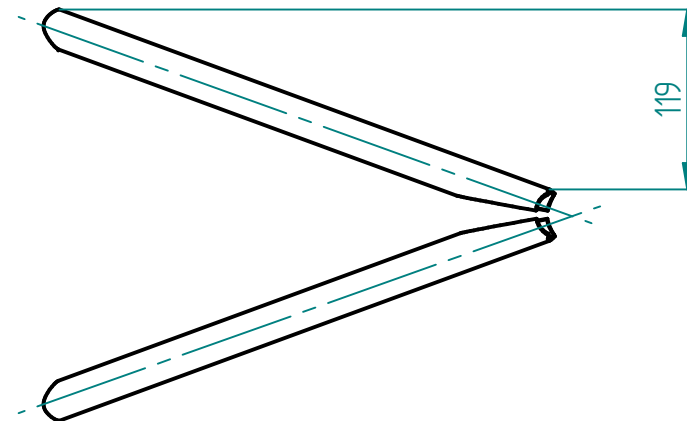
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE ELEMENTO 3			Nº PLANO 4/36	
1:5				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



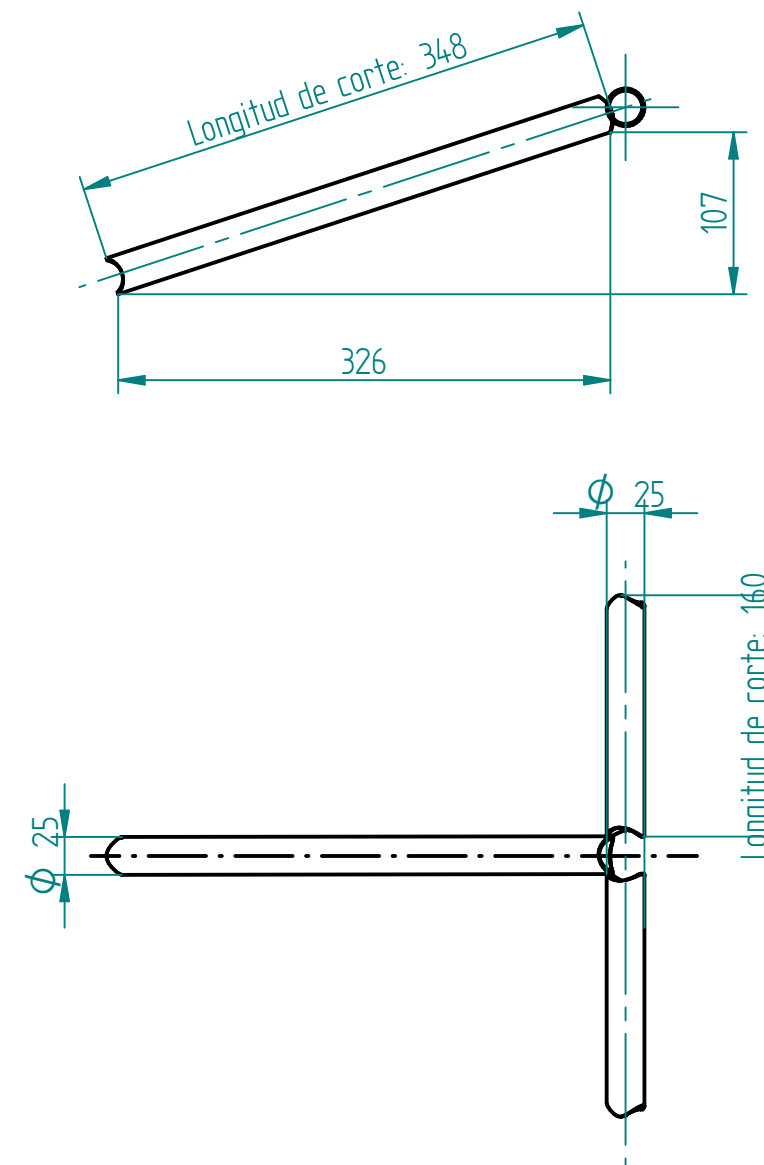
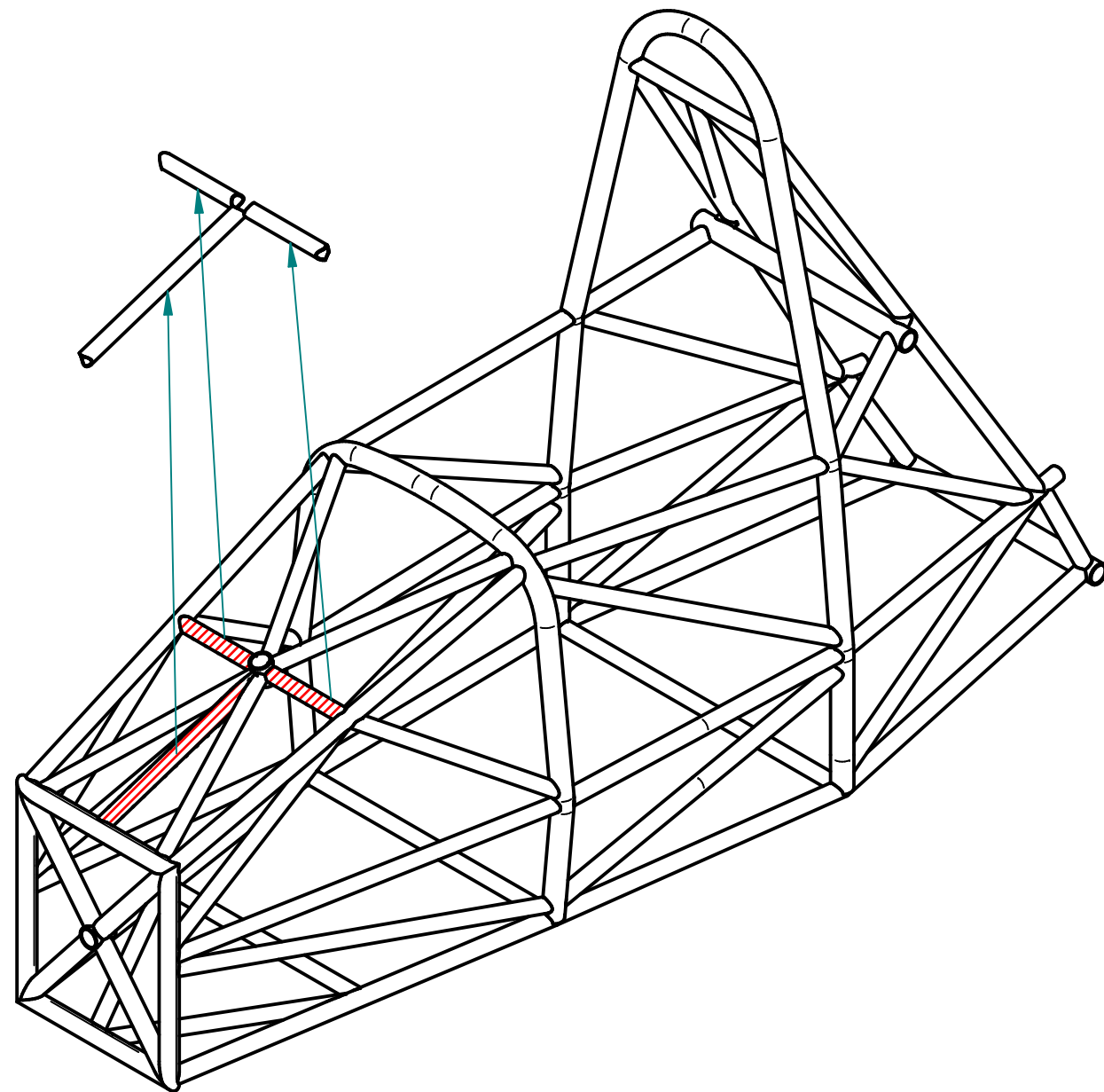
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE ELEMENTO 4			Nº PLANO 5/36	
1:5				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



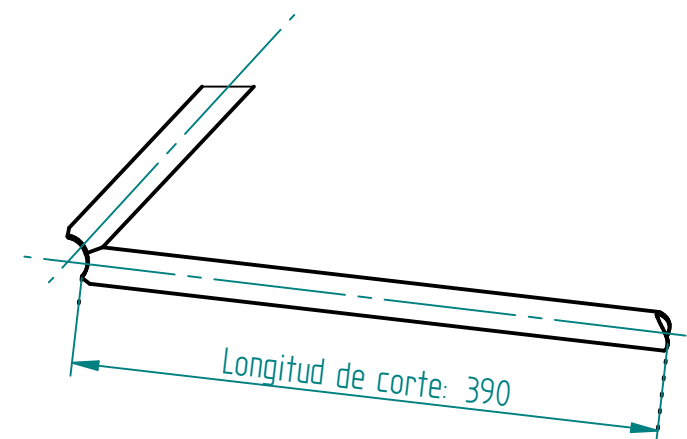
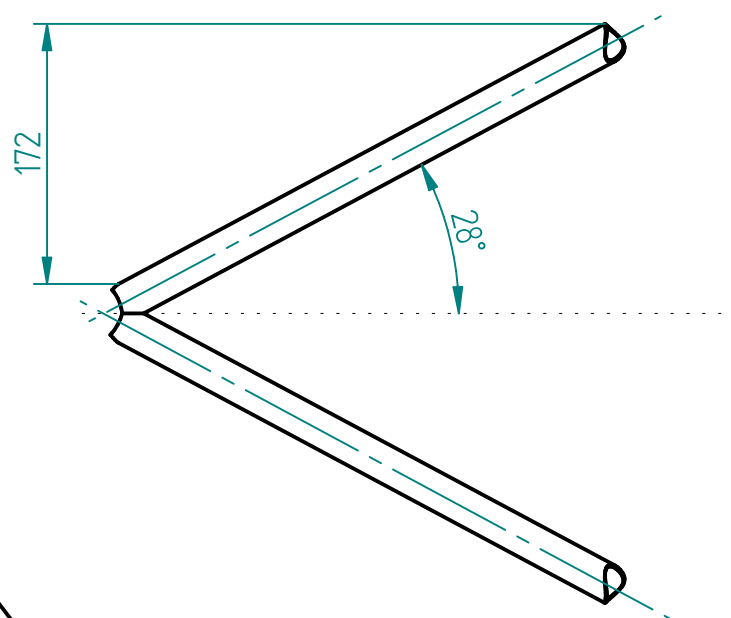
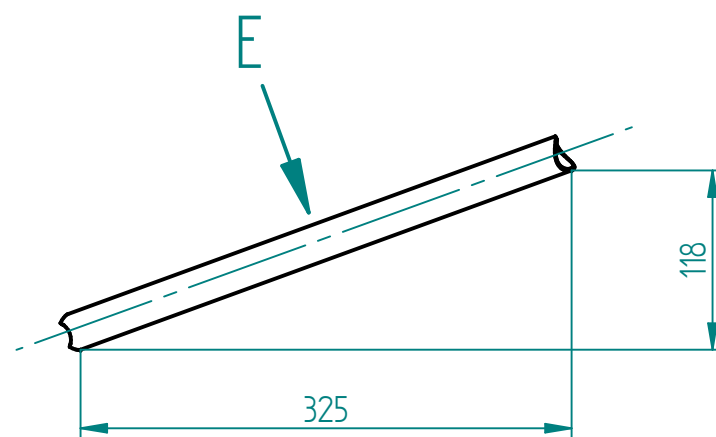
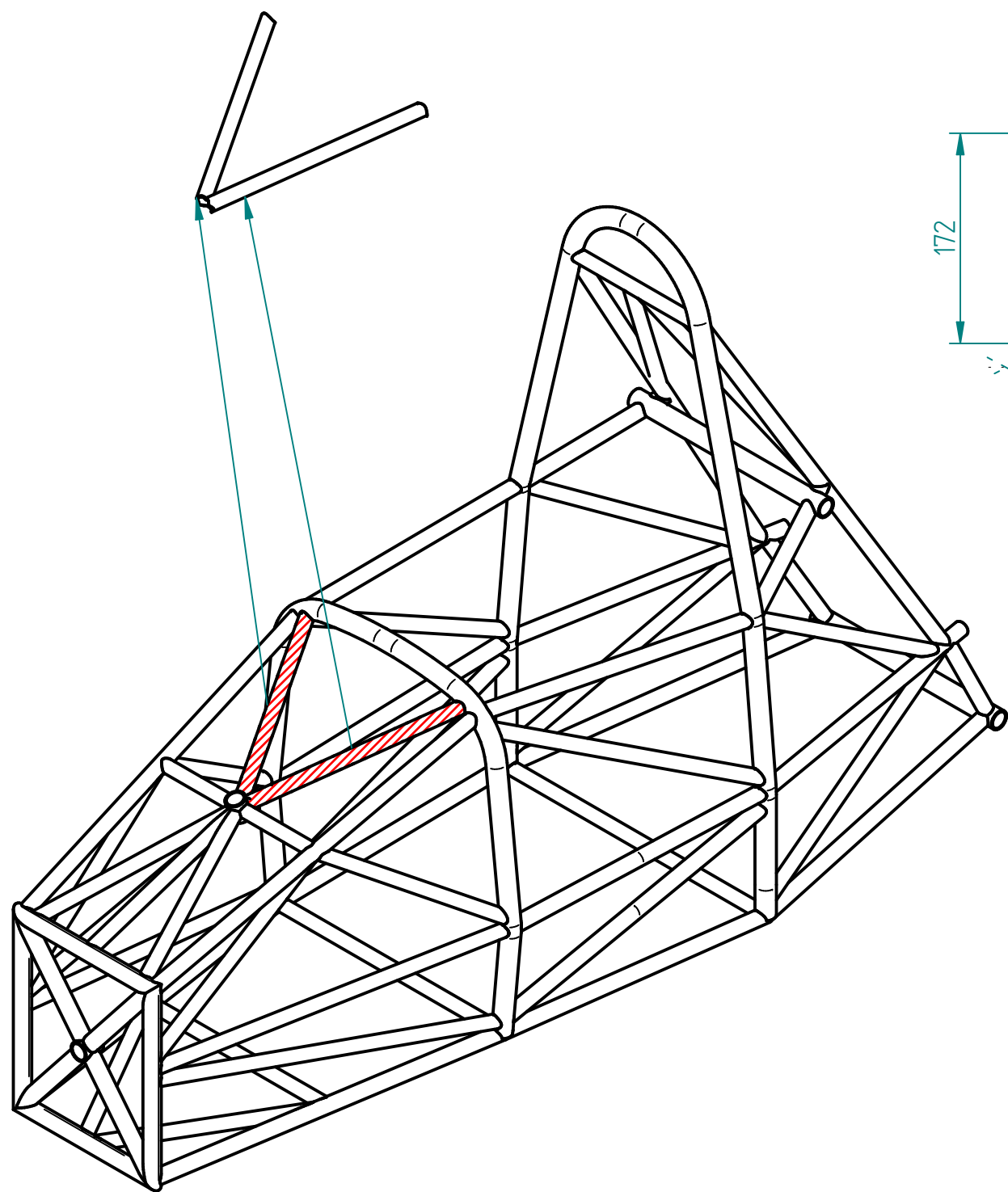
VISTA D



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE			Nº PLANO	
1:5	ELEMENTO 5			6/36	
				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

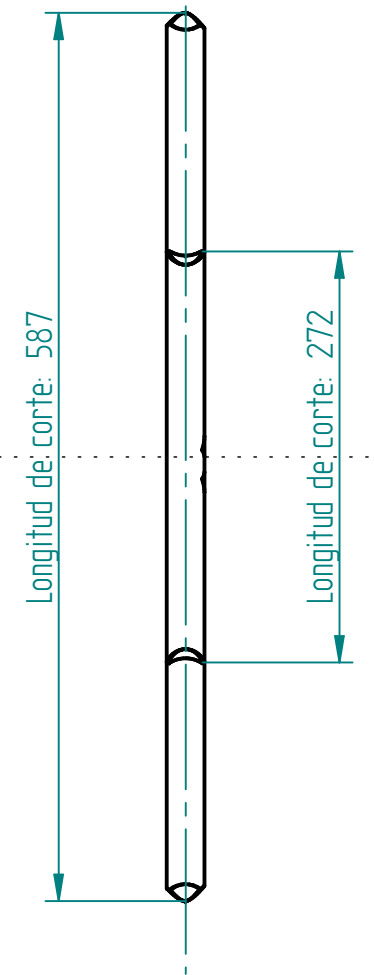
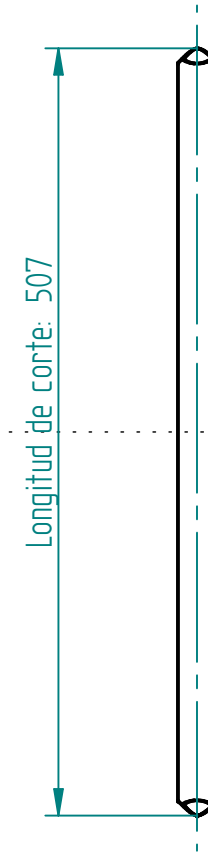
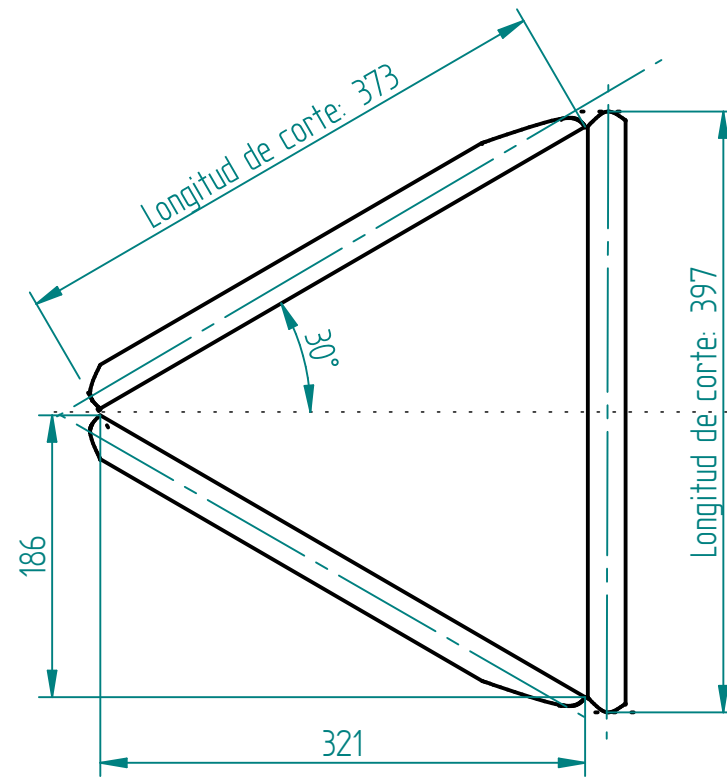
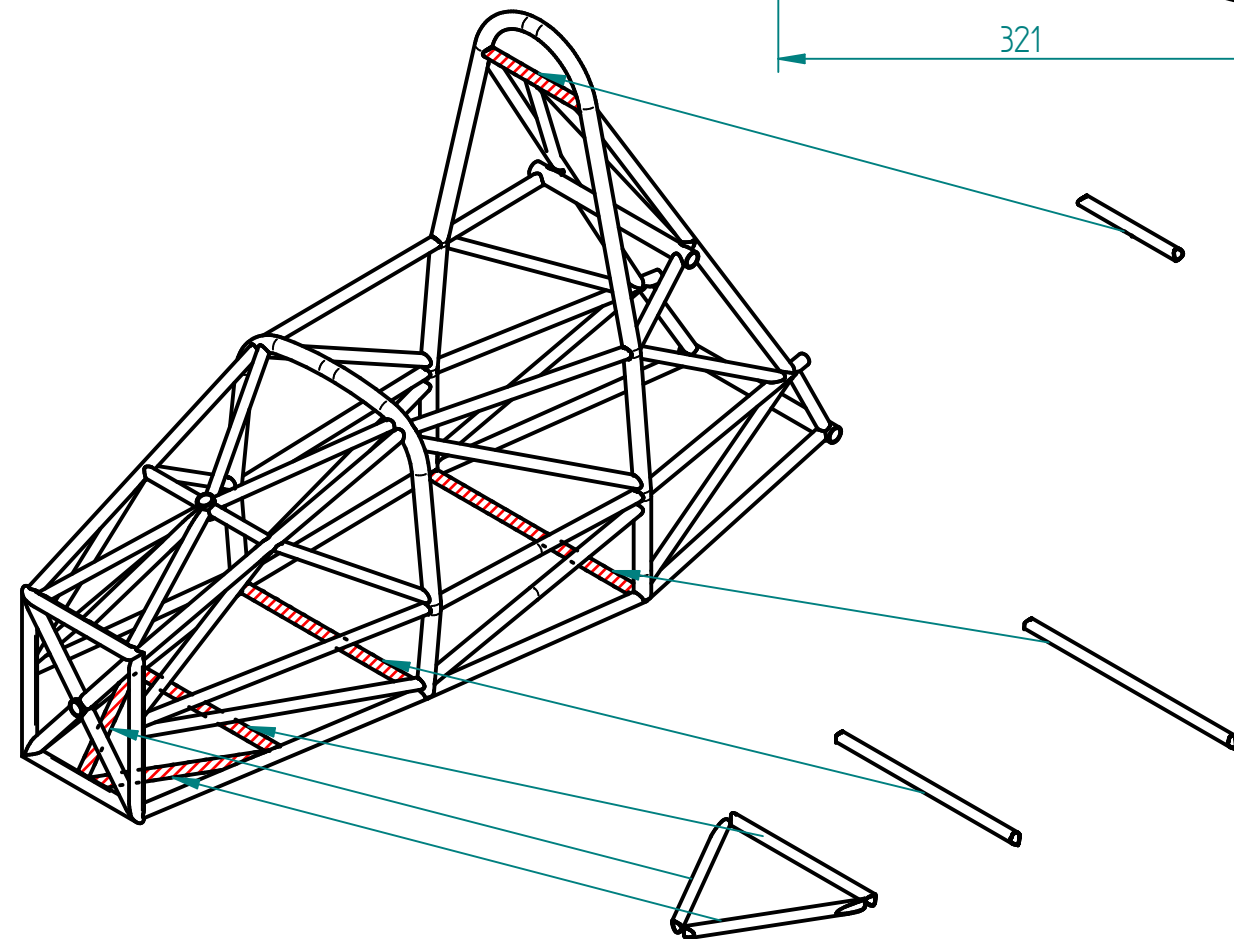


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo		
COMPROBADO				
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE			Nº PLANO
1:5	ELEMENTO 6 Y 7			7/36
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

