



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

**DESARROLLO DE PLANTILLAS PARA FABRICACIÓN DE CHASIS DE VEHÍCULO TIPO
FÓRMULA SAE**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. MILTON SAEL CUELLAR YAÑEZ

TUTOR PRINCIPAL: DR. MARCELO LÓPEZ PARRA
PROFESOR TITULAR, FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNAM

JURIQUILLA, SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO. OCTUBRE, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



JURADO ASIGNADO:

Presidente:	Dr. Ramírez Reivich Alejandro C.
Secretario:	Dr. Dorador González Jesús Manuel
Vocal:	Dr. López Parra Marcelo
1 er. Suplente:	M. I. Zepeda Sánchez Antonio
2 do. Suplente:	M. I. García Del Gállego Mariano
Lugar donde se realizó la tesis:	Unidad de Alta Tecnología de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla.

TUTOR DE TESIS:

NOMBRE

Dr. Marcelo López Parra



AGRADECIMIENTOS

A mi familia. Comenzando por mis padres Ruperto y Alicia, quienes muestran con cada acción que tienen conmigo, su apoyo, atención, pero sobre todo su cariño e interés por forjar en mí una persona de bien, capaz de cumplir con sus objetivos y compromisos, pero, sobre todo, una persona capaz de ser feliz y realizada. Gracias por estar en la disposición de seguirme enseñando en cada etapa de mi vida. Espero corresponder a su enseñanzas y educación que me han dado.

A Mayra, por apoyarme en este proyecto de superación. Tu disposición y decisión fueron clave para realizar esto. Sinceramente fuiste la primera opinión a considerar previo a emprender esta etapa y a estas alturas, puedo ver que te mantienes firme en tu postura.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por impulsar la investigación, el desarrollo científico y tecnológico de México. Gracias por el apoyo económico otorgado a su servidor el cual fue vital para poder lograr este proyecto y meta profesional. Espero de lo aprendido, contribuir al progreso y bienestar de mi país.

A una gran persona, al Doctor Marcelo López Parra, quien además de ser mi tutor y asesor de Maestría, fue un guía para mis compañeros y para mí. Es un modelo y ejemplo, tanto en el ámbito profesional como personal.

A los Doctores Jorge Ferrer, Jesús Manuel Dorador, Alejandro Ramírez y al M. en I. Osiris Ricardo, por aportar sus conocimientos a mis compañeros y a mí.

Y a todos aquellos quienes creyeron en mí, gracias.



DEDICATORIA

Para Ximena

Este trabajo es para ti, porque eres mi inspiración y quiero que tengas siempre presente que, para superarse, no existen imposibles. Los obstáculos o barreras deberás convertirlas en retos. Cuando las circunstancias parezcan no ser las idóneas para empezar algo, posiblemente tendrás que comenzar con lo que tengas a la mano o este a tu favor, sea mucho o poco. El momento perfecto para empezar algo es cuando realmente se quiere hacerlo y la dedicación que pongas será el motor para alcanzar tus metas.



CONTENIDO

RESUMEN	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN	8
JUSTIFICACIÓN.....	9
OBJETIVOS.....	10
Objetivo General	10
Objetivos específicos.....	10
1 ACERCA DE FÓRMULA SAE	11
1.1 El concepto de Fórmula SAE.....	12
1.2 El sistema de competencia	13
1.2.1 Pruebas dinámicas.....	14
1.2.2 Pruebas estáticas.....	17
1.3 Características del vehículo	19
2 ACERCA DEL CHASIS TUBULAR	21
2.1 Generalidades del chasis	22
2.2 Tipos de chasis.....	22
2.2.1 Chasis de bastidor independiente	22
2.2.2 Chasis autoportante	26
2.2.3 Chasis tubular	27
2.3 Requerimientos establecidos para el chasis tubular.....	28
3 PROTOTIPO DE CHASIS A EMPLEAR	38
3.1 Planteamiento del prototipo.....	39
3.2 Modelado del prototipo	40
3.3 Análisis del modelo.....	42



3.3.1 Dimensiones, materiales y propiedades físicas.....	42
3.3.2 Análisis de deformaciones al someter a cargas.....	44
3.4 Proceso de fabricación	56
4 PLANTILLAS PARA FABRICACIÓN DEL CHASIS TUBULAR.....	58
4.1 Configuraciones geométricas de uniones de perfiles estructurales	59
4.2 Técnicas para el corte de perfiles circulares	63
4.2.1 Cortes diagonales	63
4.2.2 Cortes cóncavos y convexos.....	66
4.3 El proceso de corte de perfiles estructurales.....	70
4.3.1 Generación de las plantillas para corte a partir del modelo digital	71
4.4 El proceso de unión de perfiles estructurales.....	78
4.4.1 Generación de las plantillas para ensamble a partir del modelo digital	78
4.4.2 Acerca del uso de las plantillas.....	83
5 RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	84
5.1 Requerimientos cumplidos.....	85
5.2 Resultados obtenidos del modelado CAD	86
5.3 Relación de los resultados con el modelo CAD	87
5.4 Piezas, subensambles y ensambles generados a partir del modelo	88
5.5 Conclusiones.....	89
5.6 Futuros trabajos	91
ANEXOS (PLANOS GENERALES).....	92
REFERENCIAS	103



RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es el de presentar el diseño y desarrollo de plantillas que auxilian a los equipos de alumnos que participan en competencias de autos Fórmula SAE, cuando se enfrentan a la importante tarea de fabricar y unir por soldadura los chasis tubulares. Las estructuras desarrolladas deben de cumplir con los requerimientos de manufactura y funcionamiento establecidos por los organizadores de la competencia, asimismo, los chasis deben de ensamblarse sin errores dimensionales o distorsiones geométricas, con el fin de obtener la alineación correcta.