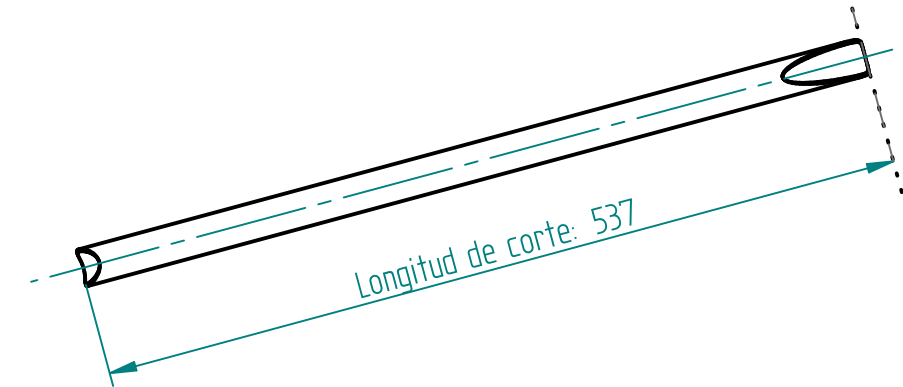
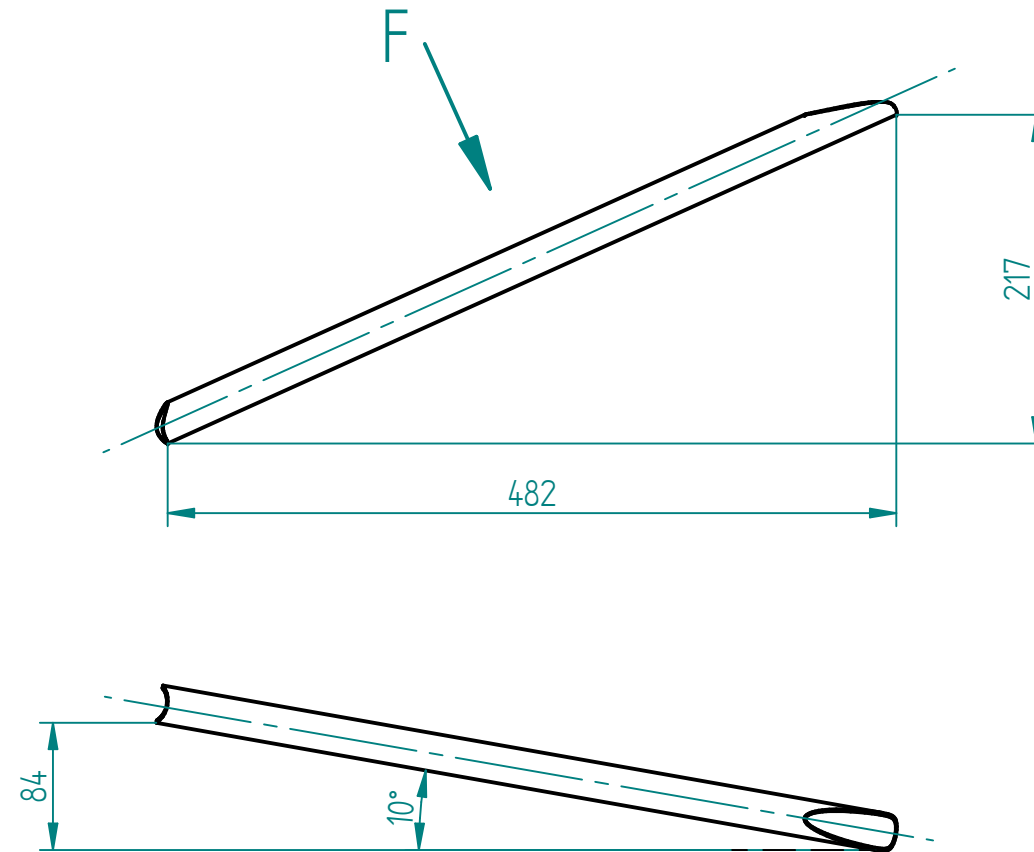
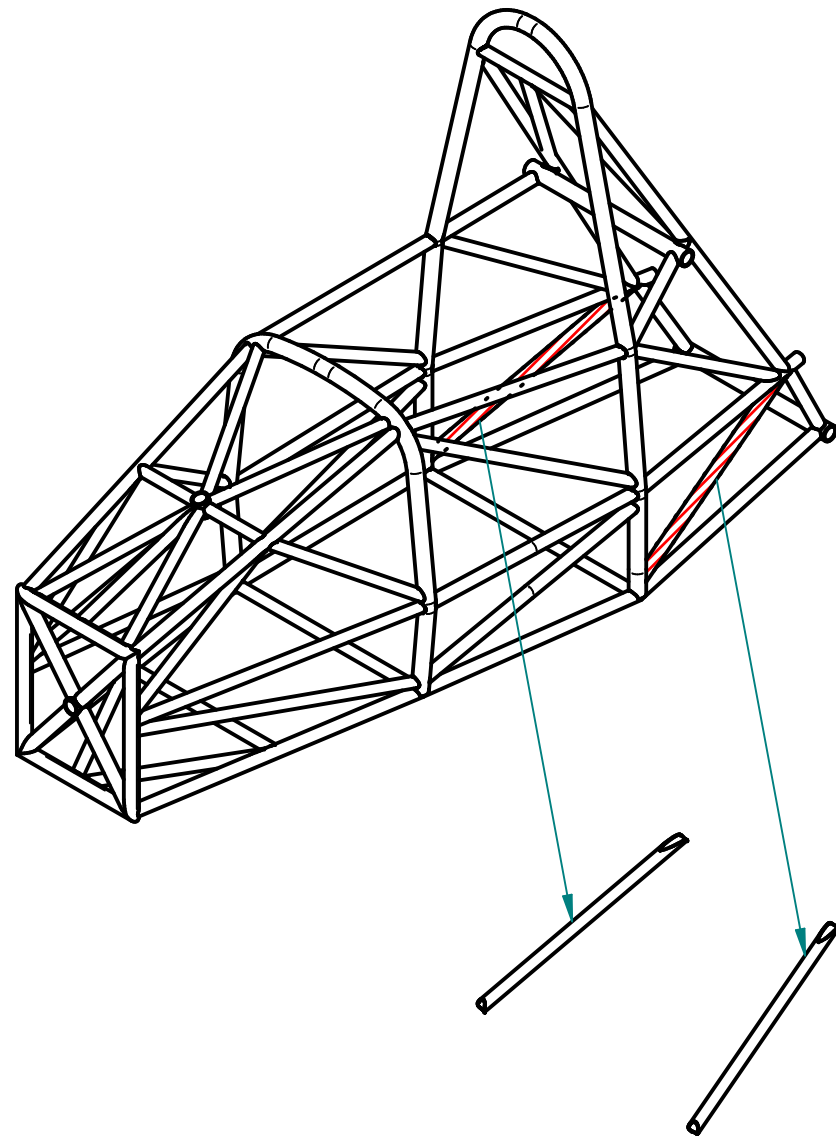


VISTA E

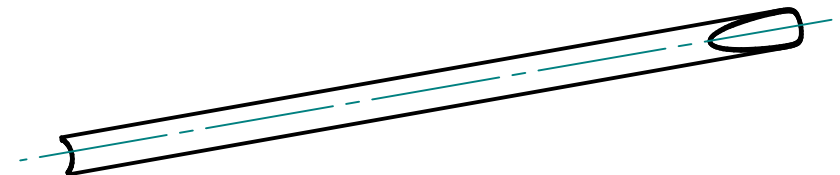
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE ELEMENTO 8			Nº PLANO 8/36	
1:5				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



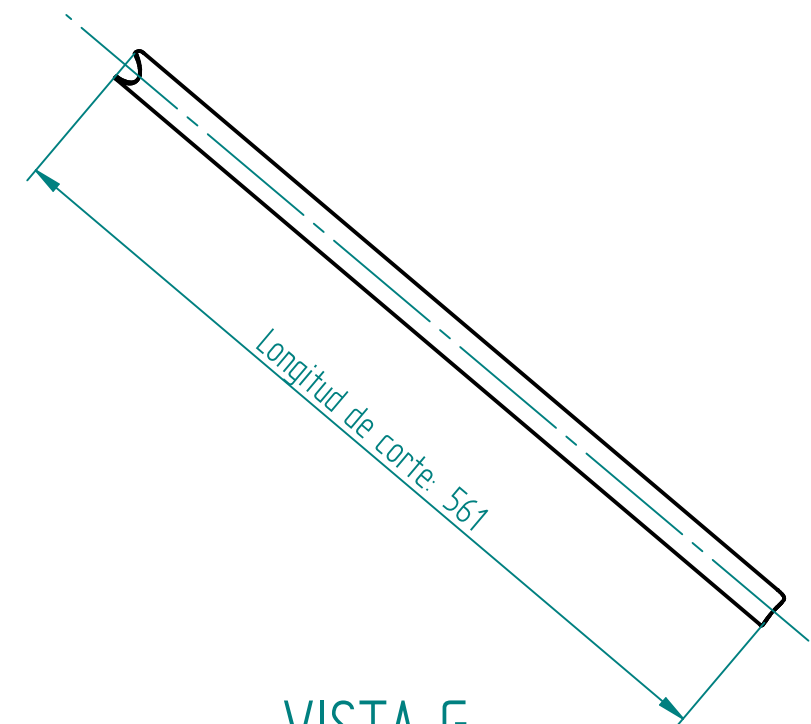
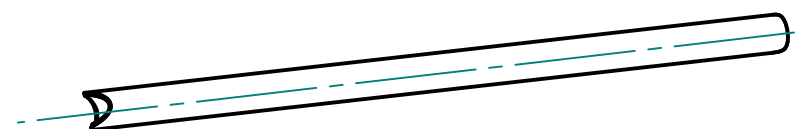
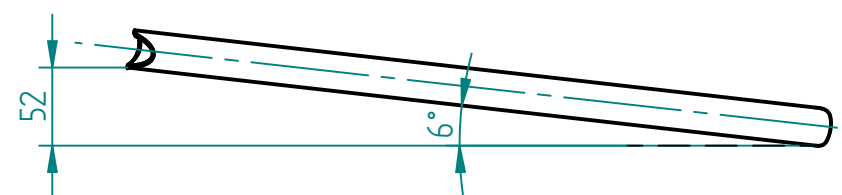
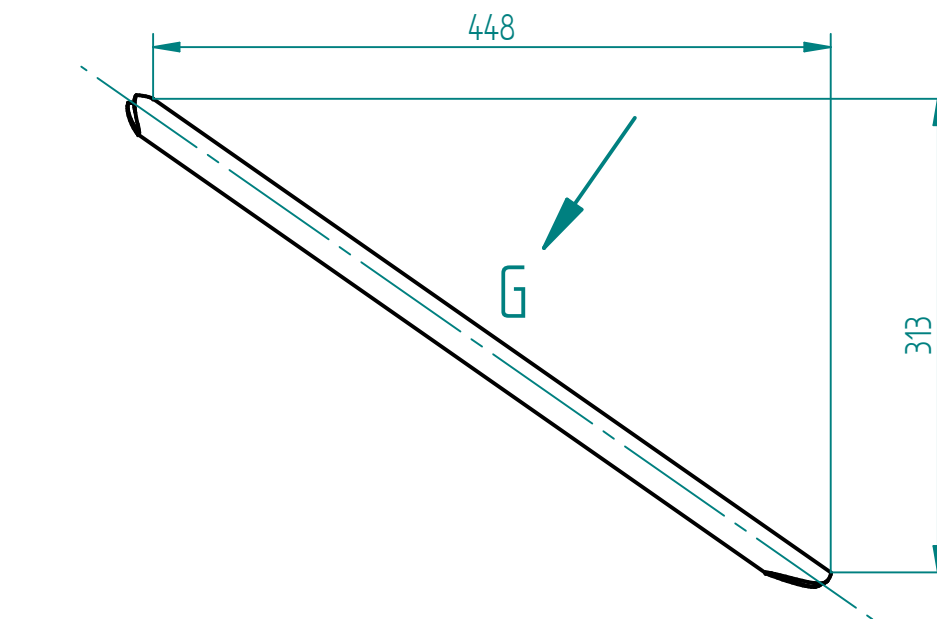
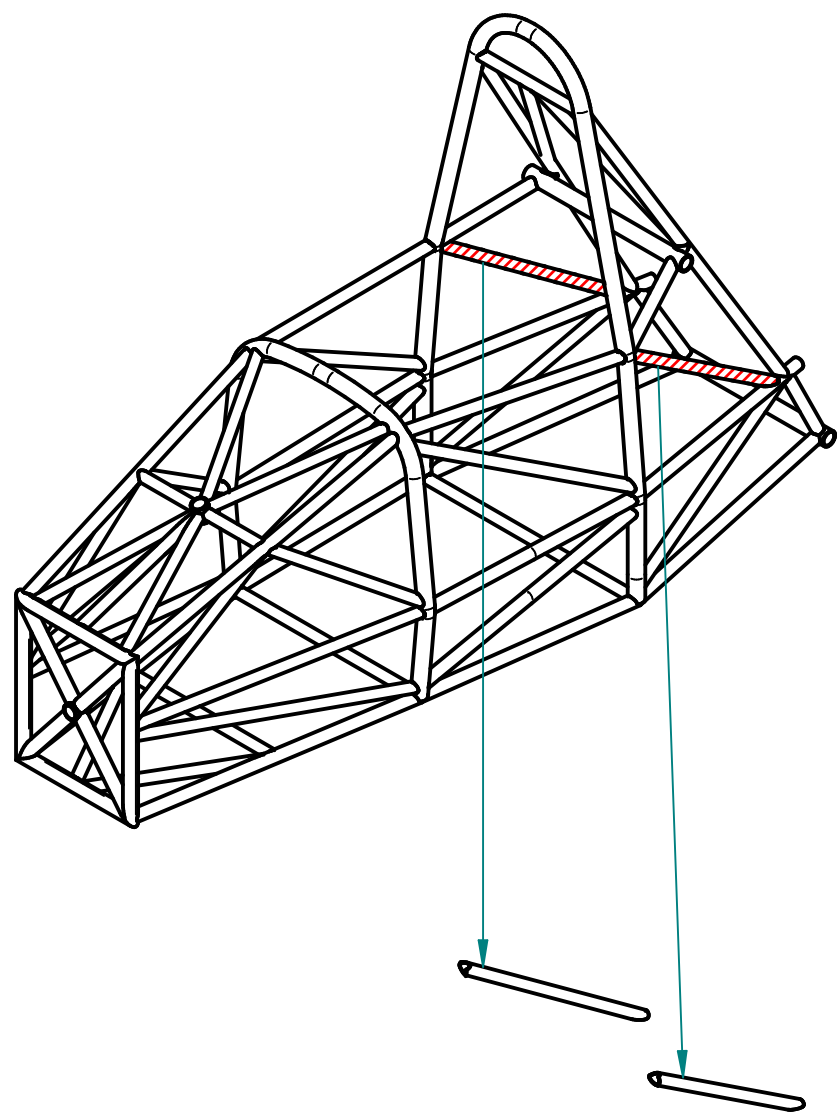
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo		
COMPROBADO				
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE			Nº PLANO
1:5	ELEMENTOS 9 - 13			9/36
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



VISTA F

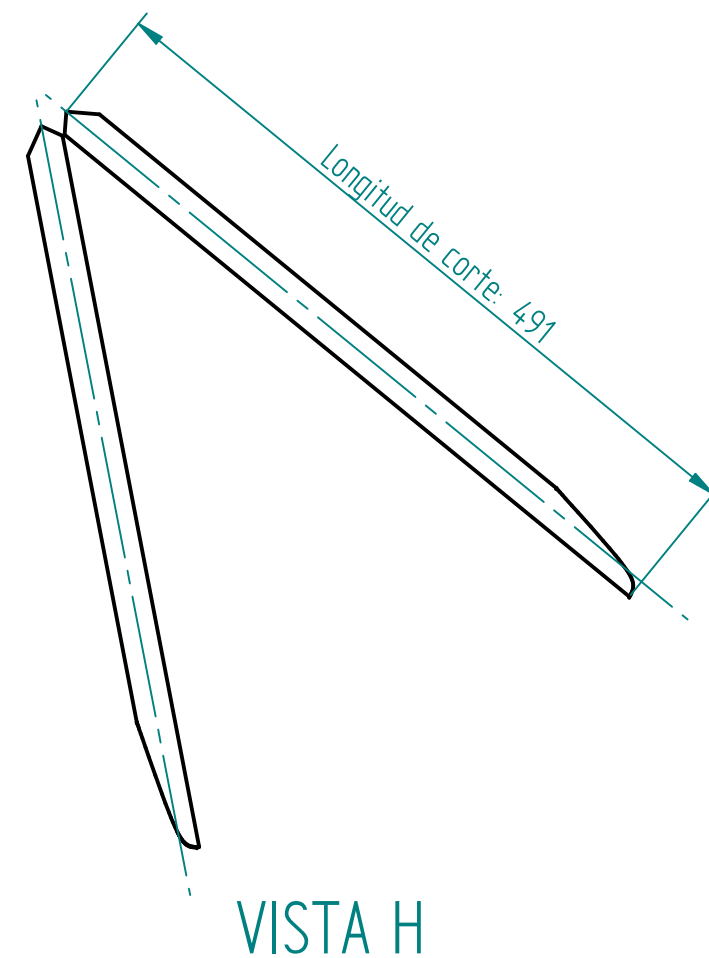
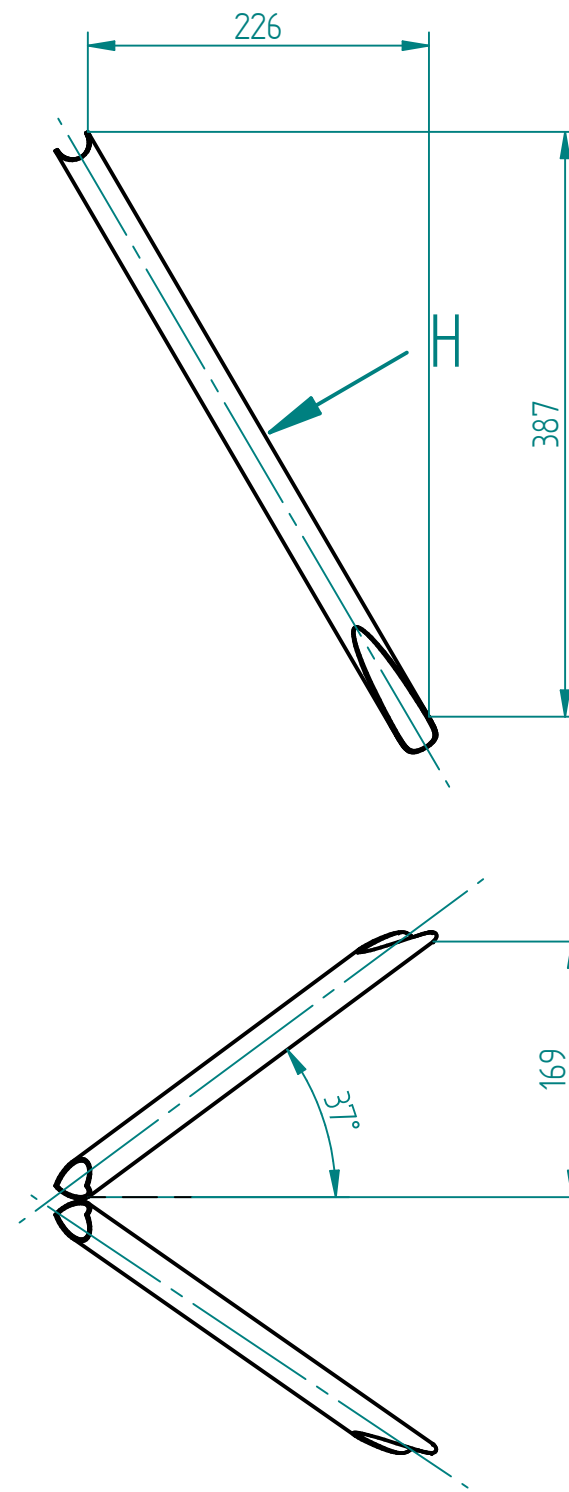
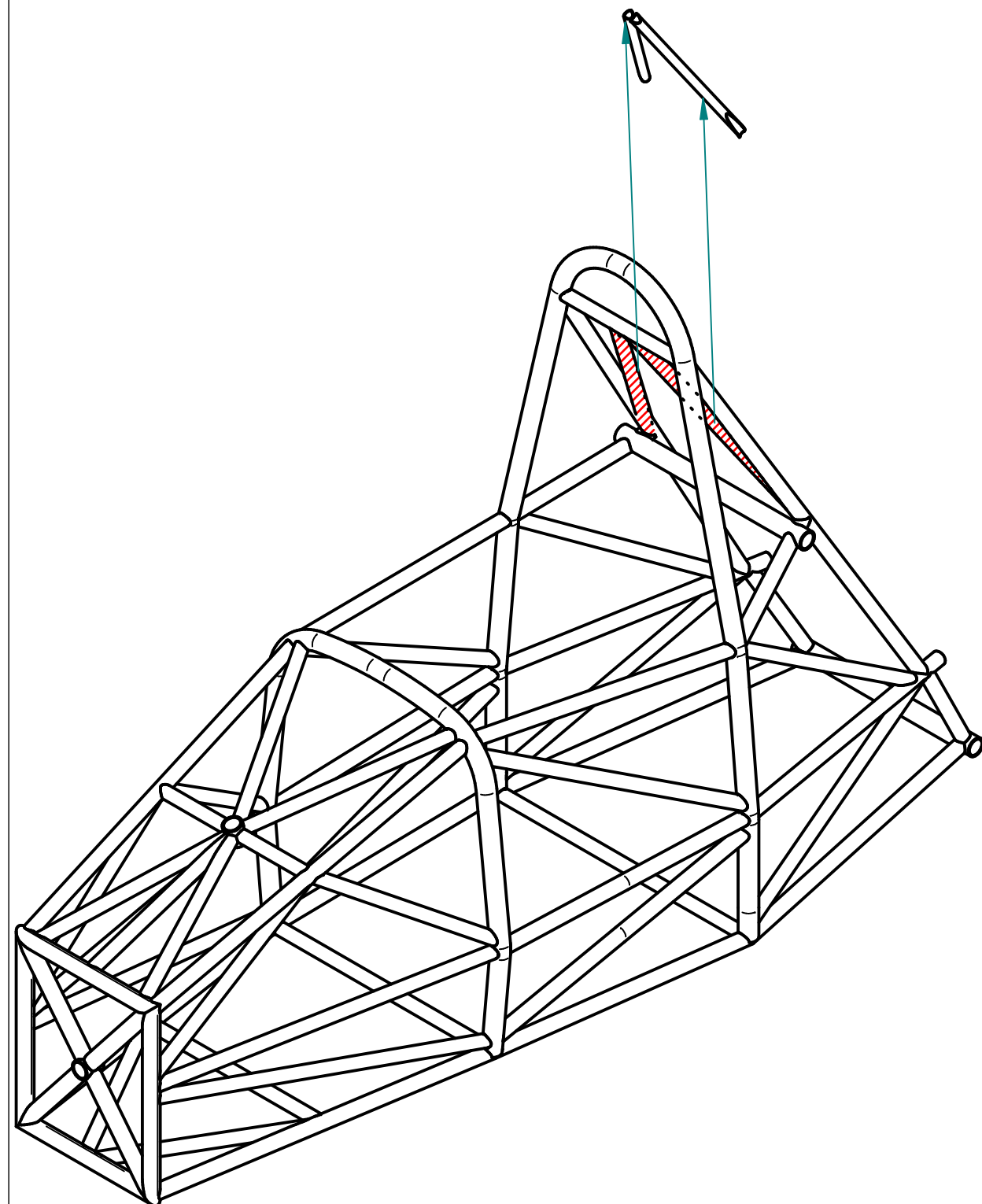


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE ELEMENTO 14			Nº PLANO 10/36	
1:5				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

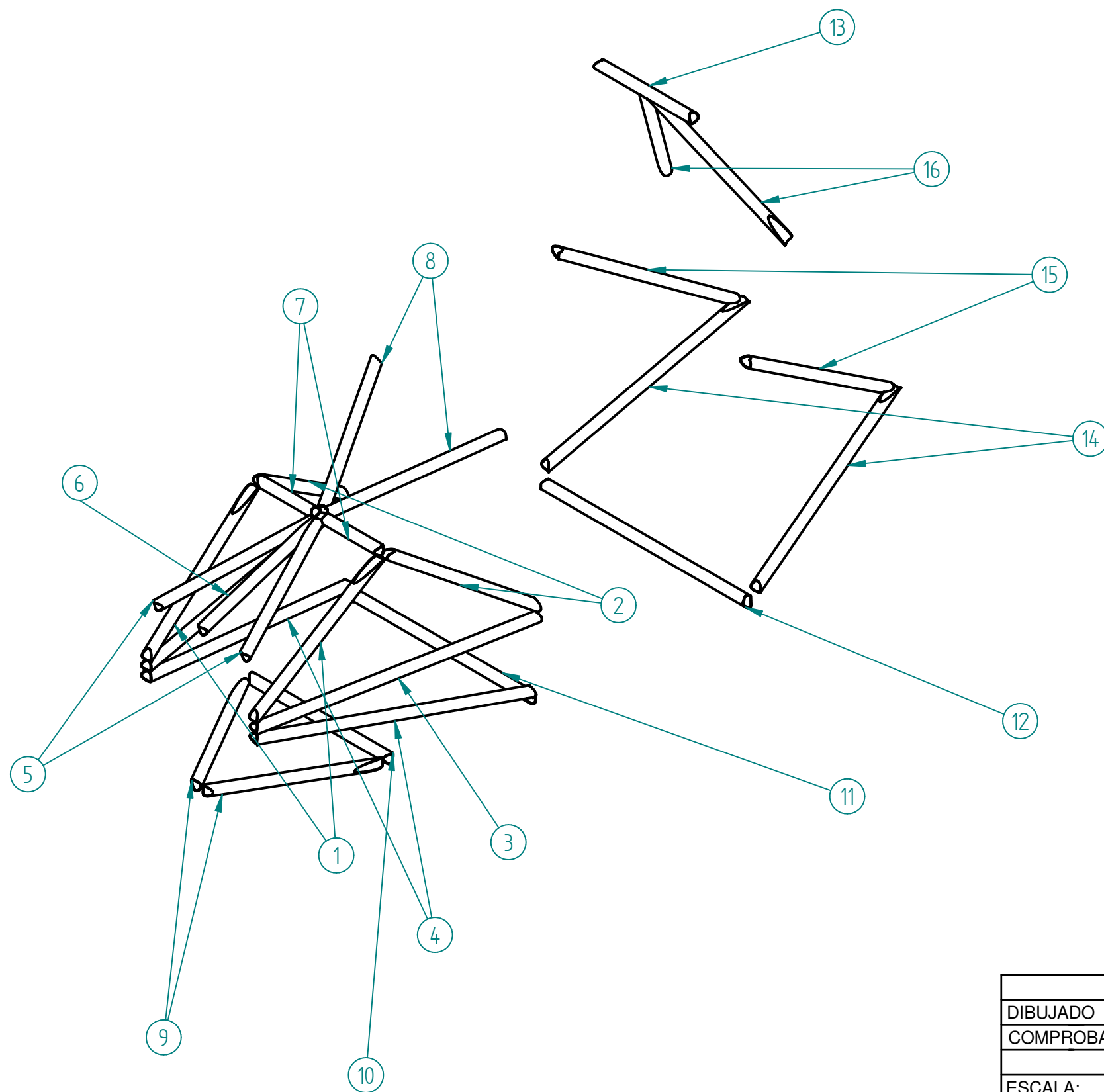


VISTA G

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE ELEMENTO 15			Nº PLANO 11/36	
1:5				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

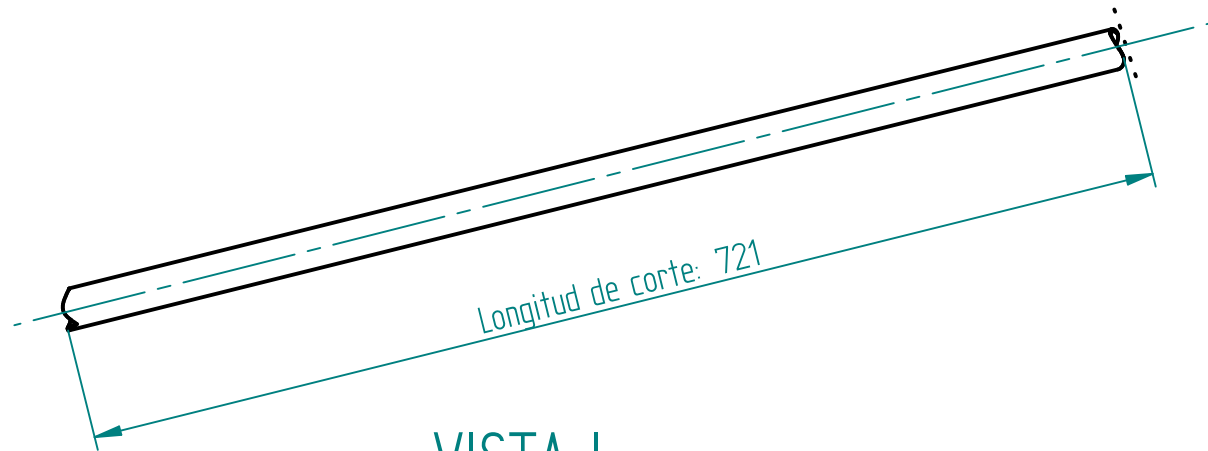


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE ELEMENTO 16			Nº PLANO 12/36	
1:5				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

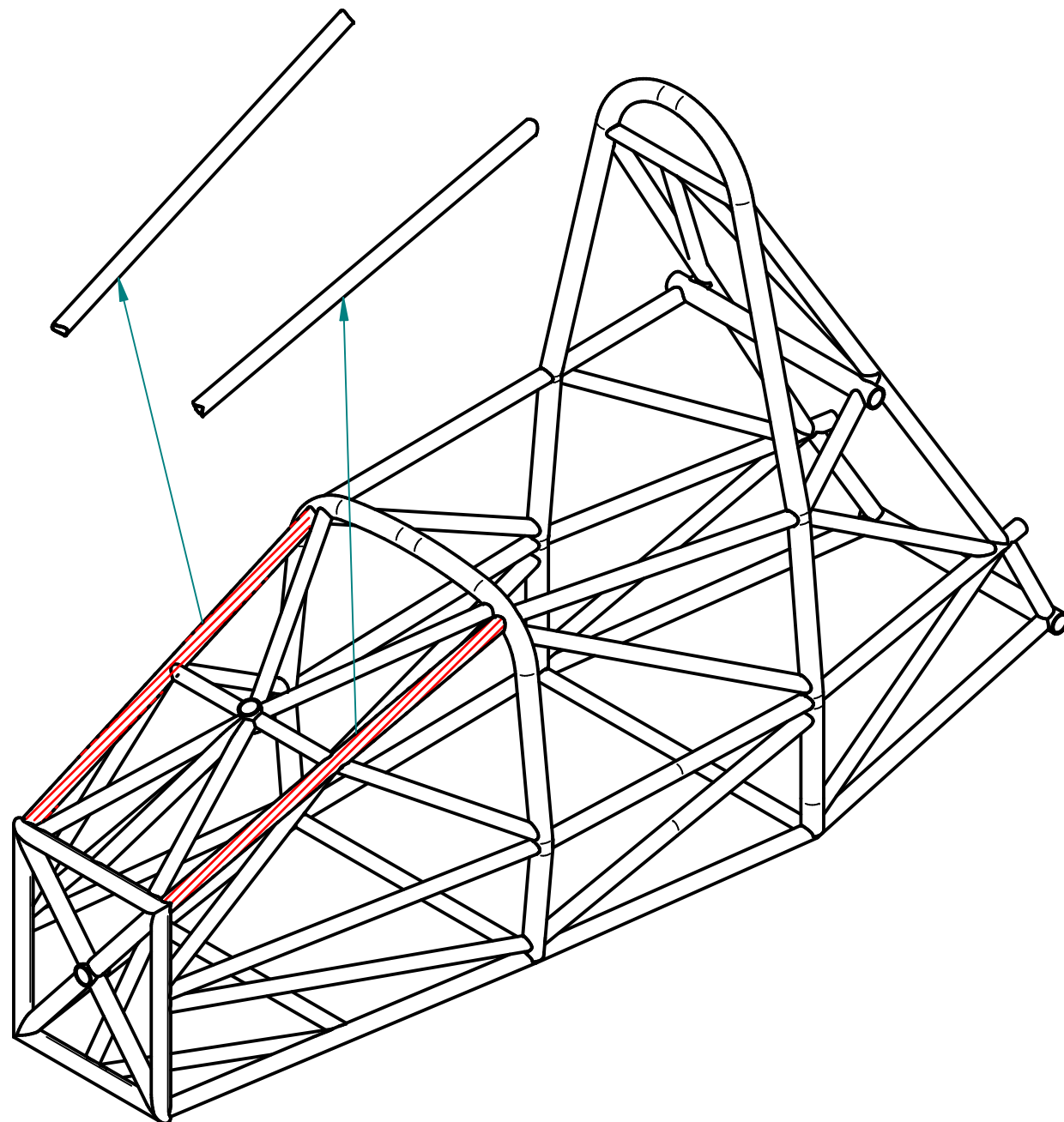
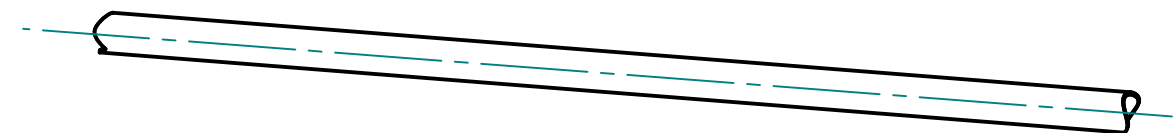
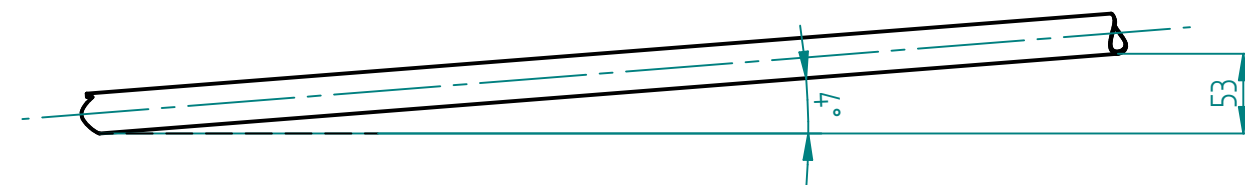
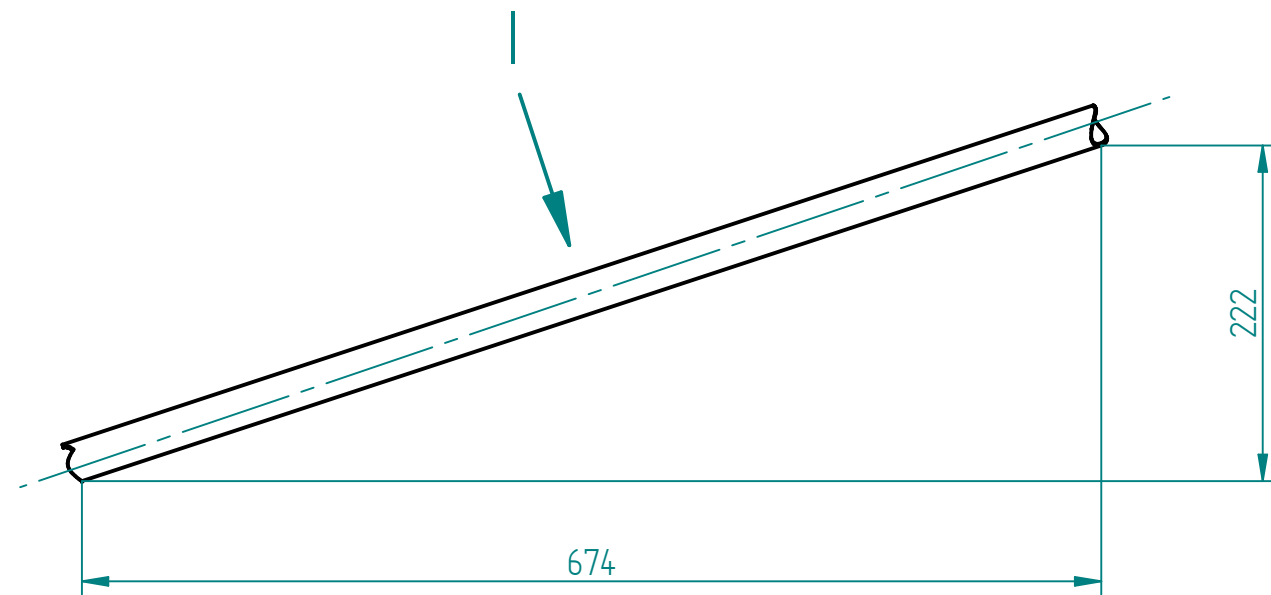


Número de elemento	Sección de tubo	Cantidad	Longitud de corte (mm)
1	ø25 - e 1,5 mm	2	415
2	ø25 - e 1,5 mm	2	430
3	ø25 - e 1,5 mm	2	692
4	ø25 - e 1,5 mm	2	709
5	ø25 - e 1,5 mm	2	368
6	ø25 - e 1,5 mm	1	348
7	ø25 - e 1,5 mm	2	160
8	ø25 - e 1,5 mm	2	390
9	ø25 - e 1,5 mm	2	373
10	ø25 - e 1,5 mm	1	397
11	ø25 - e 1,5 mm	1	507
12	ø25 - e 1,5 mm	1	587
13	ø25 - e 1,5 mm	1	272
14	ø25 - e 1,5 mm	2	357
15	ø25 - e 1,5 mm	2	561
16	ø25 - e 1,5 mm	2	491

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE Conjunto de elementos de sección E			Nº PLANO 13/36	
1:10				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



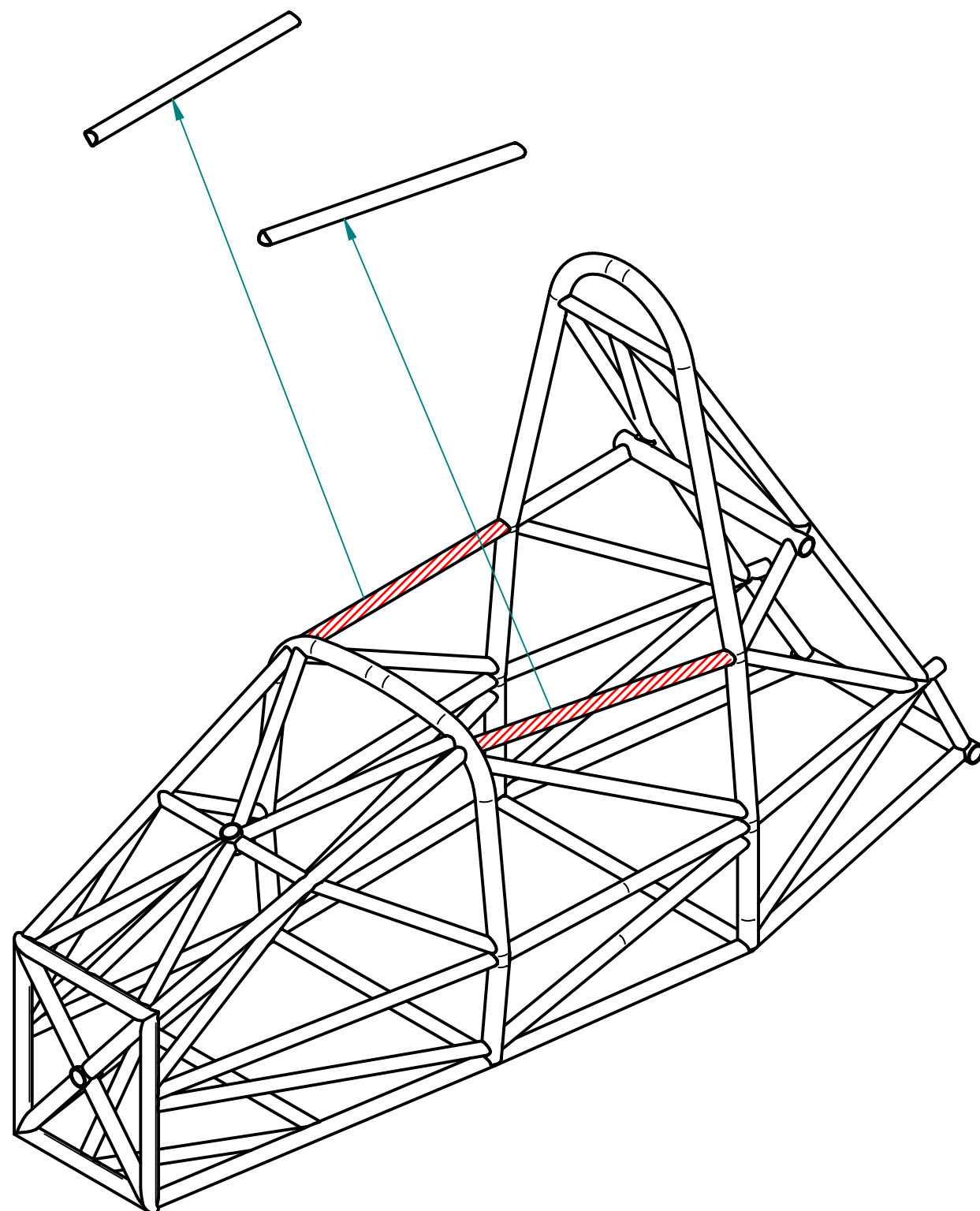
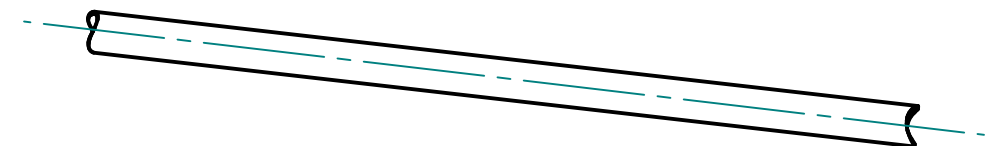
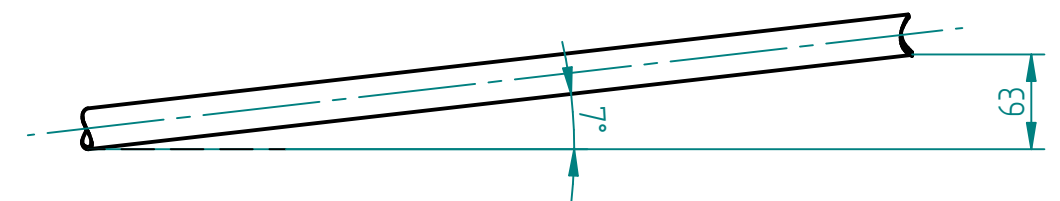
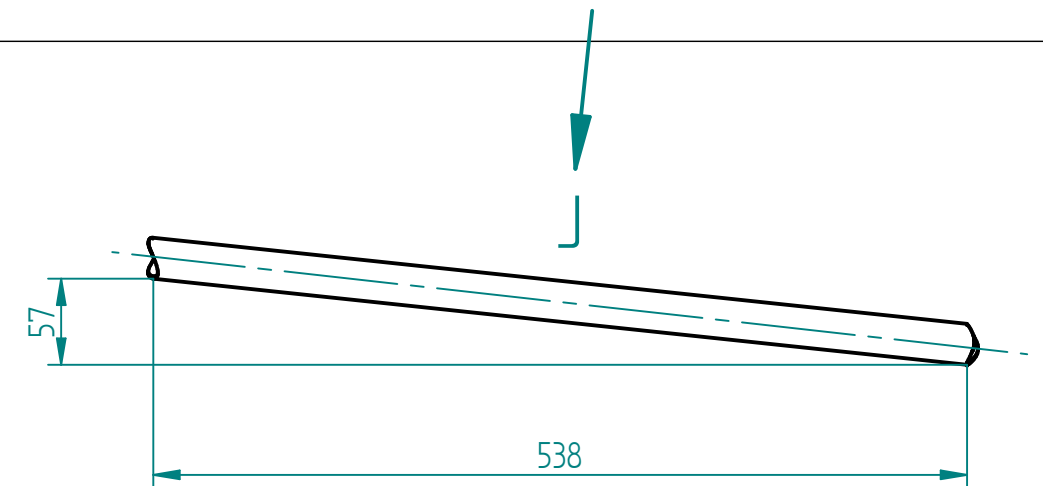
VISTA I