El chasis tubular consiste básicamente en tubos o perfiles estructurales circulares que se cortan considerando la longitud requerida y el punto de unión. El corte y la unión de los tubos es una tarea compleja debido a que los cortes se realizan a una infinidad de ángulos; normalmente en un nodo se interceptan dos o más perfiles y, además, la accesibilidad para producir un cordón de soldadura correcto es muchas veces complicada.

Este trabajo expone las características de las uniones del chasis tubular, recopila las variantes o formas de obtener dichas uniones y finalmente propone una metodología de fabricación dentro del proceso de diseño para las juntas soldadas del prototipo realizado. Esta metodología busca establecer un control de la información de los acabados requeridos, y facilitar la labor de fabricación del chasis, apoyándose de herramientas de ingeniería [1], siendo un paquete CAD el principal instrumento para dichos propósitos.



ABSTRACT

The main objective of this work is to present the design and development of templates that help teams of students participating in Formula SAE car competitions, when they face the important task of manufacturing and joining by welding the tubular chassis. The structures developed must meet the manufacturing and operating requirements established for the competition organizers, and the chassis must be assembled without dimensional errors or geometric distortions, in order to get the right alignment.

The tubular chassis basically consists of circular tubes or structural profiles that are cut according to the required length and the attachment point. Cutting and joining the tubes is a complex task because the cuts are made at a myriad of angles; usually two or more profiles are intercepted on a node, and accessibility to produce a correct weld bead is often complicated.

This work exposes the characteristics of the tubular chassis joints, collects the variants or ways to obtain such joints and finally proposes a manufacturing methodology within the design process for the welded joints of the prototype made. This methodology seeks to establish a control of the information of the required finishes, and facilitate the work of manufacturing the chassis, relying on engineering tools [1], being a CAD package the main instrument for these purposes.



INTRODUCCIÓN

Actualmente se han realizado diversas investigaciones y gran variedad de trabajos acerca del diseño de los bastidores tubulares para un vehículo tipo Fórmula SAE, siendo la mayoría a nivel Licenciatura o Pregrado en distintas ramas de la Ingeniería. Estos trabajos se centran en las tareas de diseño, optimización y análisis de resistencia a diferentes esfuerzos mecánicos. Algunos otros se han enfocado en los procesos de manufactura empleados, siendo la soldadura el tema mayormente abordado, y esto debido a que en los últimos años se han realizado investigaciones en el área de soldadura aplicada a estructuras de edificios y estructuras automotrices [18], con el fin de conocer el comportamiento de las uniones cuando se someten a diferentes cargas para así predecir su comportamiento.

Es a partir del problema de obtener correctas uniones soldadas que surge el interés por conocer acerca de los distintos métodos para obtenerlas físicamente. Se sabe de antemano que se realiza la labor de cortar tubos a una geometría específica y posteriormente fijarlos a otros mediante un proceso de unión permanente o con sujetadores. En el caso de emplear un método permanente, es mediante soldadura que se realiza esta labor.

Un chasis tubular puede tener diferentes cantidades de uniones soldadas dependiendo tanto del tipo de vehículo para el cual este destinado como también los requerimientos establecidos para la aplicación, siendo los de Fórmula SAE los empleados en este proyecto. Se ha seleccionado a Fórmula SAE debido al interés de la Unidad de Alta Tecnología en el desarrollo de proyectos de este tipo y al interés particular de obtener conocimientos especializados en los procesos de pailería empleados en este tipo de estructura automotriz. Asimismo, poder incorporar el uso y manejo avanzado de tecnologías CAD que apoyen a este conjunto de técnicas de manufactura.



JUSTIFICACIÓN

Fórmula SAE es un concepto de competencia automotriz a nivel universitario, en la cual se construye un vehículo de carreras, que se ha desarrollado previamente durante un tiempo determinado. La primera competencia se llevó a cabo en la universidad de Texas en el año 1981, con solo seis equipos y cuarenta estudiantes inscritos. Hoy en día recibe a más de cien equipos y alrededor de dos mil estudiantes de ingeniería y posgrado. Actualmente ha crecido el número de participantes de otras disciplinas, ya que se pone a prueba también los conocimientos adquiridos en áreas como la administración y mercadotecnia para poder crear el auto, llevándolo desde el diseño hasta su construcción.