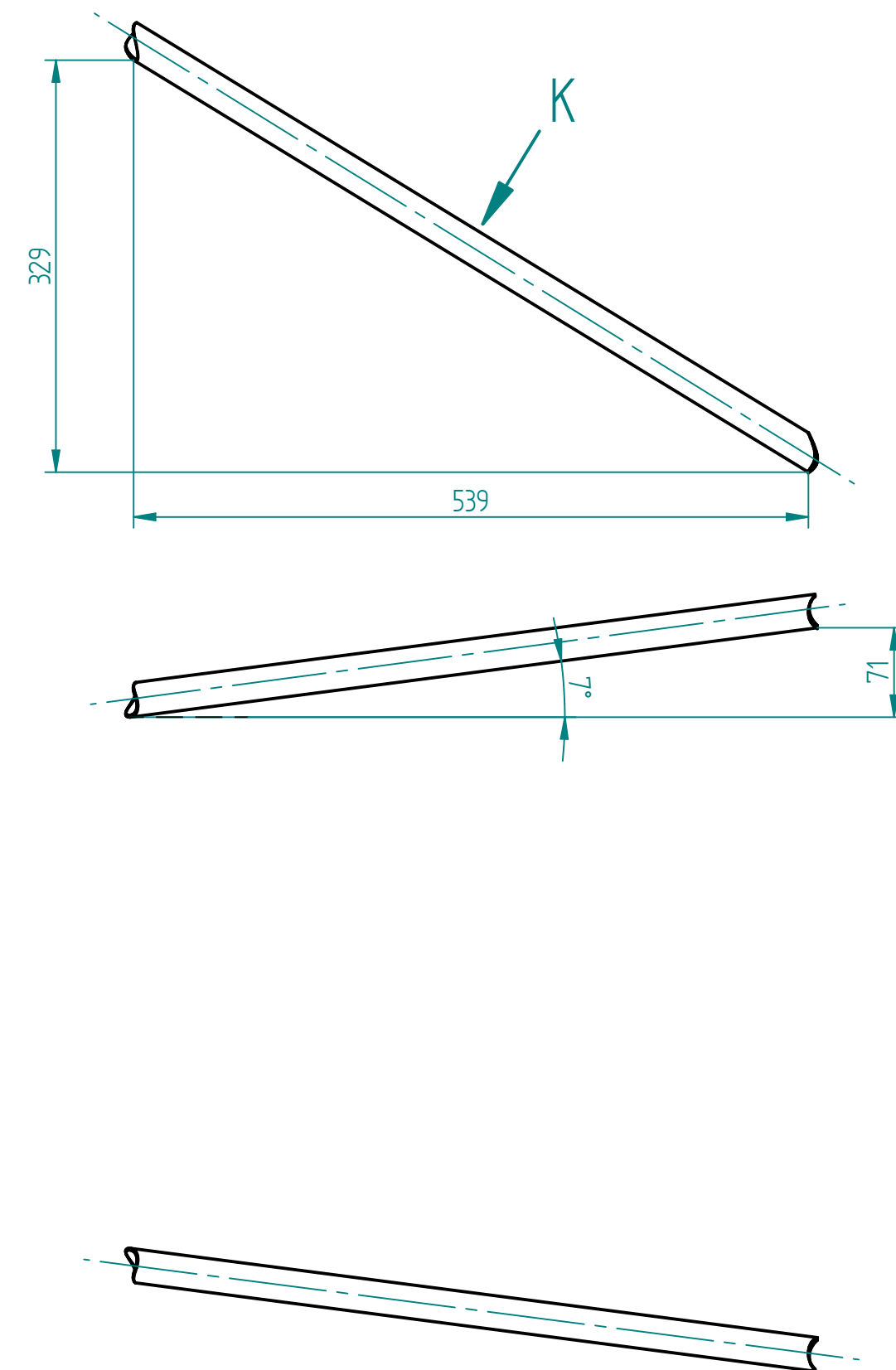
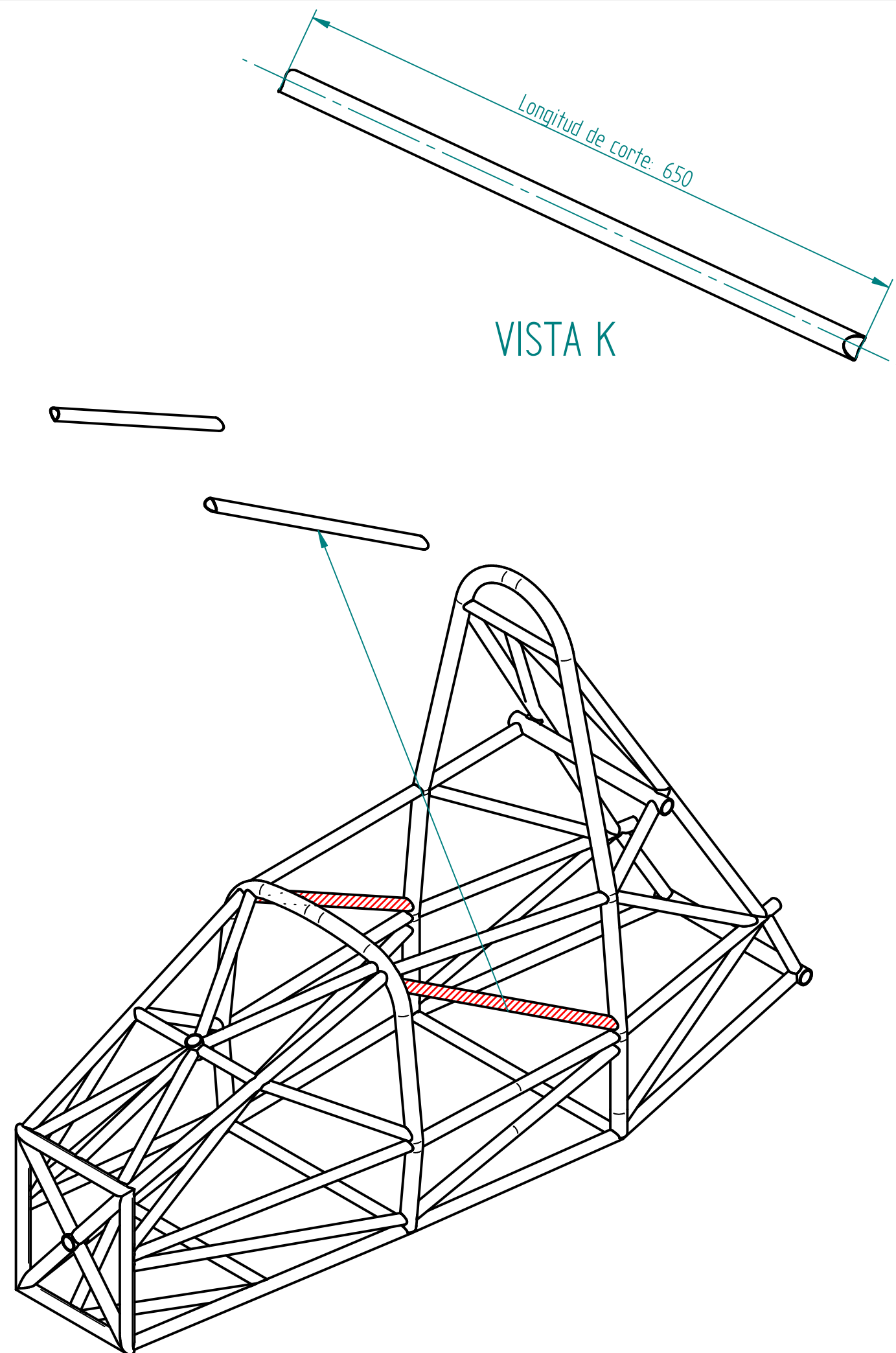
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE ELEMENTO 17			Nº PLANO 14/36	
1:5				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



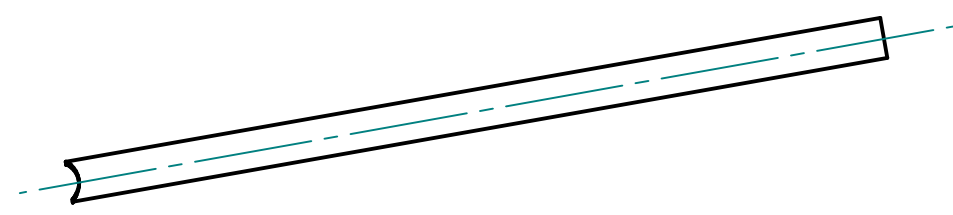
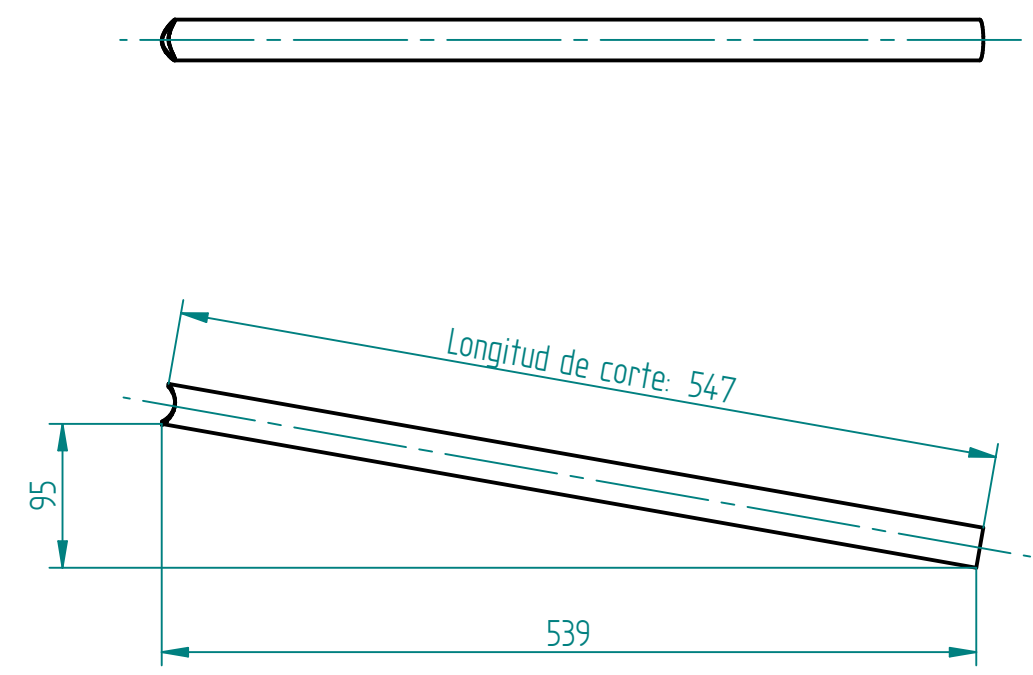
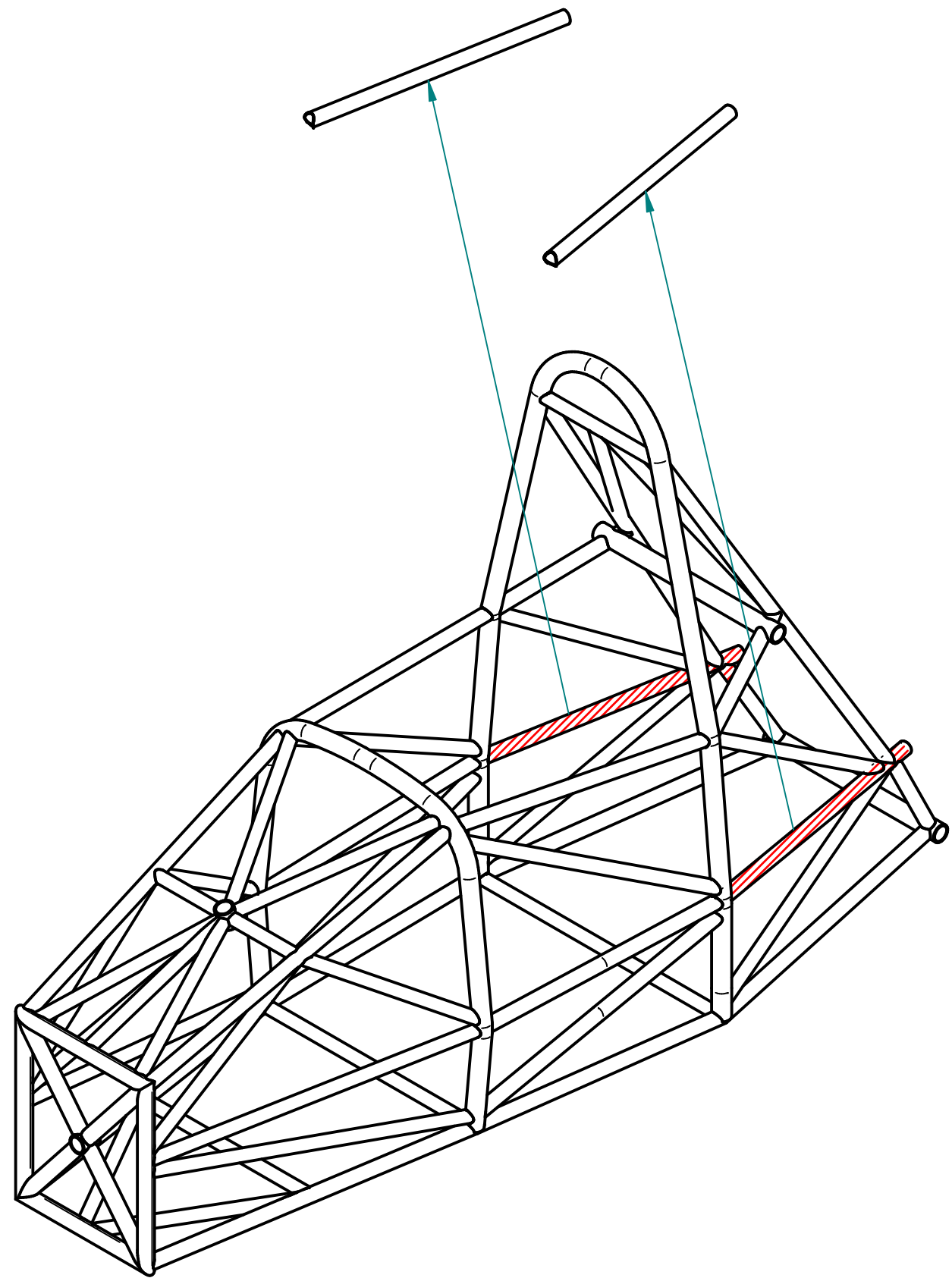
VISTA J



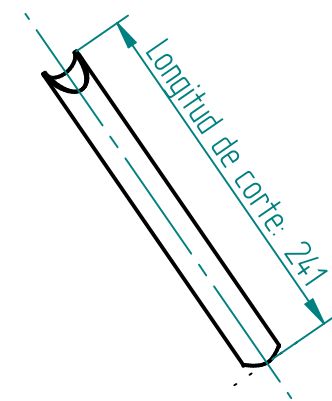
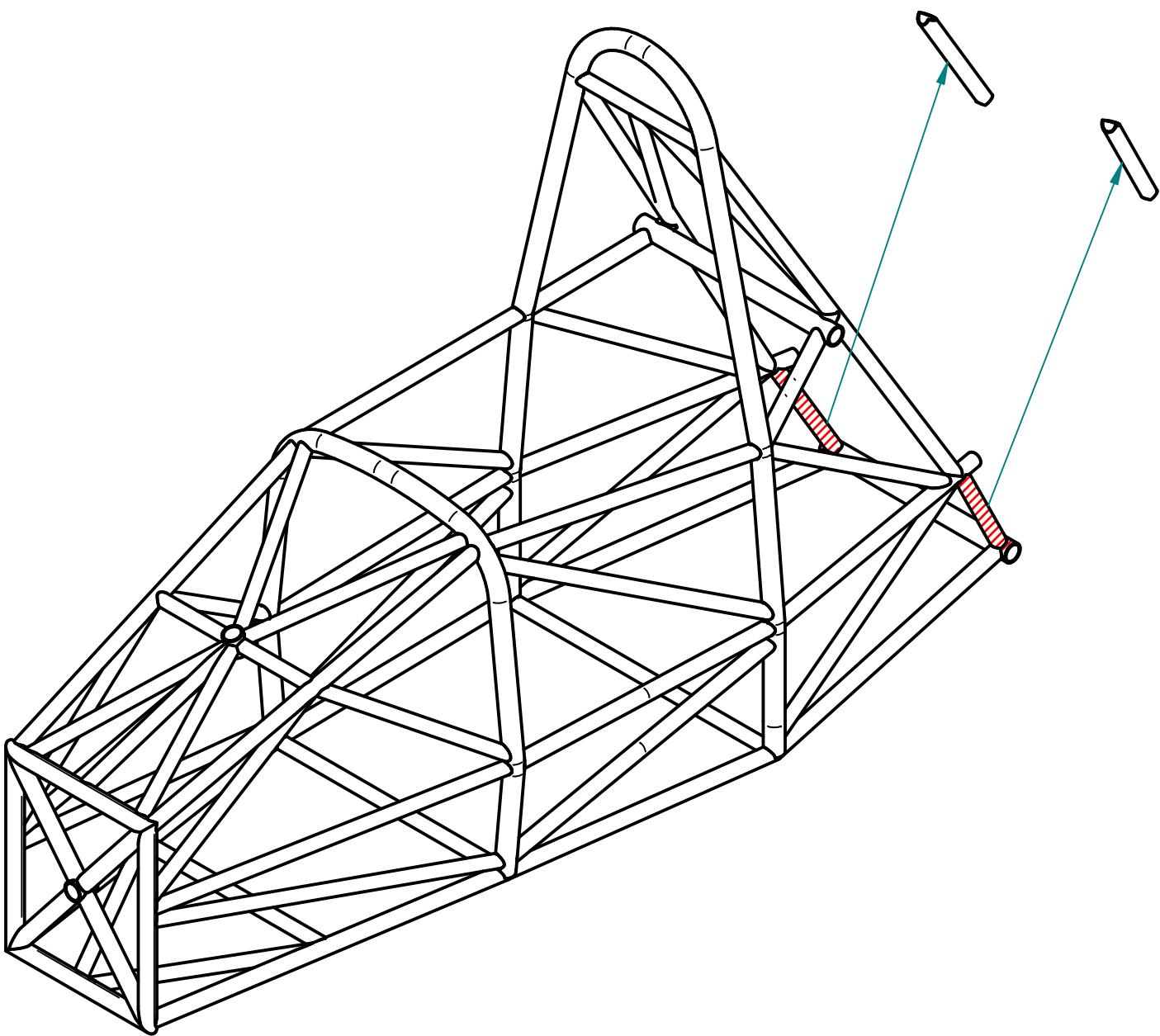
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo		
COMPROBADO				
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE			Nº PLANO
1:5	ELEMENTO 18			15/36
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



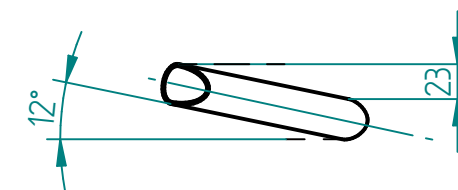
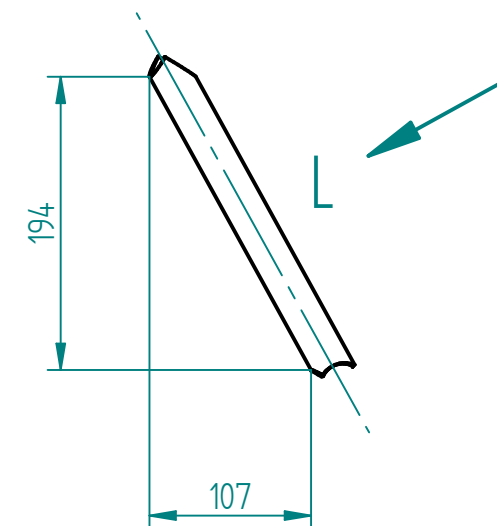
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo		
COMPROBADO				
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE			Nº PLANO
1:5	ELEMENTO 19			16/36
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



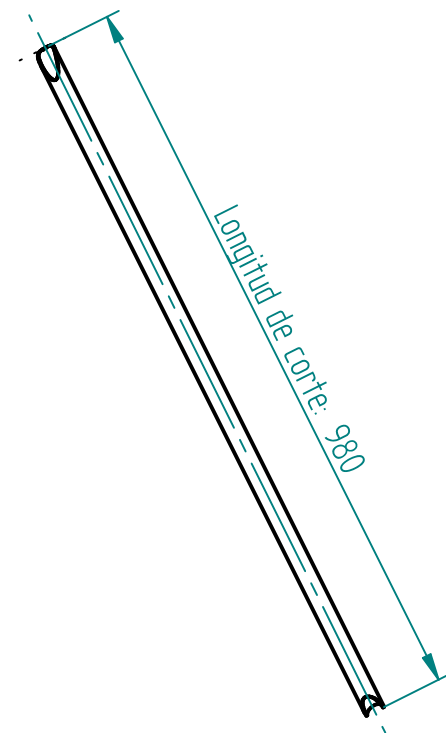
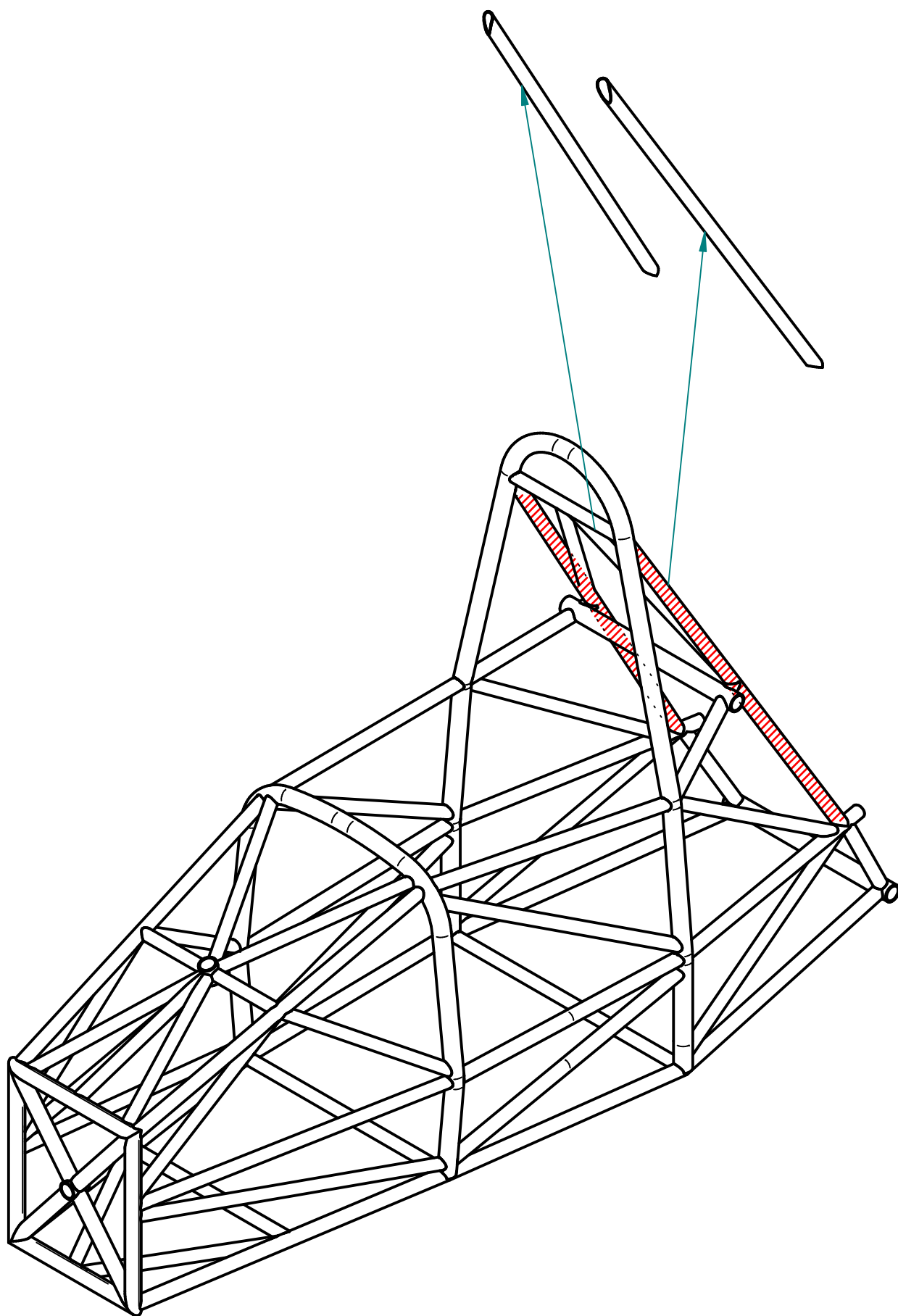
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE ELEMENTO 20			Nº PLANO 17/36	
1:5				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



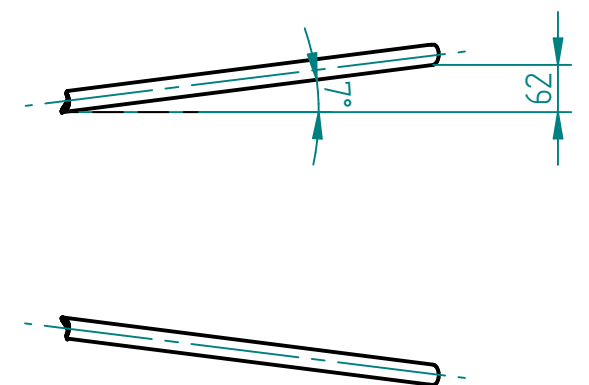
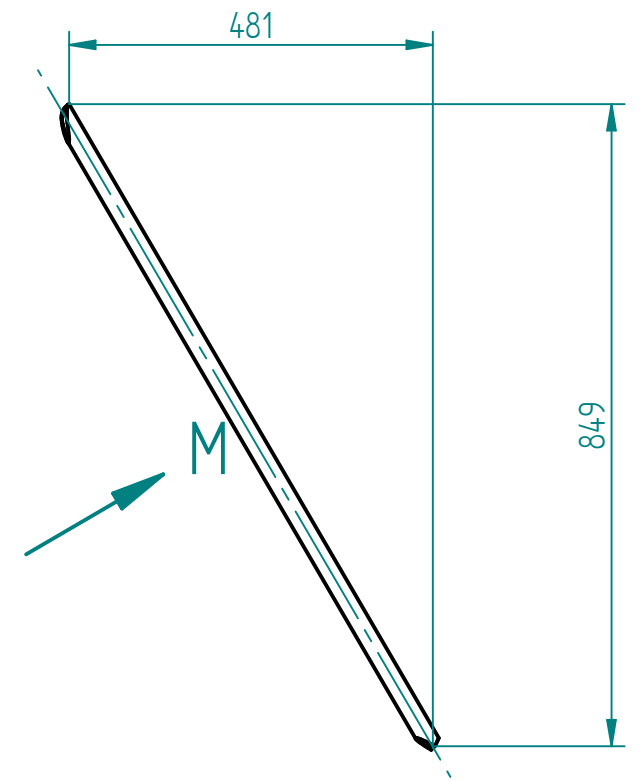
VISTA L



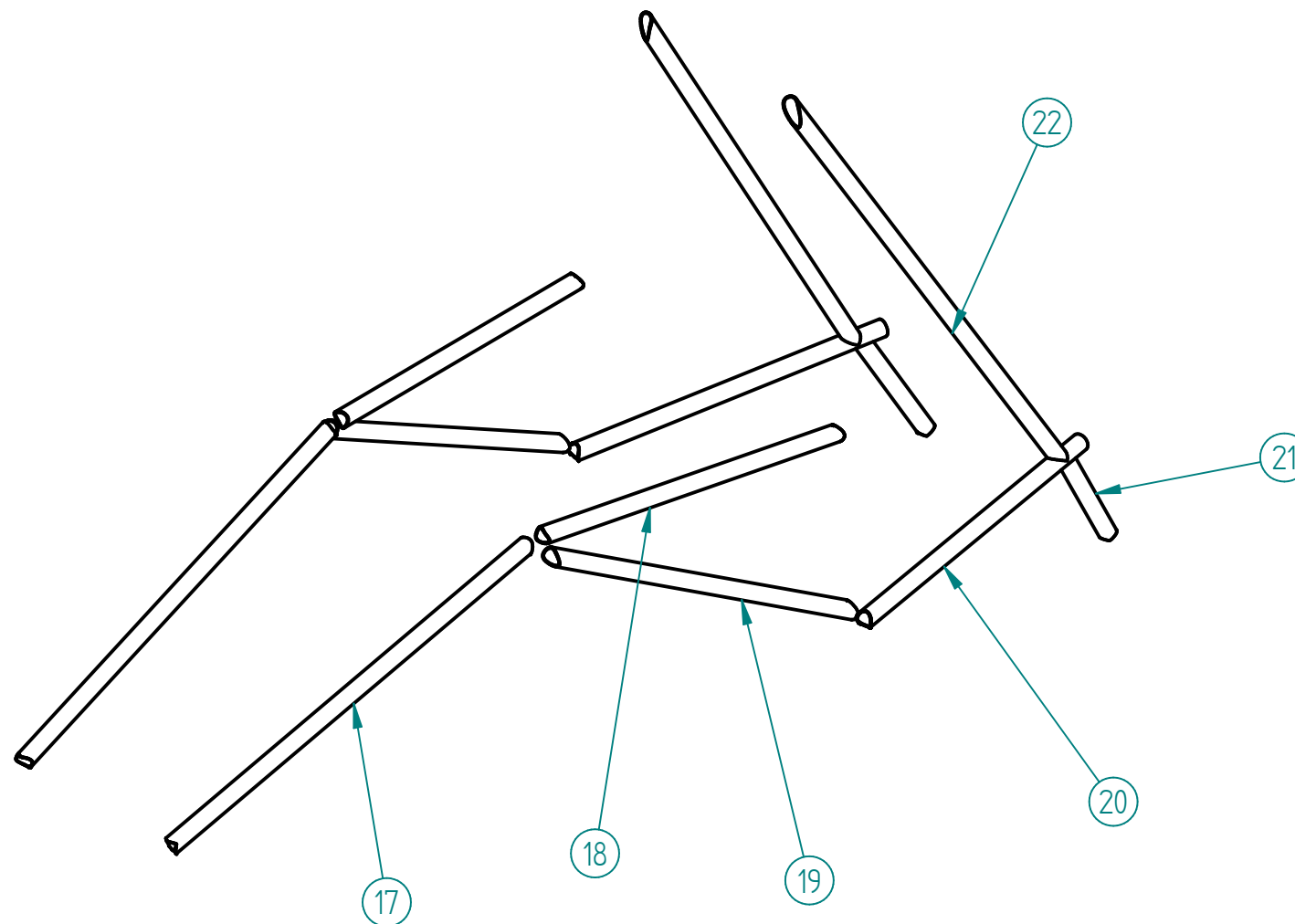
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE ELEMENTO 21			Nº PLANO	18/36
1:5				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



VISTA M

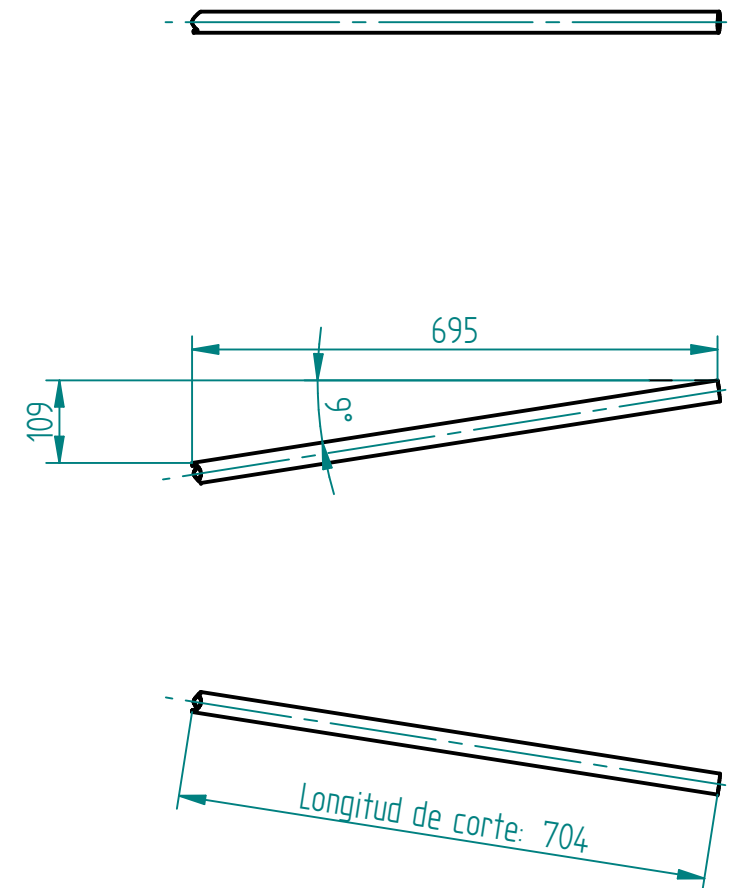
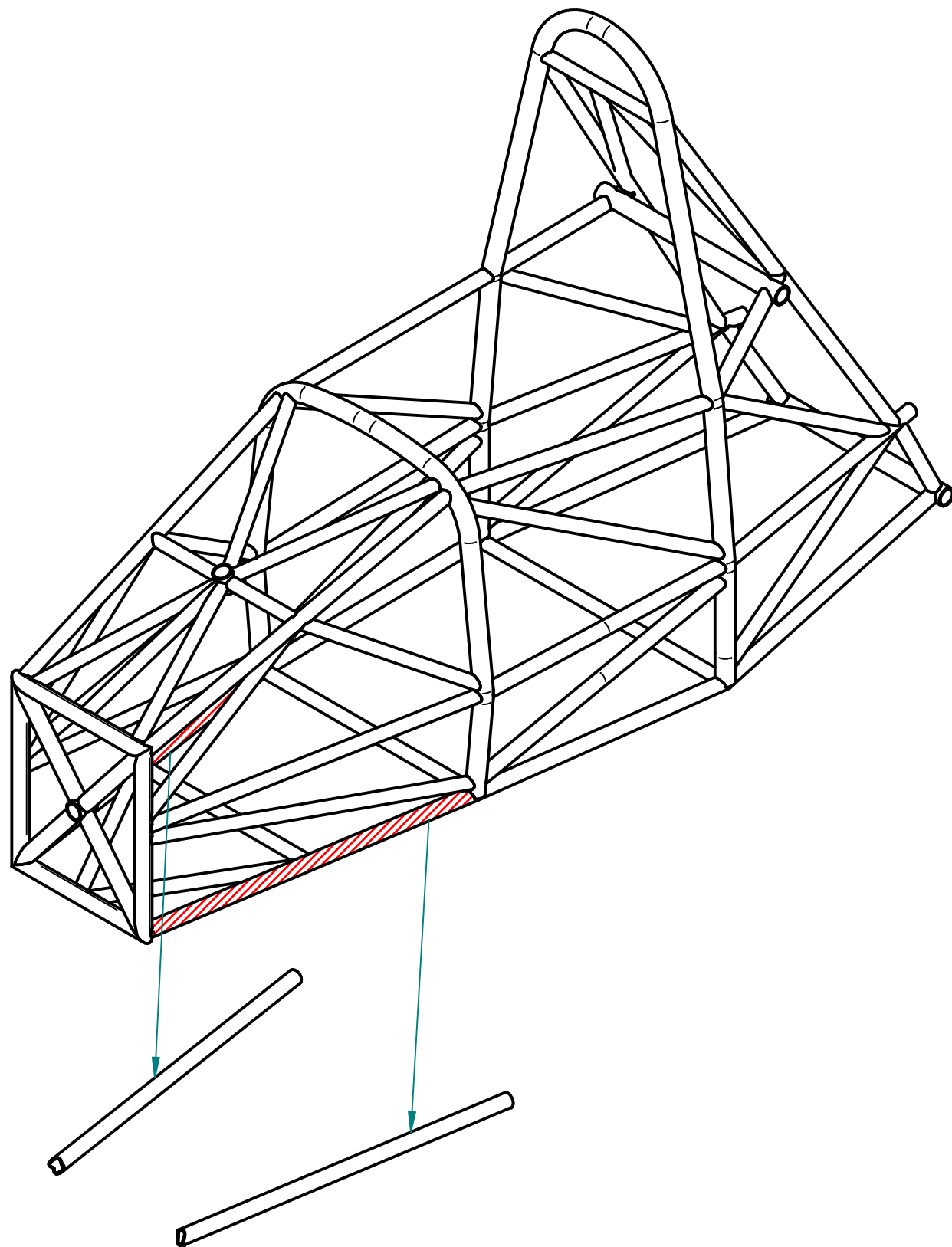


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE			Nº PLANO	
1:10	ELEMENTO 22			19/36	
				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

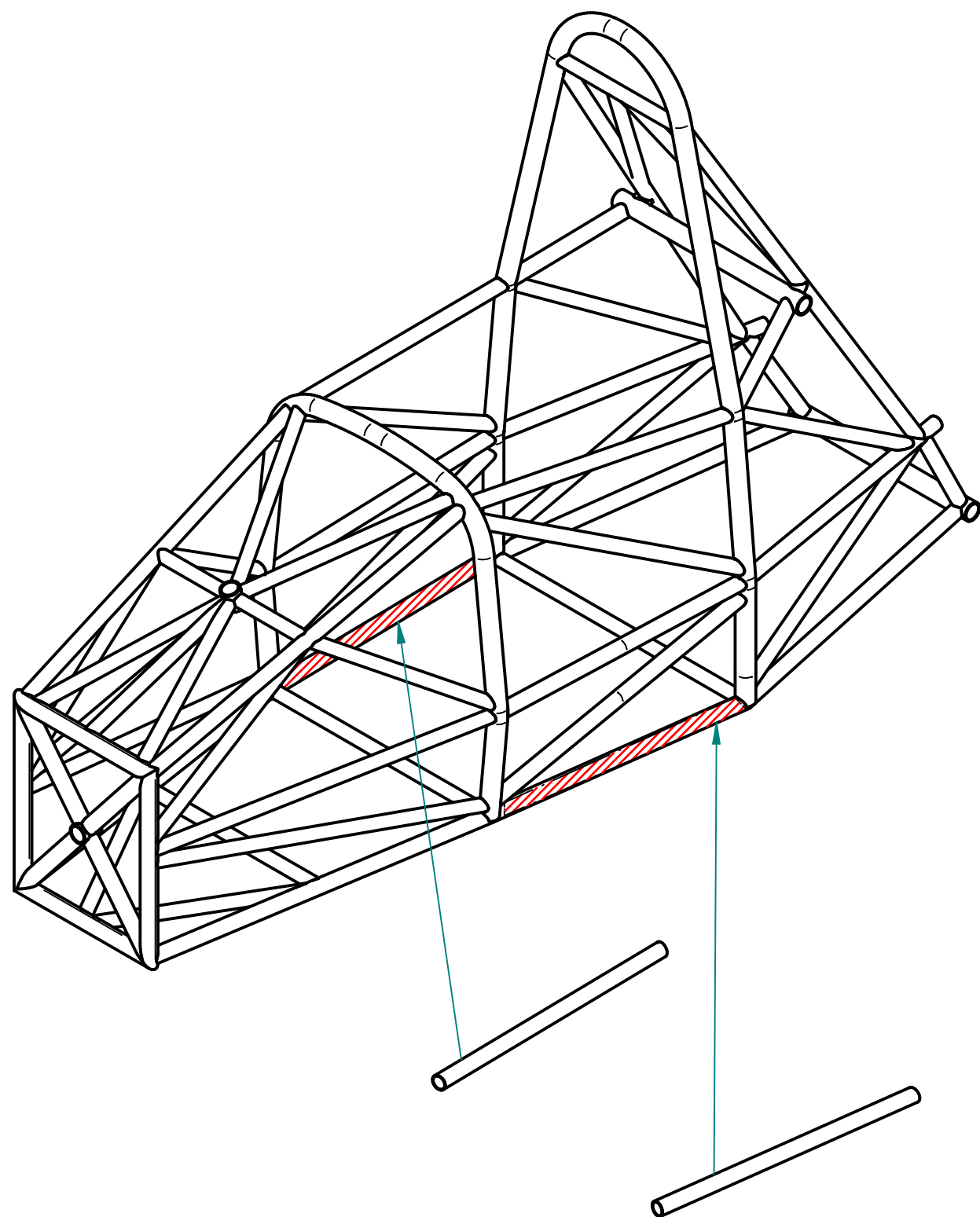


Número de elemento	Sección de tubo	Cantidad	Longitud de corte (mm)
17	ø26,9 - e 1,5 mm	2	721
18	ø26,9 - e 1,5 mm	2	554
19	ø26,9 - e 1,5 mm	2	650
20	ø26,9 - e 1,5 mm	2	547
21	ø26,9 - e 1,5 mm	2	241
22	ø26,9 - e 1,5 mm	2	980

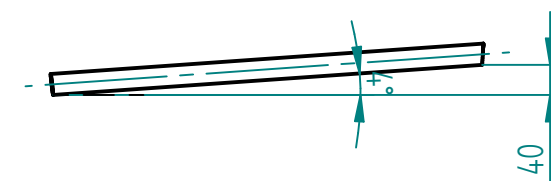
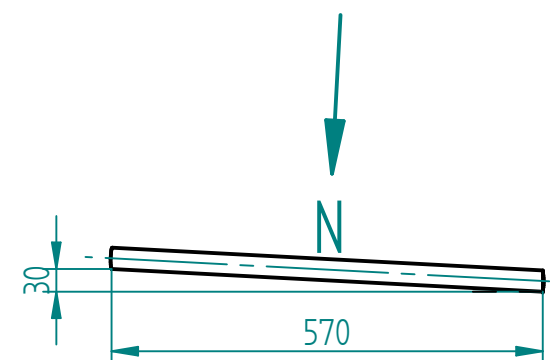
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE Conjunto de elementos de sección D			Nº PLANO 20/36	
1:10				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



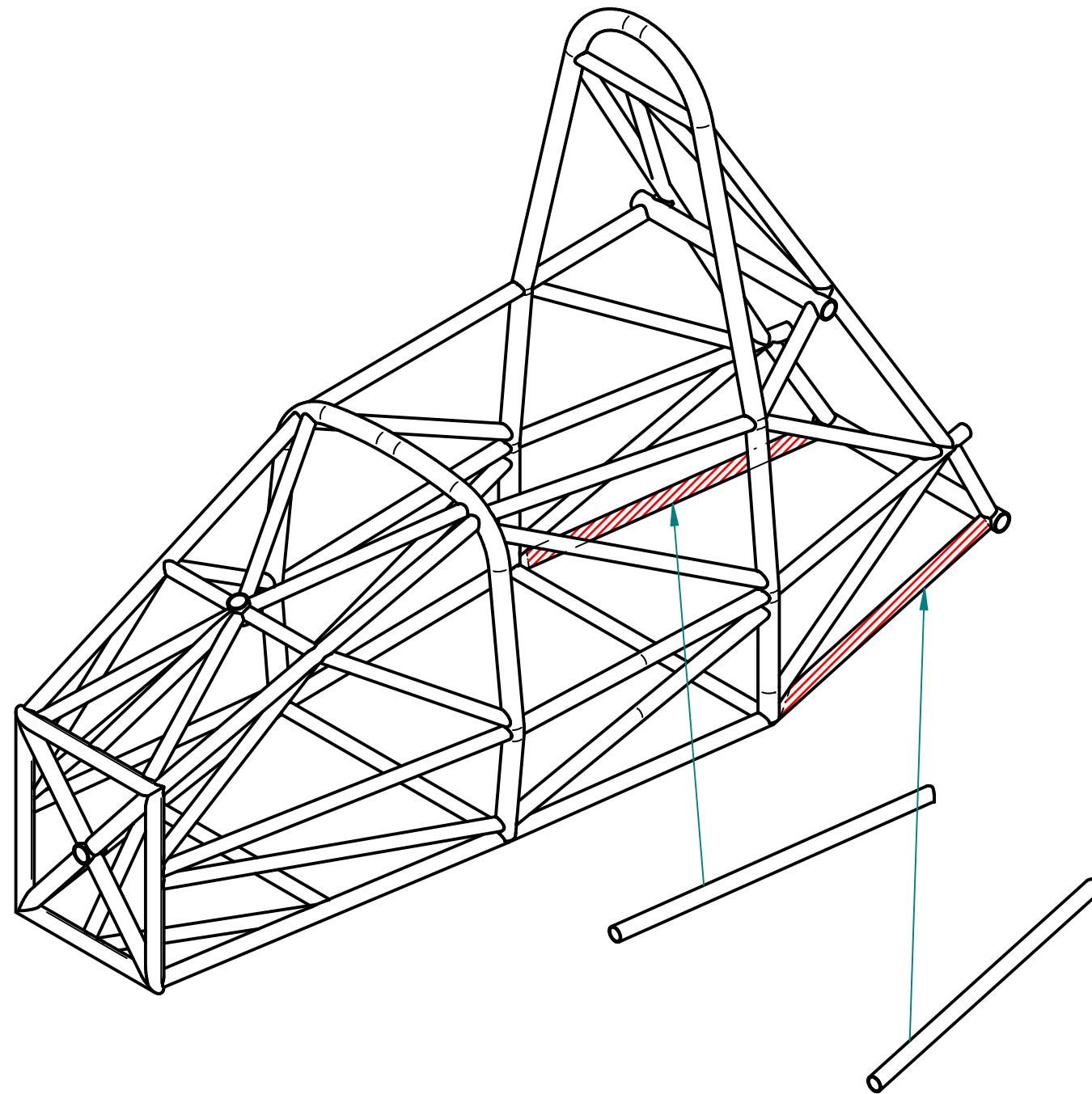
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE ELEMENTO 23			Nº PLANO 21/36	
1:10				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



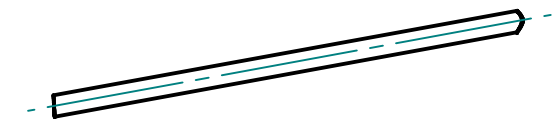
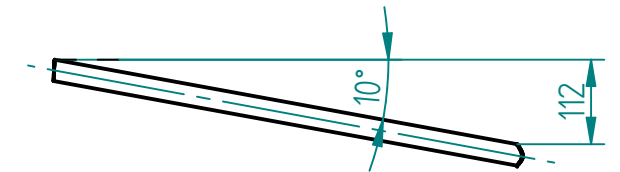
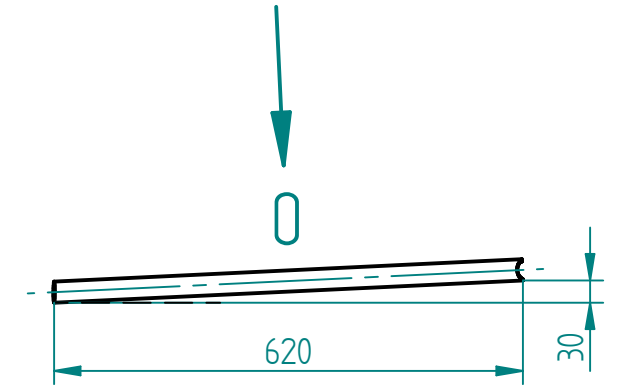
VISTA N



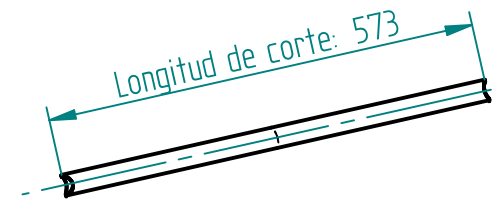
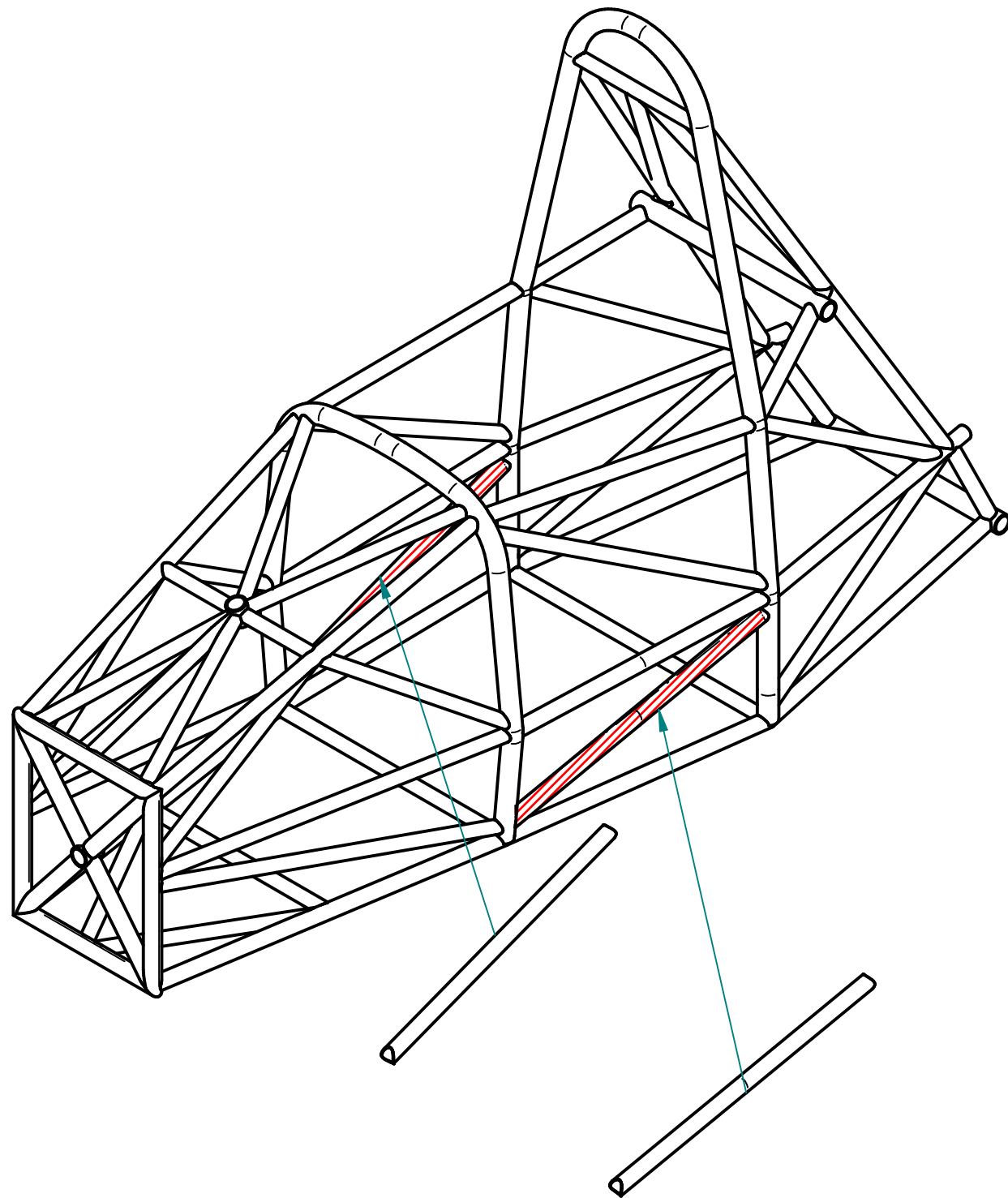
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo		
COMPROBADO				
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE			Nº PLANO
1:10	ELEMENTO 24			22/36
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