En la competencia, los vehículos son sometidos a pruebas tanto estáticas como dinámicas. En las pruebas estáticas se evalúan aspectos de seguridad y diseño, siendo la estructura del chasis uno de los principales objetos a inspeccionar debido a que es la parte crítica que tiene como objetivo salvaguardar la integridad del piloto. Un correcto diseño se podría considerar a aquel que, en primera instancia, cumple con los requerimientos que exigen las pruebas, en segundo lugar, que optimice el uso de materiales con el fin de reducir peso, sin comprometer a la resistencia mecánica ni la rigidez necesaria o requerida, en un tercer nivel, a aquel diseño pensado en las labores de manufactura, con el fin de obtener un producto factible y rentable. El presente trabajo hace énfasis en las uniones, específicamente, en la geometría y parámetros que facilitan un correcto ensamble de los perfiles tubulares.



OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar y desarrollar plantillas para auxiliar en el proceso de fabricación de chasis tubulares para vehículos tipo Fórmula SAE, poniendo especial atención en los nodos que conforman a la estructura, con el fin de determinar sus características y la forma en la que se obtienen.

Objetivos específicos

- ✓ Investigar los requerimientos del chasis tubular para un vehículo tipo Fórmula SAE, así como las características y variantes que pudieran existir para un chasis de este tipo.
- ✓ Investigar acerca de los procesos de manufactura requeridos para la fabricación de la estructura y recopilarlos con el fin de evaluar sus características.
- ✓ Analizar las formas de los cortes requeridos a los perfiles tubulares para su ensamble, así como la fijación de estos durante el proceso de unión.
- ✓ Desarrollar el modelo digital de un prototipo de chasis, en el cual se considere una etapa para la obtención de información de fabricación, mediante el uso de un paquete de herramientas de ingeniería CAD.

1 ACERCA DE FÓRMULA SAE



1.1 El concepto de Fórmula SAE

En el año 1981, la SAE (Society of Automotive Engineering) realizó la primera edición de Fórmula SAE en los Estados Unidos. Esta es una competición en la que estudiantes desarrollan el diseño y proceso de fabricación de un automóvil monoplace, apoyados en trabajos de marketing, gestión de costos y logística siguiendo unos criterios establecidos. También en Europa se desarrolla una competición similar, Fórmula Student, la cual está organizada por la IMechE (Institution of Mechanical Engineers) y es una de las plataformas más importantes para el desarrollo de nuevos ingenieros mediante la competición, ya que reúne a los responsables de las principales empresas automovilísticas para descubrir nuevos talentos.

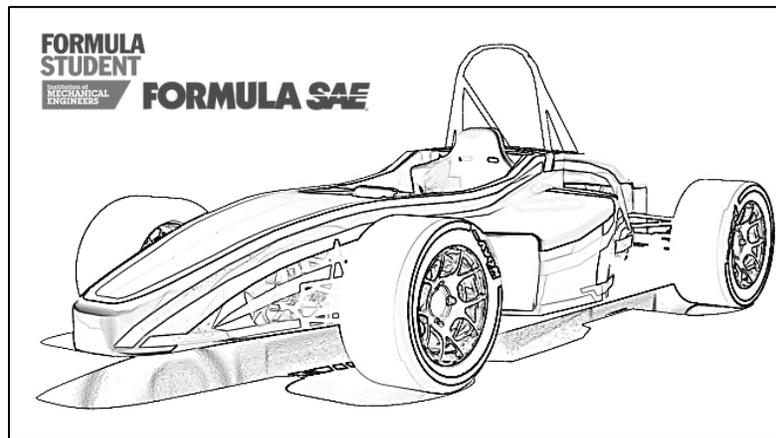


Figura 1.1 Boceto de vehículo tipo Fórmula [14], así como los logotipos de Formula Student y Fórmula SAE

El evento se realiza basado en la idea de que una empresa de fabricación de automóviles ha contratado a un equipo estudiantil de diseño para desarrollar un vehículo de carreras. El vehículo deberá ser del tipo Fórmula y será evaluado por su potencial como un elemento de producción. Es así como cada uno de los equipos que participan se dan a la tarea de **diseñar, construir y probar** un prototipo basado en una serie de reglas, cuyo propósito es garantizar la seguridad en la pista y promover una solución inteligente de problemas. Es una competición automovilística, pero no en su concepto habitual; pese a competir con automóviles tipo fórmula, lo que se premia es el trabajo de ingeniería que hay detrás de todo proceso de diseño, creación, puesta a punto y evolución de un coche de carreras. La F-SAE tiene relativamente pocas restricciones de rendimiento. El equipo debe estar formado completamente por

estudiantes universitarios activos (incluidos los conductores) tanto de nivel licenciatura como de posgrado que se enfrentan a problemáticas en cuestión de restricciones evidentes, como son las horas de trabajo, habilidades y experiencia disponibles, y presenta desafíos únicos que los equipos de carreras profesionales no enfrentan con un personal pagado y calificado.