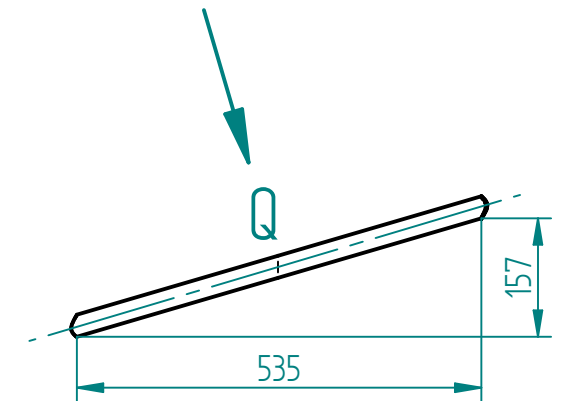
VISTA 0



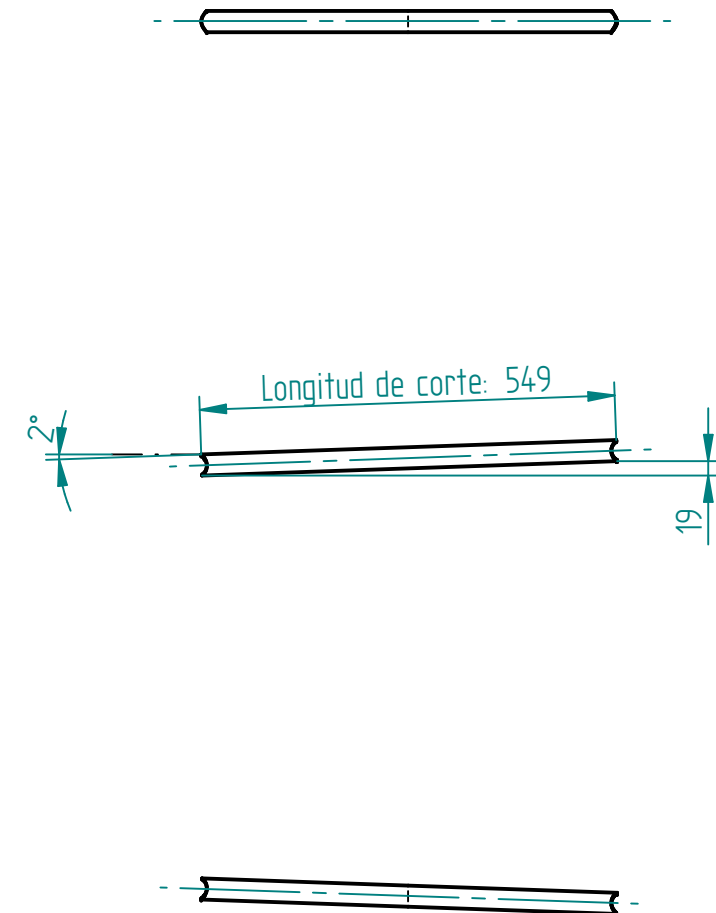
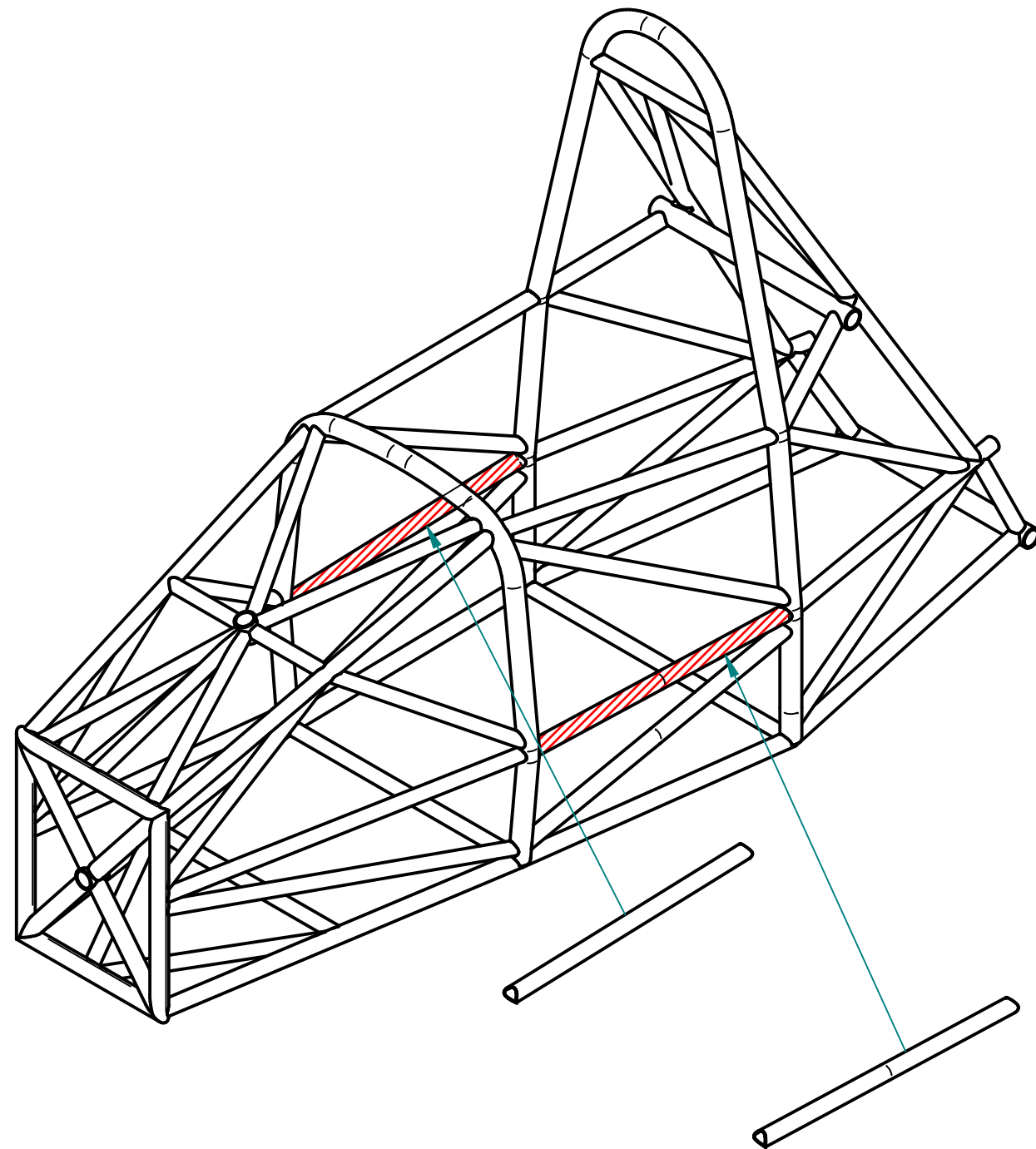
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE			Nº PLANO	
1:10				23/36	
				SUSTITUYE A:	
	ELEMENTO 25			SUSTITUIDO POR:	



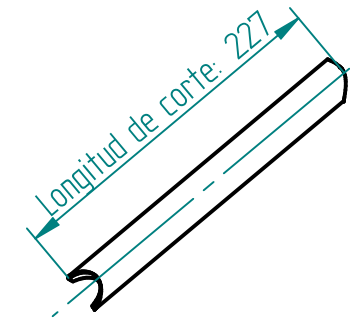
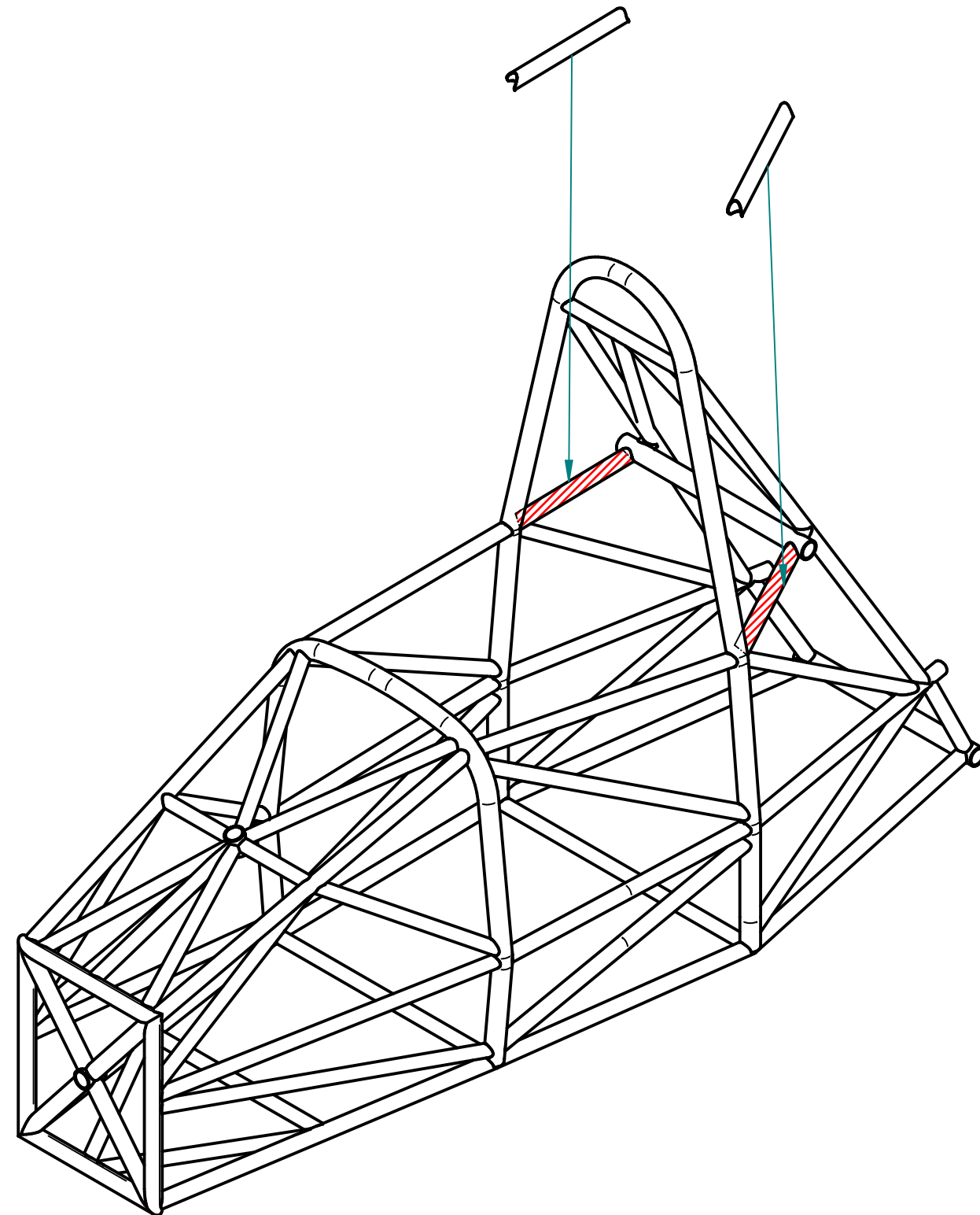
VISTA Q



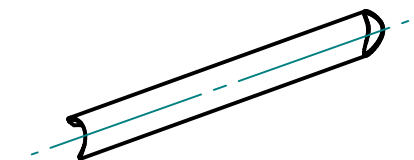
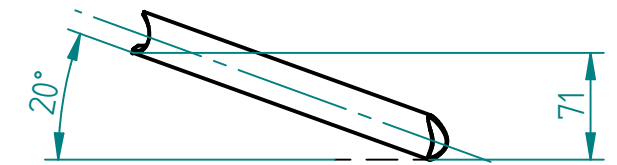
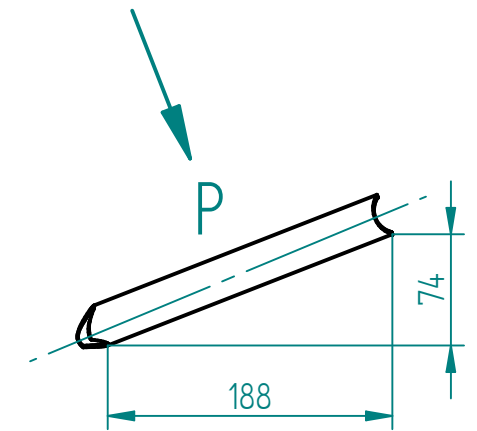
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE			Nº PLANO	
1:10				24/36	
				SUSTITUYE A:	
	ELEMENTO 26			SUSTITUIDO POR:	



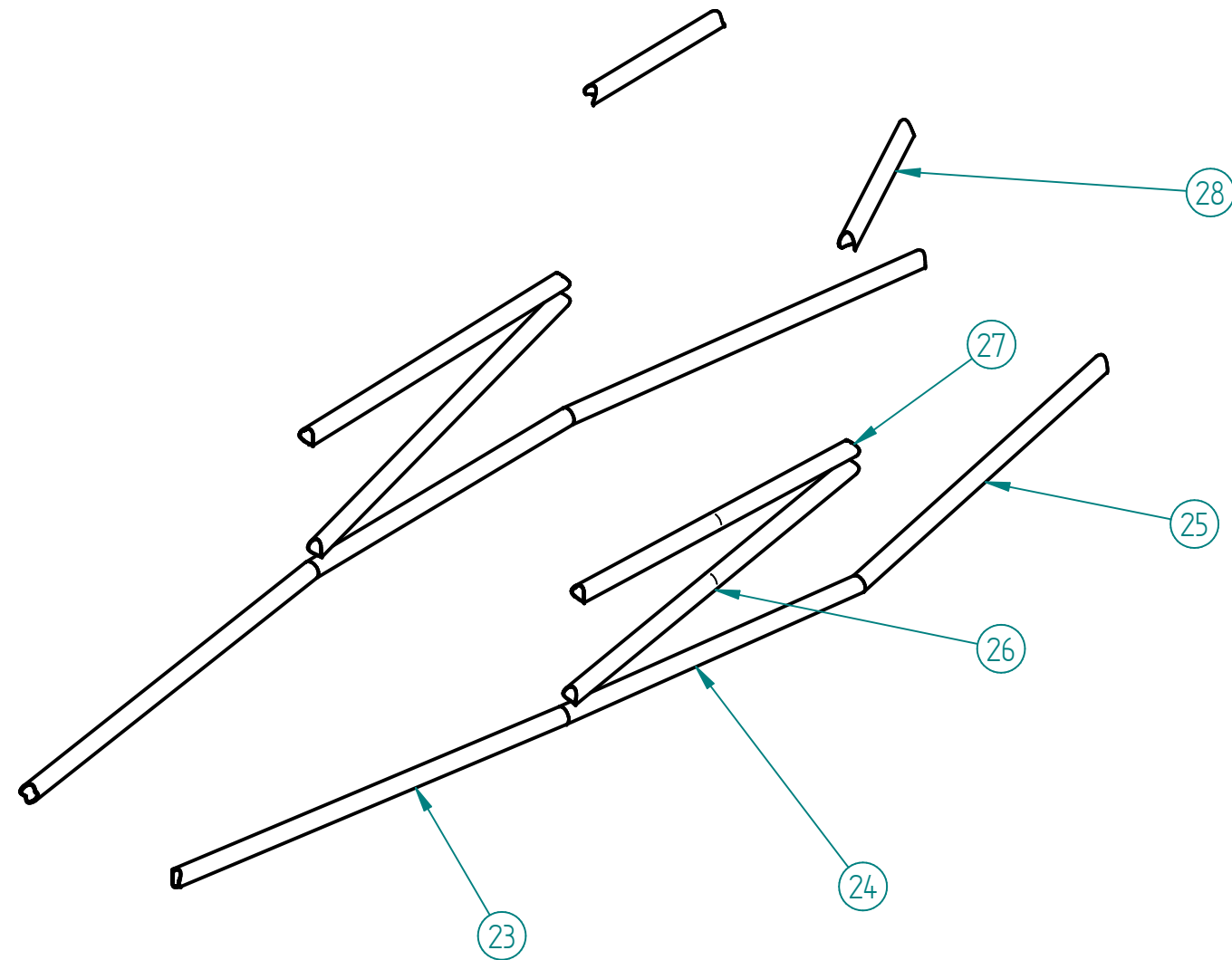
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE ELEMENTO 27			Nº PLANO	25/36
1:10				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



VISTA P

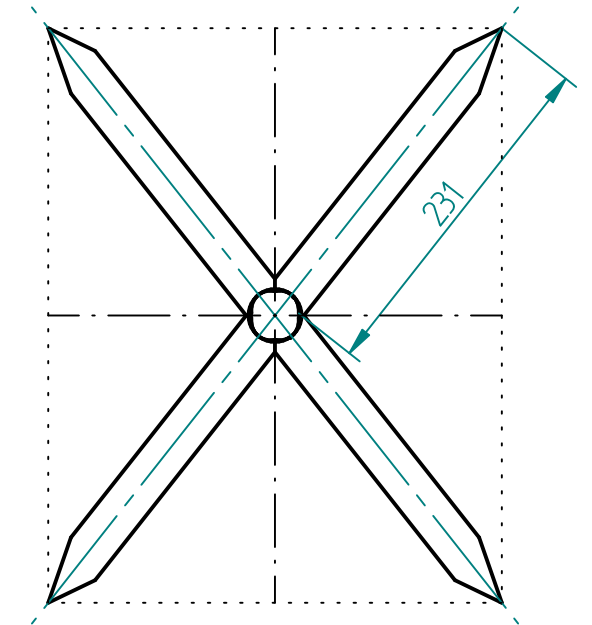
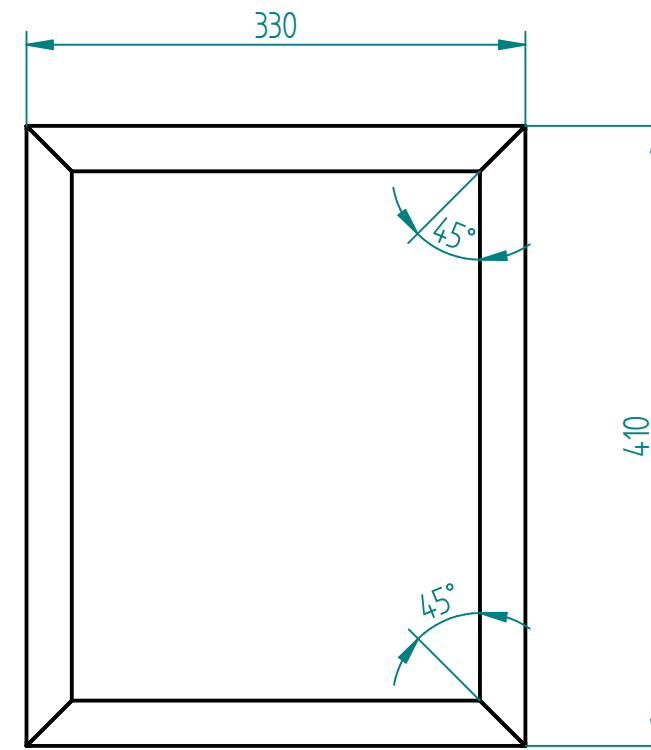
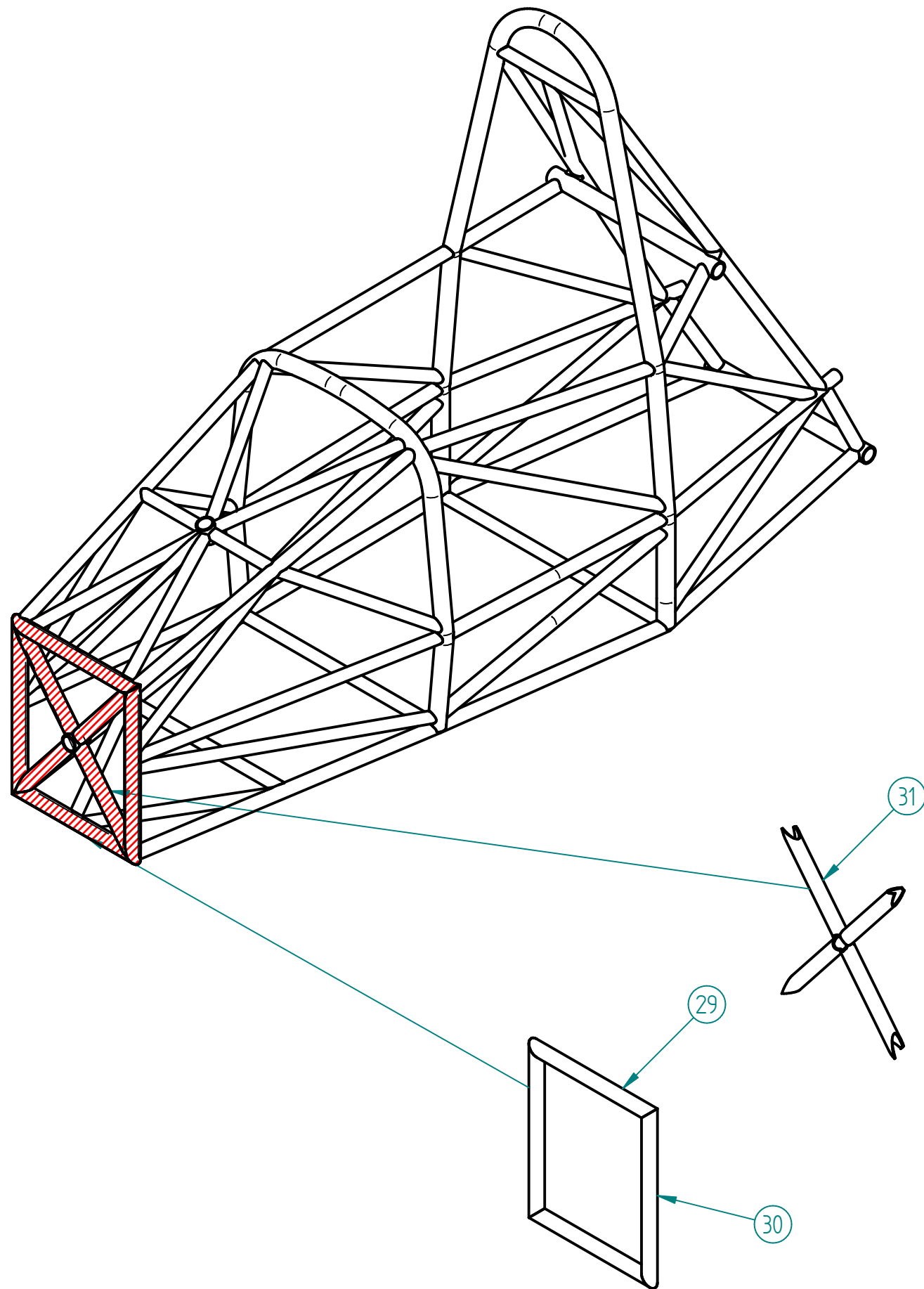


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE ELEMENTO 28			Nº PLANO 26/36	
1:5				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



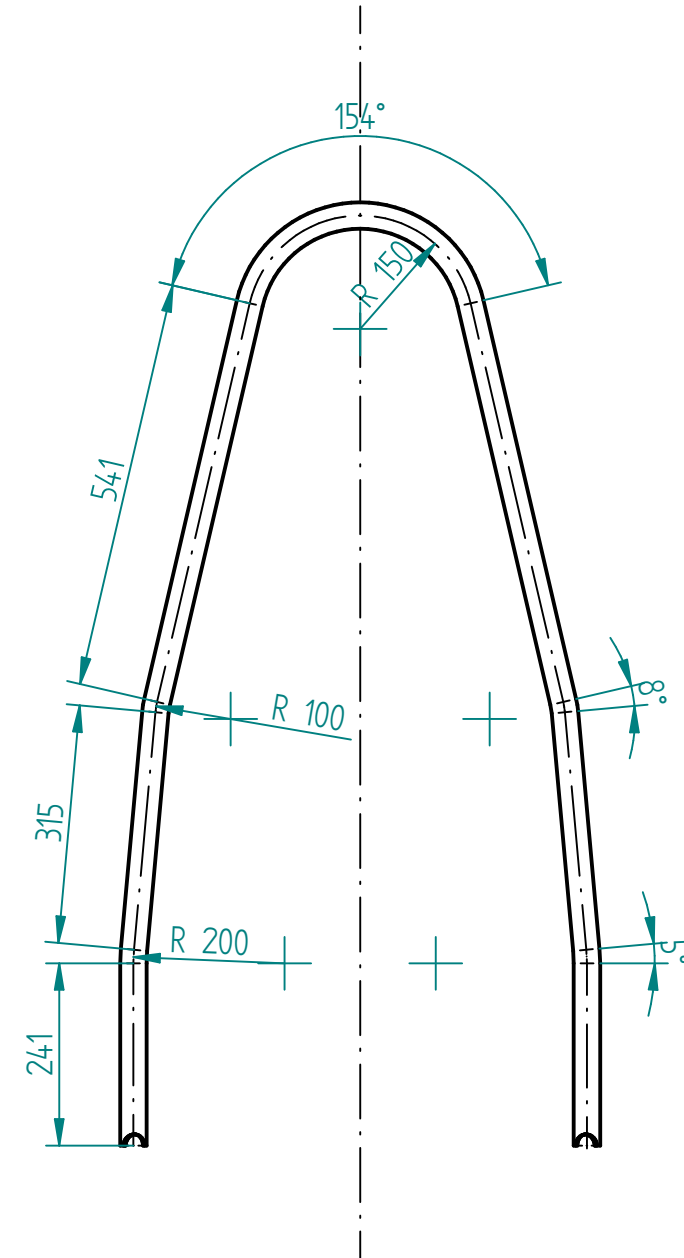
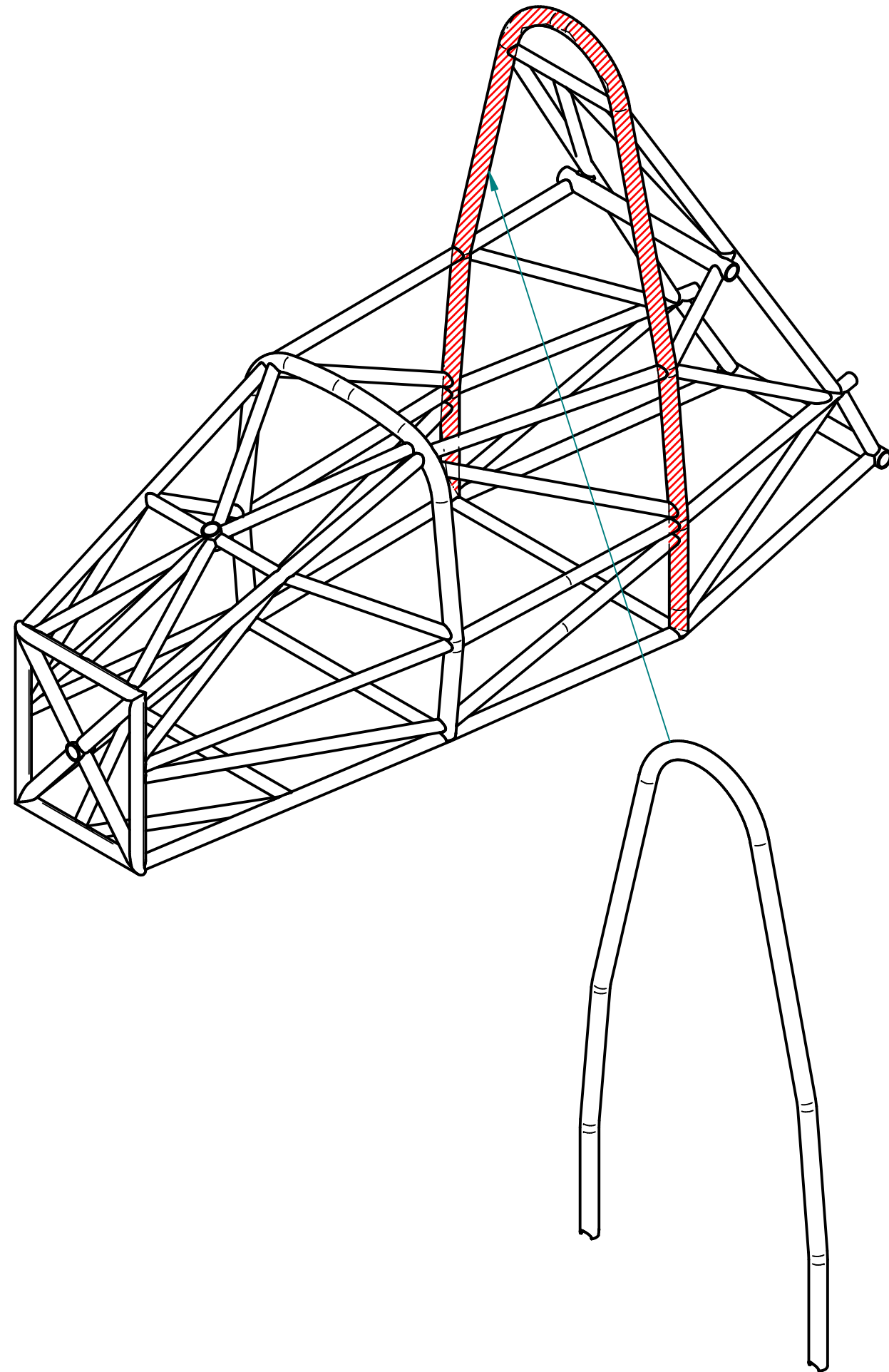
Número de elemento	Sección de tubo	Cantidad	Longitud de corte (mm)
23	ø28 - e 1,5 mm	2	704
24	ø28 - e 1,5 mm	2	575
25	ø28 - e 1,5 mm	2	632
26	ø28 - e 1,5 mm	2	574
27	ø28 - e 1,5 mm	2	549
28	ø28 - e 1,5 mm	2	227

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE CONJUNTO ELEMENTOS SECCIÓN C				Nº PLANO 27/36
1:10					SUSTITUYE A:
					SUSTITUIDO POR:

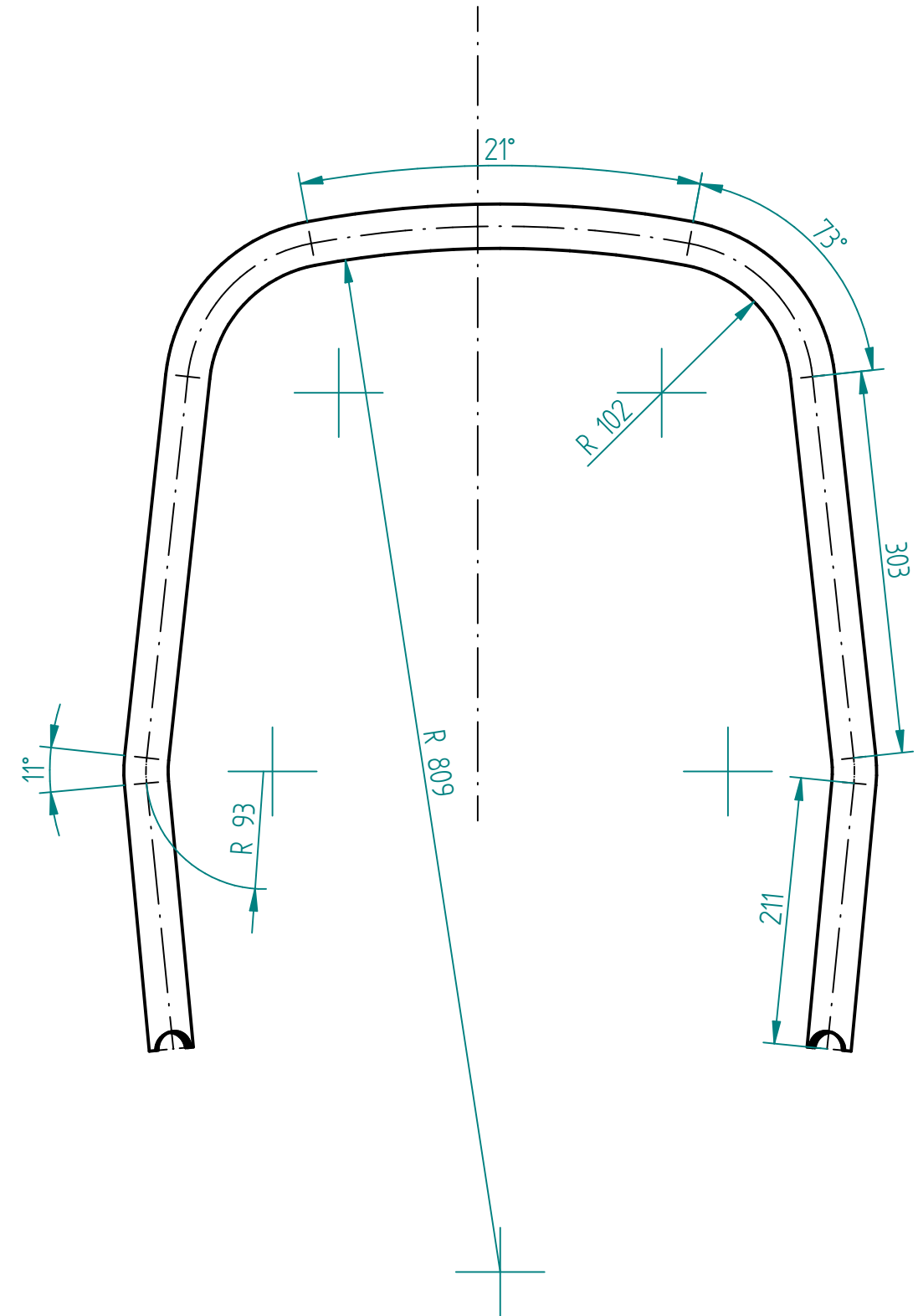
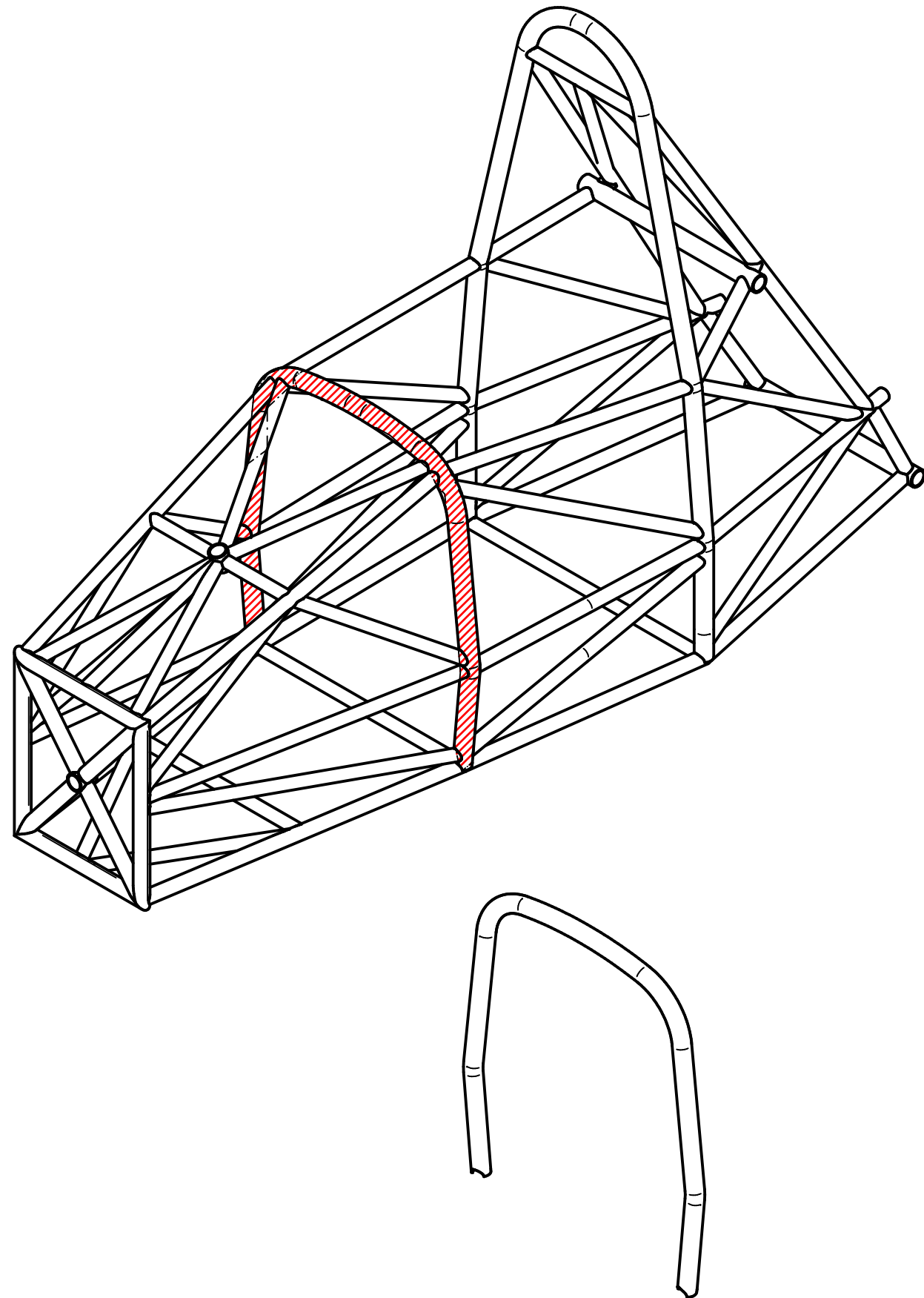


Número de elemento	Sección de tubo	Cantidad	Longitud de corte (mm)
29	Ø30 - e 2,5 mm	2	330
30	Ø30 - e 2,5 mm	2	410
31	Ø30 - e 2,5 mm	4	231

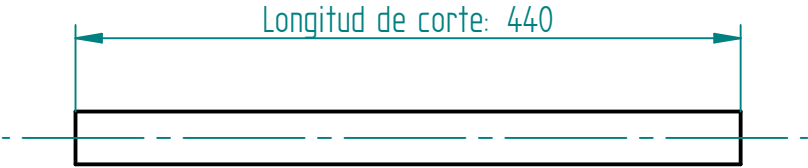
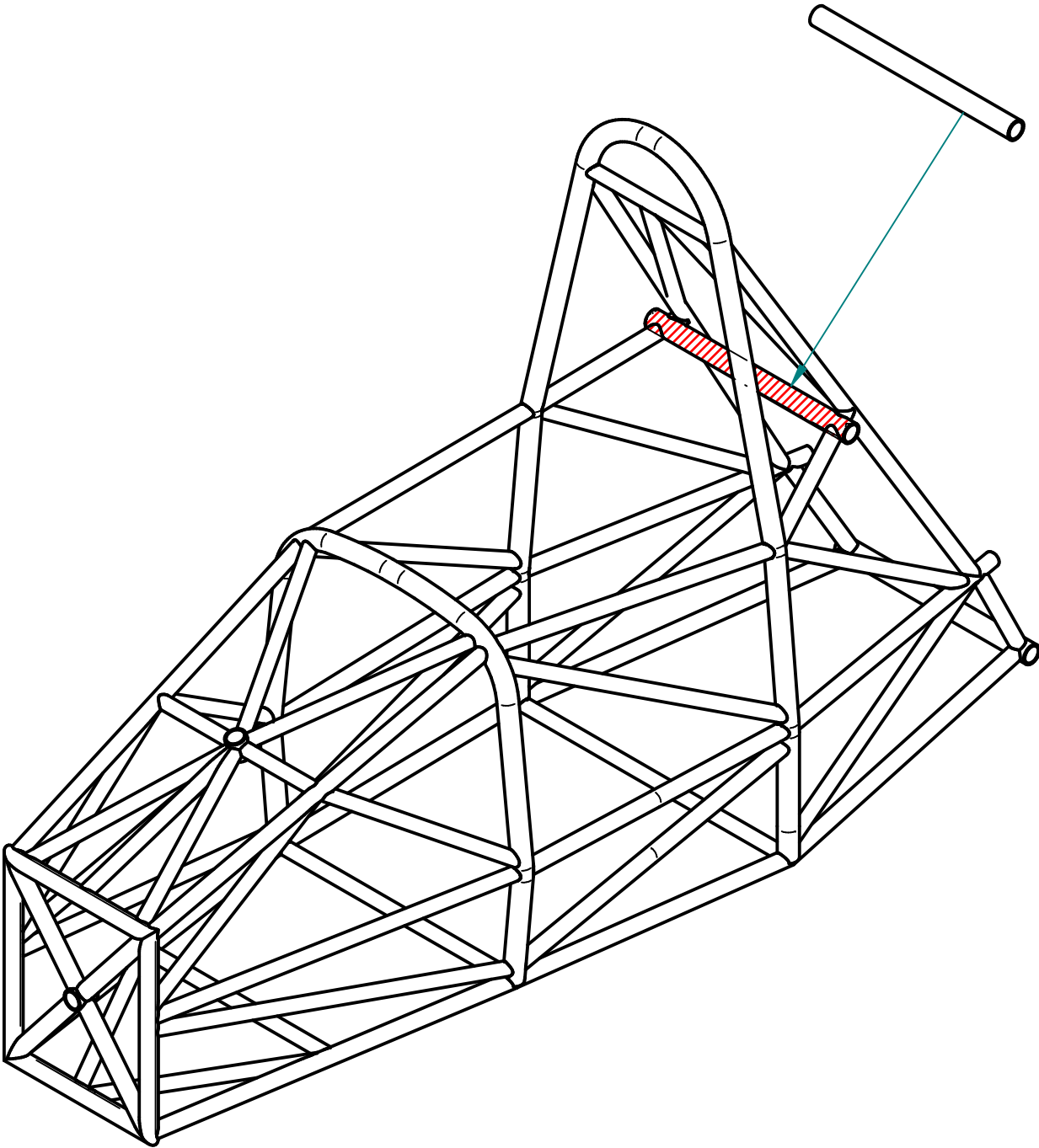
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo		
COMPROBADO				
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE			Nº PLANO
1:5	CONJUNTO ELEMENTOS SECCIÓN B			28/36
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



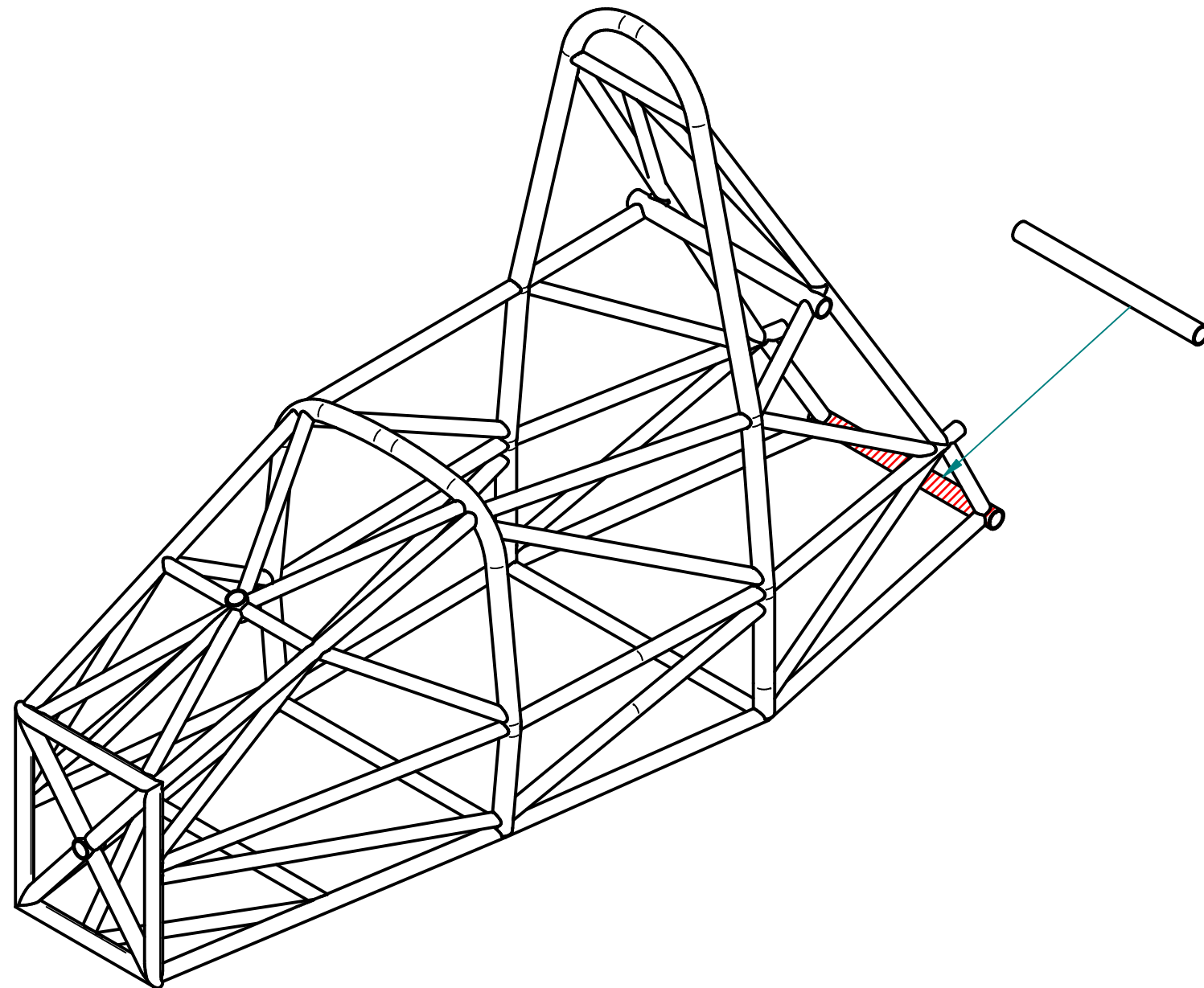
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE			Nº PLANO	
1:10				29/36	
				SUSTITUYE A:	
	ELEMENTO 32			SUSTITUIDO POR:	