Figura 1.2 Escudería de UNAM Motorsports México

Los estudiantes pueden recibir consejos y críticas de ingenieros, profesores o profesionales del ramo automotriz, pero todo el diseño del automóvil debe ser realizado por los propios estudiantes quienes también son los únicos responsables de la recaudación de fondos, aunque los equipos más exitosos se basan en programas curriculares y tienen presupuestos patrocinados por su universidad. Además, el sistema de puntos está organizado de modo que múltiples estrategias pueden llevar al cumplimiento de los objetivos.

1.2 El sistema de competencia

Durante el evento de competición, los equipos son juzgados por especialistas del sector automotriz, debiendo superar diversas pruebas estáticas y dinámicas que demuestren el correcto funcionamiento del vehículo diseñado, las cuales, forman parte de un programa de puntuación establecido por F-SAE que en la mayoría de los eventos se pondera de la siguiente forma:



Tipo de prueba	Evento	Puntuación
Pruebas Estáticas	<i>Diseño</i>	200
	<i>Análisis de costos y fabricación</i>	100
	<i>Presentación (Promoción)</i>	75
Pruebas Dinámicas	<i>Aceleración</i>	100
	<i>Skidpad (Circuito en 8)</i>	75
	<i>Autocross (prueba de pista)</i>	125
	<i>Ahorro de combustible</i>	100
	<i>Resistencia</i>	225
	Total	1000

Tabla 1.1 Programación de los eventos de la competencia de Fórmula SAE 2017-18 [15] y su ponderación. Es importante señalar la importancia de la evaluación de las pruebas de diseño y resistencia

1.2.1 Pruebas dinámicas

Esta serie de pruebas tiene como objetivo valorar el comportamiento del monoplaza. Participan directamente los miembros de la escudería encargados de asistir mecánicamente al vehículo y al piloto. Al comienzo de la competencia, se verifica que el vehículo cumpla con las reglas establecidas en las pruebas durante la inspección técnica. Su capacidad de frenado, estabilidad de giro y niveles de ruido se

verifican antes de que el vehículo pueda competir en los eventos dinámicos (*Skydpad, autocross, aceleración y resistencia*):

- **Aceleración:** La prueba consiste en recorrer una distancia de 75.0 m en el menor tiempo posible y en un máximo de 5.8 s. Dos intentos con dos conductores distintos. Derribar dos conos de los empleados para delimitar la pista de aceleración significa la exclusión de esta prueba.



Figura 1.3 ETSEIB Motorsports. Escudería de la Universidad Politécnica de Cataluña en la prueba de aceleración de la Formula Student celebrada en el circuito checo de Most [5]

- **Skidpad (circuito en 8):** Consiste en recorrer en el menor tiempo posible un circuito en forma de 8, el cual se compone por dos circunferencias de 15.25 m de diámetro con centros separados a una distancia de 18.25 m. El carril del vehículo tiene un ancho de 3.0 m externos a las circunferencias. El coche deberá dar dos vueltas a una de las circunferencias en sentido horario y otras dos a la otra en sentido antihorario, pasando de una circunferencia a la otra describiendo un 8. La penalización por cono derribado en esta prueba significa la suma de 0.25 s al tiempo realizado.

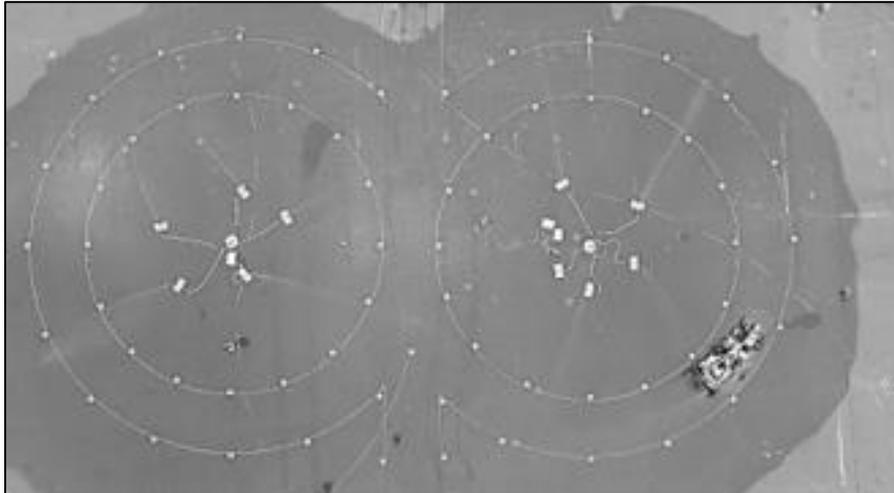


Figura 1.4 Circuito para prueba Skidpad [16]

- **Autocross (prueba de pista):** Esta prueba se desarrolla en un circuito caracterizado por tener una recta de 60.0 m y otra de 45.0 m, una curva radial constante de 23.0m de diámetro y otra de 45.0 m, horquillas con un mínimo de 9.0 m de diámetro exterior, conos separados entre 7.62 m y 12.19 m, distintos giros y curvas de radio variable. La distancia total del circuito es aproximadamente de 800.0 m y el piloto debe de dar un número determinado de vueltas. En esta prueba se sumarían 2 s por cono derribado al tiempo realizado.



Figura 1.5 Prueba de Autocross de Fórmula SAE Italia en el "Autodromo Riccardo Paletti" en Varano de'Melegari [10]

- **Resistencia y economía del combustible:** esta prueba consta de 22 vueltas a un circuito formado por una recta de 77.0 m y otra de 61.0 m, una curva de radio constante de 30.0 m de diámetro y otra de 54.0 m, horquillas con un mínimo de 9.0 m de diámetro exterior, slalom con conos separados entre 9.0 y 15.0 m respectivamente, chicanes, distintos giros y curvas de radio variable. Entre otros se evalúa el menos consumo. Se sumarían 2.0 s por cono derribado al tiempo realizado y 20.0 s por slalom no realizado correctamente.

1.2.2 Pruebas estáticas

Es con este tipo de pruebas como F-SAE abarca todos los aspectos de una empresa e incluye la investigación, el diseño, la fabricación, las pruebas, el desarrollo, el marketing, la gestión y la recaudación de fondos, en un evento deportivo de automoción que permite a los estudiantes desarrollarse mediante la práctica y las experiencias. Esto aunado a la posibilidad de interactuar con el sector industrial que constantemente se da cita a través de varias empresas que buscan apoyar al talento y aprovechar las aportaciones que las escuderías puedan dar al sector automotriz. Las pruebas estáticas son las siguientes:

- **Verificaciones técnicas:** comprobar que el coche cumple las condiciones de seguridad necesarias, prueba de inclinación, seguridad del piloto, adecuación a las reglas.



Figura 1.6 Realización de las pruebas de seguridad. Escudería Grupo USB Venezuela, U. Simón Bolívar [6]

- **Prueba de diseño:** en una primera fase consiste en defender el vehículo ante 4 jueces. La semifinal, a la que sólo acceden 14 vehículos, consiste en 4 horas de defensa del vehículo ante 30 jueces.



Figura 1.7 Prototipo de Diseño de un Vehículo FSAE

- **Presentación de marketing (promoción):** consiste en una exposición de 15 minutos ante un jurado compuesto por profesionales de marketing en la que hay que “promocionar” el coche, resaltando los atributos de diseño que agregan valor al producto en su conjunto.



Figura 1.8 Presentación de la estrategia de mercado para la escudería UCI Racing [9]

- **Análisis de costos:** consiste en discutir ante dos jueces un informe, preparado previamente, sobre el costo de piezas y ensamblaje del vehículo. En esta prueba se evalúa el costo total y la habilidad del equipo para preparar el informe.

Es así como Fórmula SAE evalúa cada uno de los equipos que participan en las competencias organizadas. Cabe mencionar que el documento de reglas indica cada uno de los parámetros y métricas que se deben considerar para aspirar a la obtención de los puntajes establecidos en cada prueba.

1.3 Características del vehículo

En los autos tipo fórmula, las características del chasis son muy importantes, pues en este tipo de monoplaza destinado a competición, el peso debe ser mínimo para aprovechar al máximo la potencia del motor y por eso muchos elementos que forman parte del vehículo convencional no se incorporan. Al final, el aporte principal de peso a este tipo de coches lo ejercen el piloto, el motor y el chasis. De aquí se deduce que un chasis ligero puede ser un factor importante de cara al éxito en la competición.

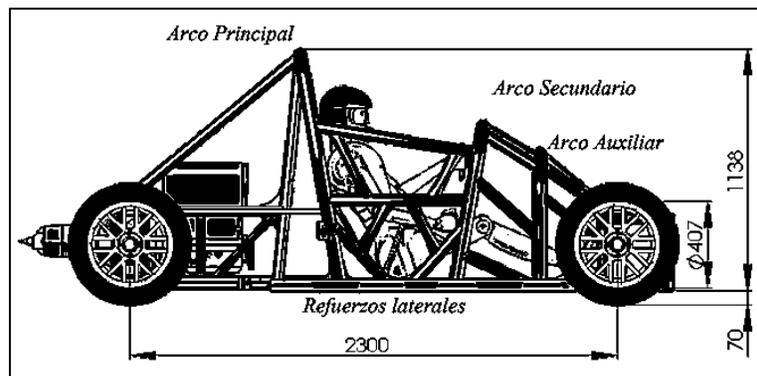


Figura 1.9 Esquema de un chasis tubular considerando el espacio para el motor y la cabina del piloto

La rigidez es muy importante de cara a la conducción del vehículo. Un chasis rígido, además de aportar seguridad al piloto permite que la dirección funcione tal y como fue diseñada. La altura del centro de gravedad también es relevante para la estabilidad del vehículo. Durante la competición el chasis está



sometido a aceleraciones laterales, por lo que un centro de gravedad bajo garantiza un mejor desempeño durante la conducción, además de disminuir la posibilidad de vuelco.

No hay restricción de peso. El peso promedio de un automóvil competitivo de Fórmula SAE suele ser inferior a 440 lb (200 kg). Esto ha marcado una tendencia en la reducción del tamaño del motor en un intento de ahorrar peso y aumentar la economía de combustible [15].

En cuestión de seguridad, los automóviles deben tener dos arcos rolados hechos de acero con un espesor y aleación designados por las reglas, independientemente de la composición del resto del chasis. Debe haber un atenuador de impacto en la parte frontal del chasis, y los datos de las pruebas de impacto en este atenuador deben enviarse antes de competir. Los automóviles también deben tener dos circuitos de frenos hidráulicos, arneses completos para carreras de cinco puntos y deben cumplir con las plantillas geométricas para la ubicación del conductor en la cabina de todos los conductores que compiten. Las pruebas de inclinación aseguran que el centro de gravedad sea lo suficientemente bajo para que no se vuelque el vehículo a altas velocidades en las curvas, y, además, no se derramen fluidos del mismo [15].

2 ACERCA DEL CHASIS TUBULAR



2.1 Generalidades del chasis

El **chasis** es una parte fundamental del automóvil ya que brinda soporte a todos los componentes del vehículo, recibe cargas y esfuerzos mientras se conduce la unidad. Es el elemento estructural encargado de soportar los esfuerzos estáticos y dinámicos. Para diseñarlo se debe tener en cuenta el peso, rigidez torsional, resistencia mecánica, resistencia al impacto y la simplicidad de diseño (número de componentes). El chasis no se debe confundir con la *carrocería* ya que tienen diferentes funciones.

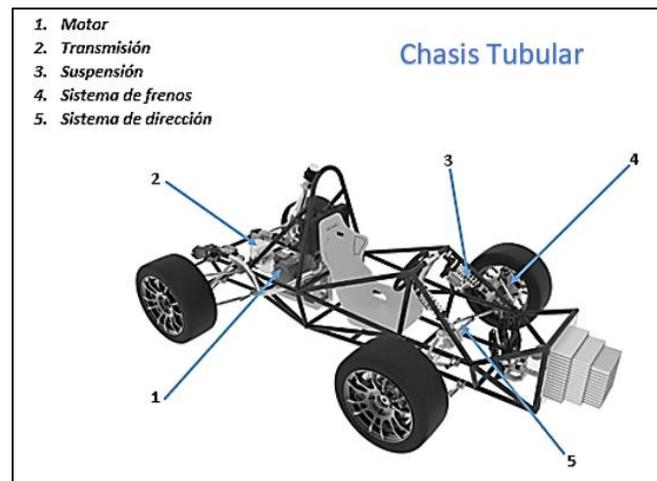


Figura 2.1 Montaje de los elementos principales del vehículo Fórmula SAE: Motor, transmisión, suspensión, sistema de frenos y sistema de dirección

2.2 Tipos de chasis

2.2.1 Chasis de bastidor independiente

Los primeros diseños de bastidores se basaban en el conjunto formado por dos largueros longitudinales laterales, fabricados de chapa laminada con perfil cajado o en "C", enlazados entre sí mediante travesaños, constituyendo una base sobre la que se montan los órganos mecánicos y la carrocería del vehículo. Este tipo de bastidor presenta una gran rigidez, por lo que hoy en día todavía son ampliamente utilizados en camiones de carga y en vehículos todo terreno. En la actualidad son menos habituales. Sin embargo, en determinados modelos, todavía son visibles.

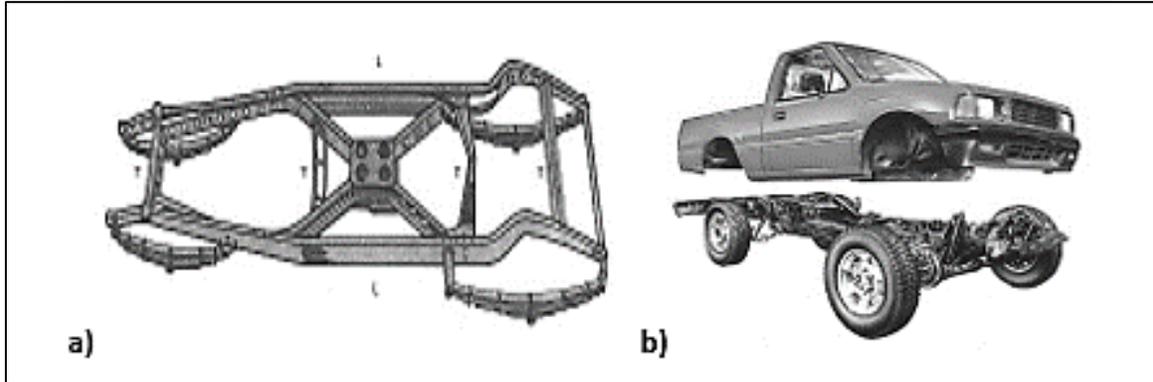


Figura 2.2 a) Geometría del chasis independiente. b) Ejemplo de vehículo utilitario con este tipo de chasis

Los bastidores independientes se pueden clasificar de la siguiente forma:

- **Bastidor de perfil estampado:** está formado por dos largueros o vigas unidos entre sí por varios travesaños, piezas todas ellas construidas de acero estampado, generalmente con secciones en U, tubular o rectangular, y diversas formas de armado, las cuales pueden ser en forma de recta, curvas o en X. Los largueros generalmente suelen ir curvados hacia arriba en sus extremos anterior y posterior, con el fin de permitir un mayor espacio para el montaje y funcionamiento de los mecanismos de suspensión y transmisión de potencia del vehículo. Este tipo de bastidor es propio de los vehículos todo terreno y del tipo pesado. También es llamado bastidor perimétrico o de tipo perimetral. Se utiliza en ciertos modelos de automóviles y en algunas camionetas. En este tipo de bastidor, los largueros soportan la carrocería del vehículo en su parte más ancha, ofreciendo así una mayor protección en caso de impacto lateral. Presentan una configuración escalonada detrás y delante de las ruedas delanteras y traseras, respectivamente. Con esta configuración, el bastidor permite formar una estructura de caja de torsión, que en caso de impacto frontal permite absorber gran parte de la energía generada durante la colisión. Además, con este tipo de bastidor, que es un poco más ancho, se consigue dotar al vehículo de una mayor estabilidad. La sección central de este tipo de bastidor cuando se usa en automóviles y camionetas ligeras está deprimida, a fin de conseguir un centro de gravedad más bajo y una menor altura total del vehículo, con lo que se consigue también una mayor estabilidad. Por otro

lado, los largueros suelen presentar una curvatura hacia arriba a fin de ofrecer mayor espacio para las suspensiones.

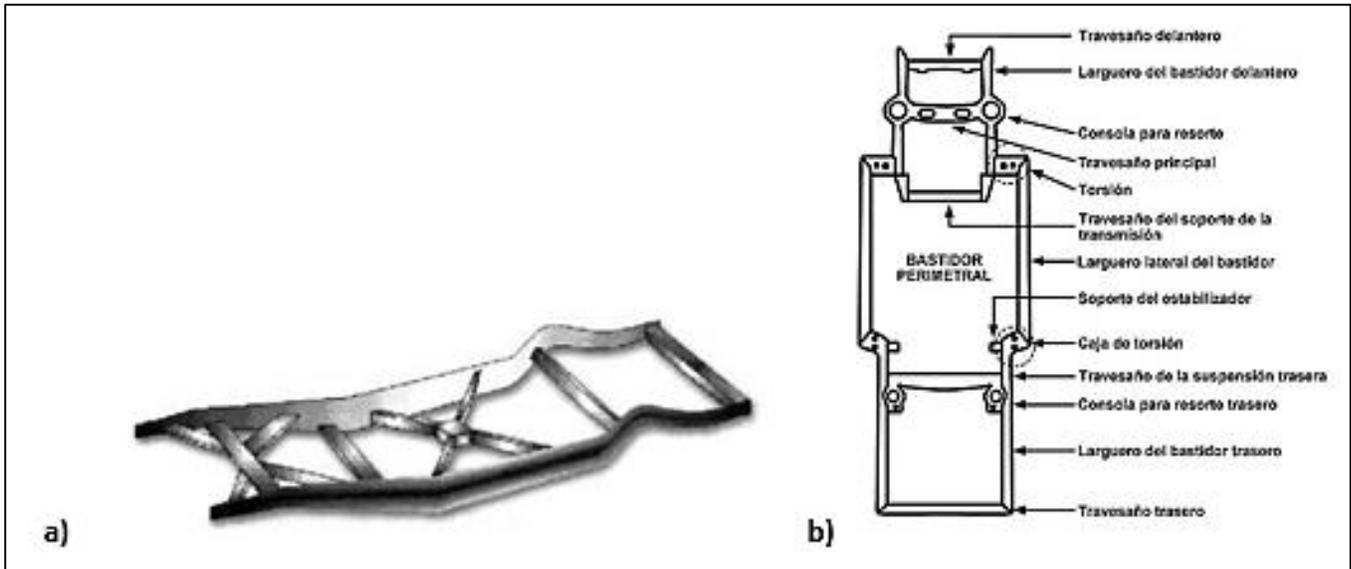


Figura 2.3 a) Chasis con bastidor de perfil estampado con travesaños en forma de X. b) Bastidor de perfil estampado perimetral

- **Bastidor en columna:** Recibe su nombre por la geometría que presenta. En ocasiones la columna tiene forma de X, como se puede ver en la figura 2.4a. Este tipo de bastidor se estrecha por el centro, proporcionando al vehículo una estructura más rígida, que está diseñada para contrarrestar los puntos de torsión elevada. El travesaño delantero en este tipo de bastidor suele ser muy robusto, con objeto de poder servir para la fijación a los anclajes de las suspensiones delanteras y elementos del motor.

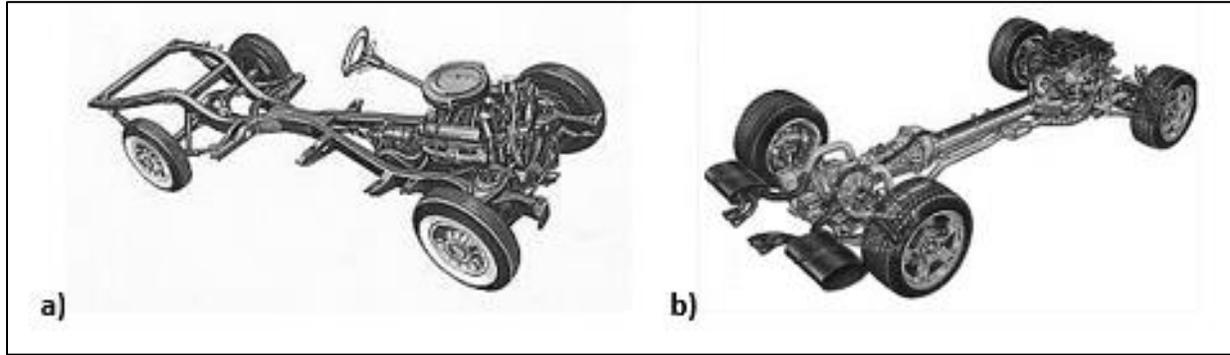


Figura 2.4 a) Ejemplo de bastidor columna vertebral en X. b) Bastidor tipo Columna Recta

- **bastidor tipo plataforma:** Formado por una sola pieza con el armazón metálico de la carrocería, dando como resultado una verdadera viga armada a lo ancho y alto de la estructura vehicular. En algunos casos para aumentar su rigidez y fortaleza los fabricantes aplican refuerzos a manera de venas o nervaduras.

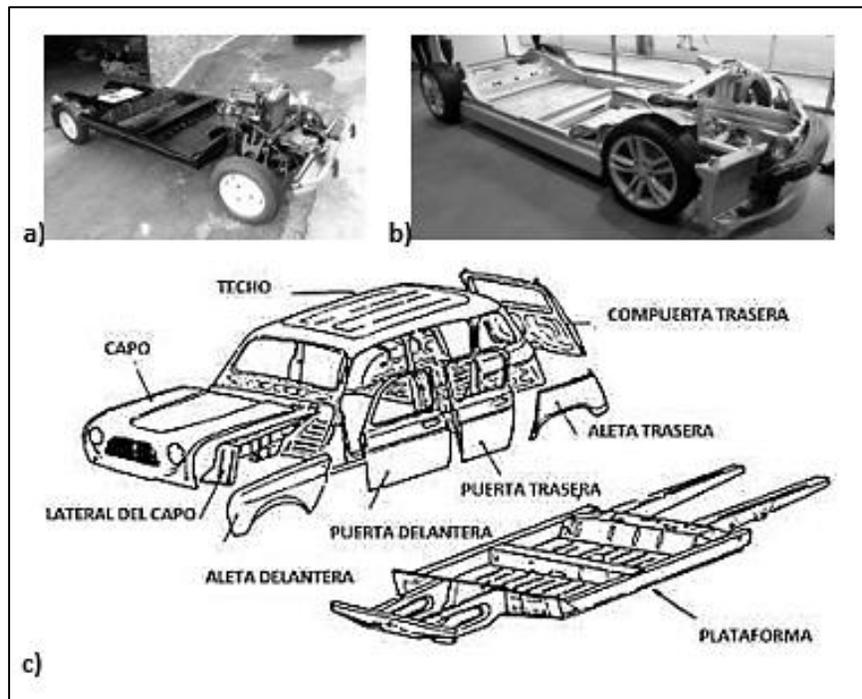


Figura 2.5 a) Bastidor de plataforma de Renault. b) Bastidor de plataforma de Tesla. c) Ensamble de Carrocería con bastidor de plataforma

Generalmente se le construye en chapa de acero, y su utilización práctica se da en automóviles y vehículos pequeños. También se considera como una estructura intermedia entre la carrocería autoportante y la instalada sobre un chasis. Se elabora como un chasis independiente y posteriormente se sujeta el resto de la carrocería a él. Esta estructura se ideó para que los vehículos se pudieran utilizar tanto en terrenos complicados como en carretera. La plataforma es de un grosor mayor a la carrocería. La carrocería consiste en un conjunto de planchas que se atornillaban a la plataforma (rara vez se unían mediante soldadura). esta unión aportaba una gran rigidez, haciendo que el vehículo soportase mejor los golpes de la suspensión. Uno de los primeros vehículos en poseer esta estructura fue el Renault 4.

2.2.2 Chasis autoportante

En la actualidad es el más empleado en vehículos de gama comercial. También es conocido como chasis monocasco, aunque analizando los términos y características, el monocasco se podría considerar como un tipo de chasis autoportante solamente. Existen otras estructuras que igual se pueden clasificar como autoportantes. Este tipo de chasis incorpora el bastidor a la carrocería en una sola estructura, por lo que también es empleado el término “Carrocería autoportante” dado que el conjunto chasis-carrocería son una sola pieza. Otro término que se emplea para estos vehículos es el de “chasis integrado” por las mismas razones de unión. Su configuración consiste en integrar el habitáculo de los pasajeros y el de los componentes de la mecánica que dan soporte al motor, además de la estructura básica.