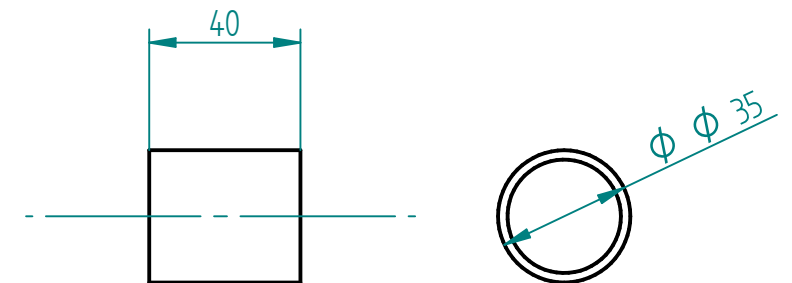
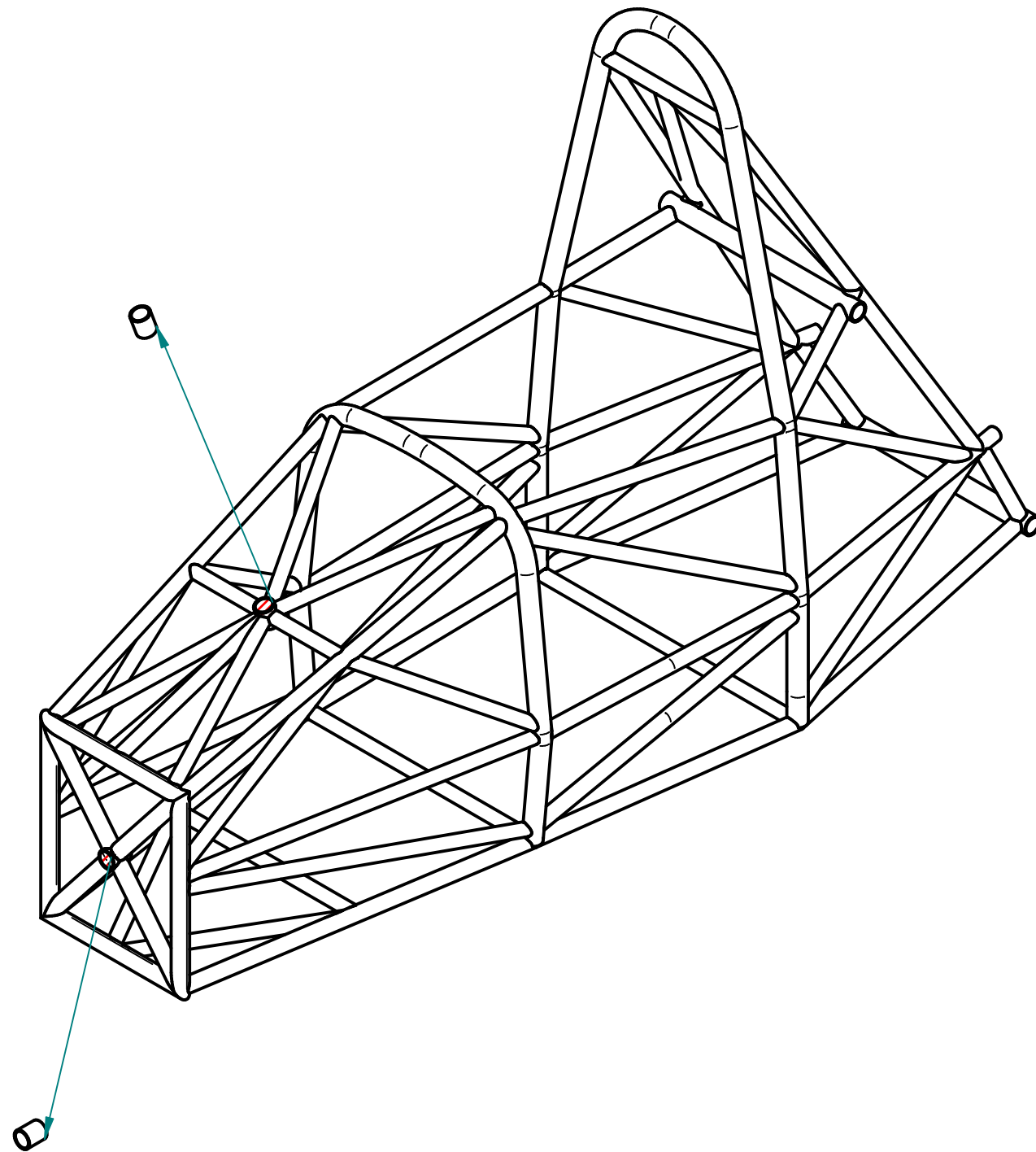
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo		
COMPROBADO				
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE			Nº PLANO
1:5	ELEMENTO 33			30/36
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:



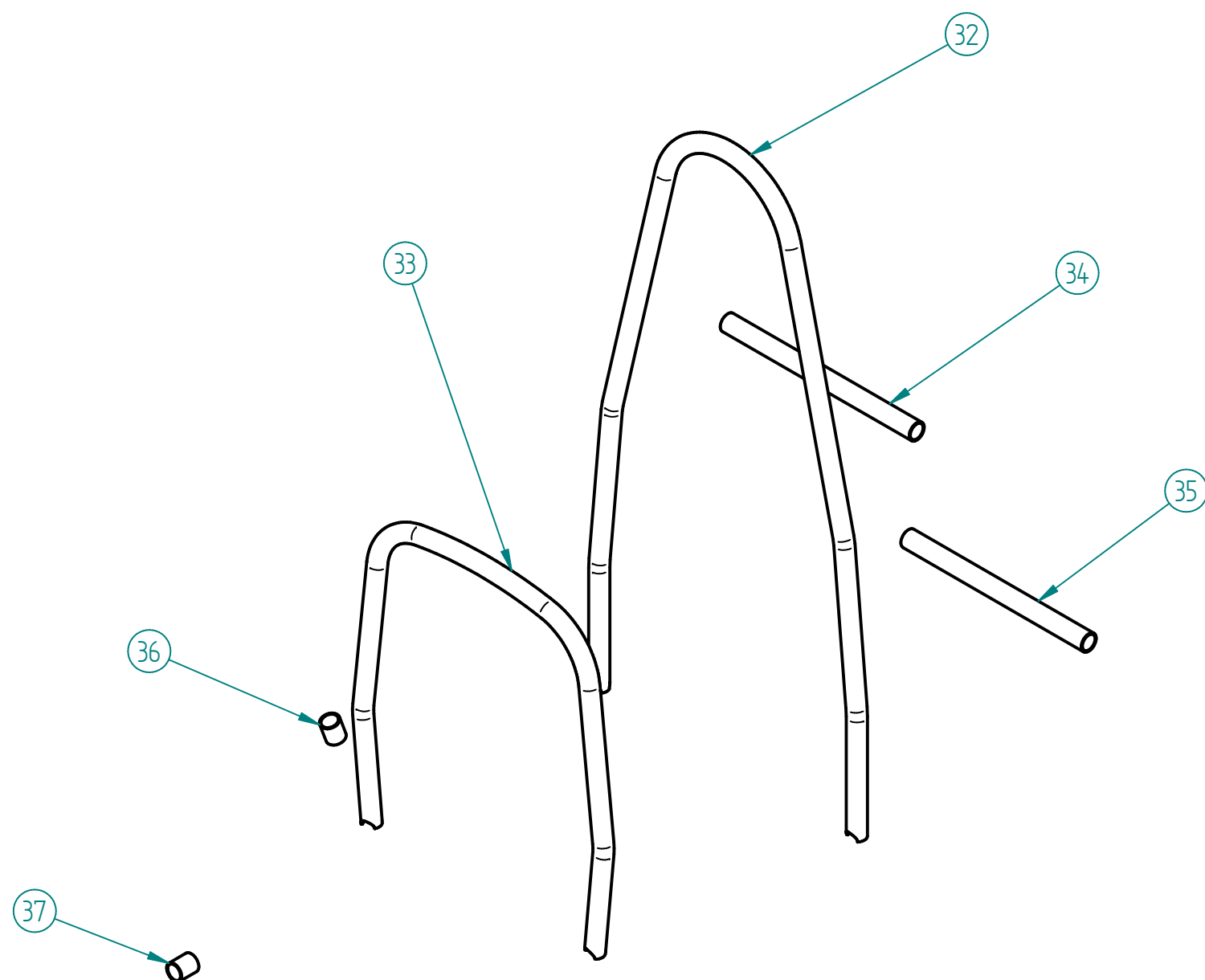
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE ELEMENTO 34			Nº PLANO 31/36	
1:5				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE ELEMENTO 35			Nº PLANO 32/36	
1:5				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

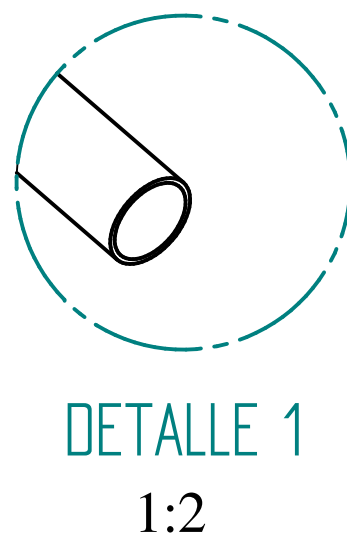
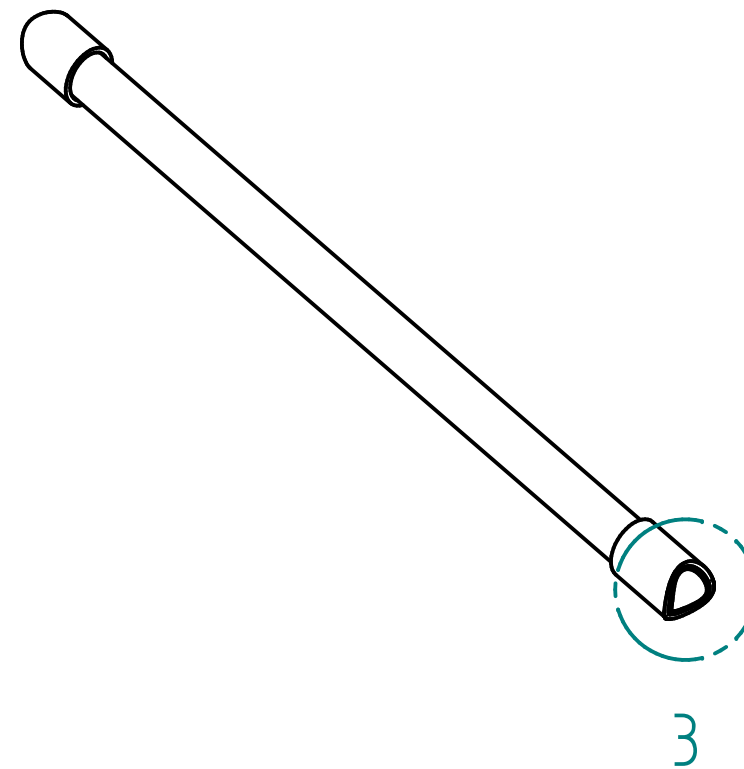
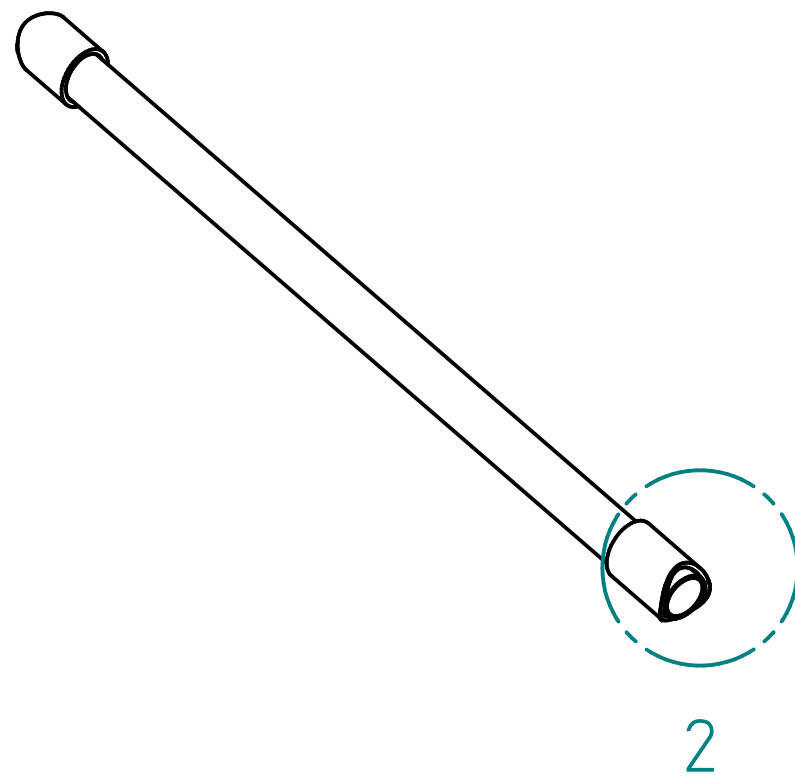
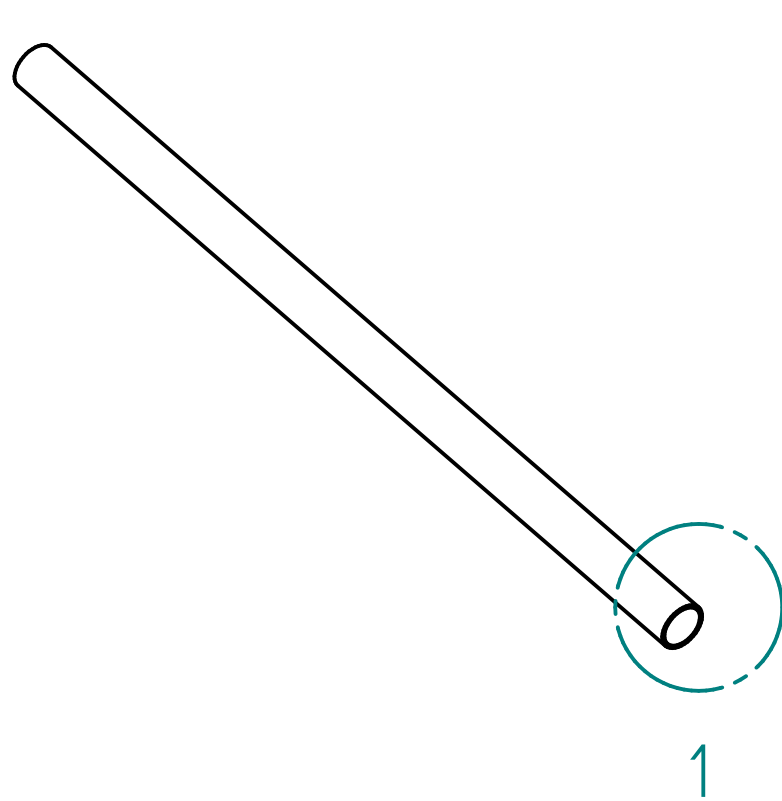


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE			Nº PLANO	33/36
1:2				SUSTITUYE A:	
	ELEMENTOS 36 Y 37			SUSTITUIDO POR:	



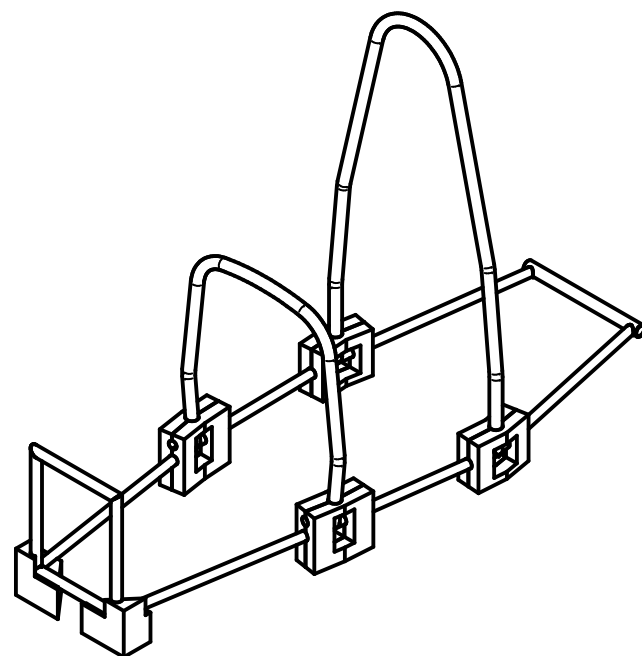
Número de elemento	Sección de tubo	Cantidad	Longitud de corte (mm)
32	ø35 - e 2,5 mm	2	2634 + 10%
33	ø35 - e 2,5 mm	2	1620 + 10%
34	ø35 - e 2,5 mm	2	440
35	ø35 - e 2,5 mm	2	420
36	ø35 - e 2,5 mm	2	40
37	ø35 - e 2,5 mm	4	40

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE CONJUNTO ELEMENTOS SECCIÓN A			Nº PLANO 34/36	
1:10				SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

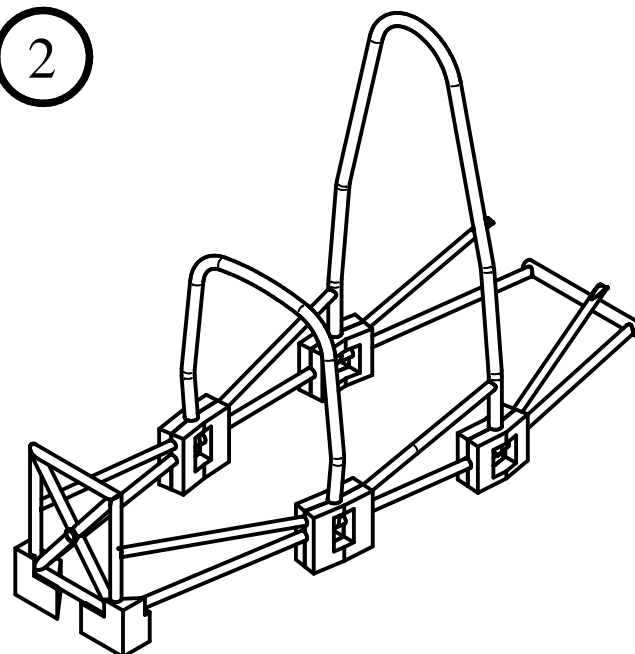


	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES	
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo			
COMPROBADO					
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE			Nº PLANO 35/36	
1:4	Proceso de corte con plantilla			SUSTITUYE A:	
				SUSTITUIDO POR:	

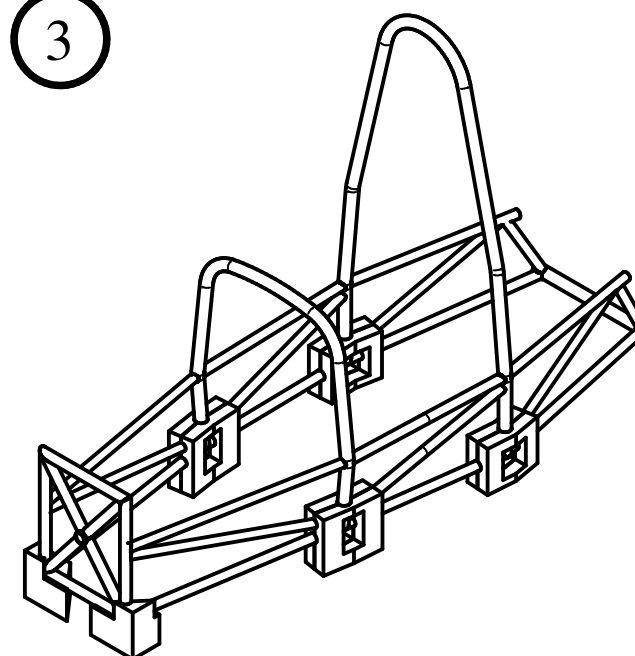
1



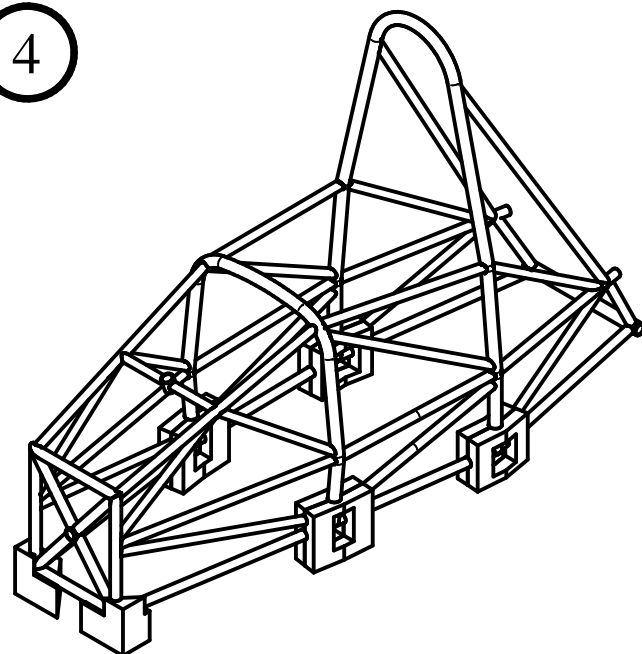
2



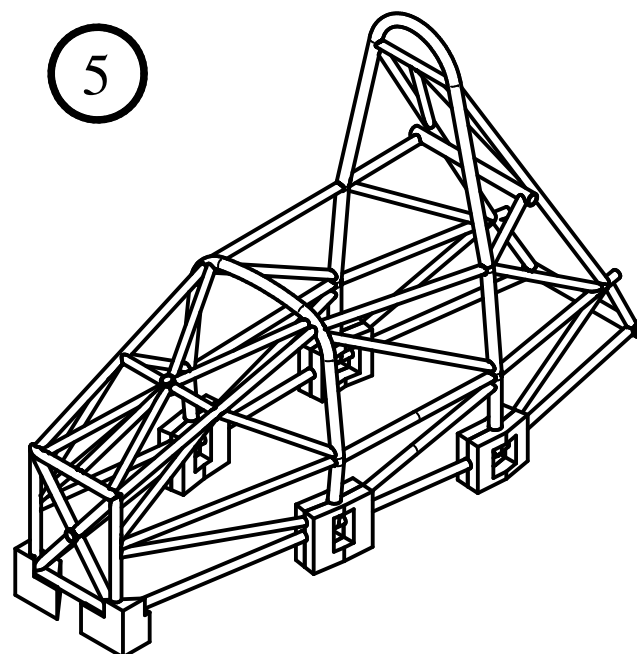
3



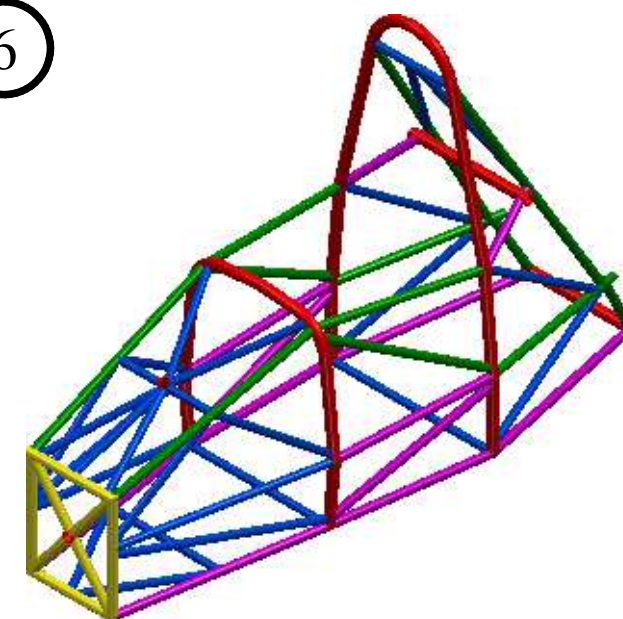
4



5



6



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES
DIBUJADO	03/02/2019	José Tejada Castillo		
COMPROBADO				
ESCALA:	DISEÑO DE UN CHASIS DE FORMULA SAE			Nº PLANO
1:20	Secuencia de montaje			36/36
				SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR: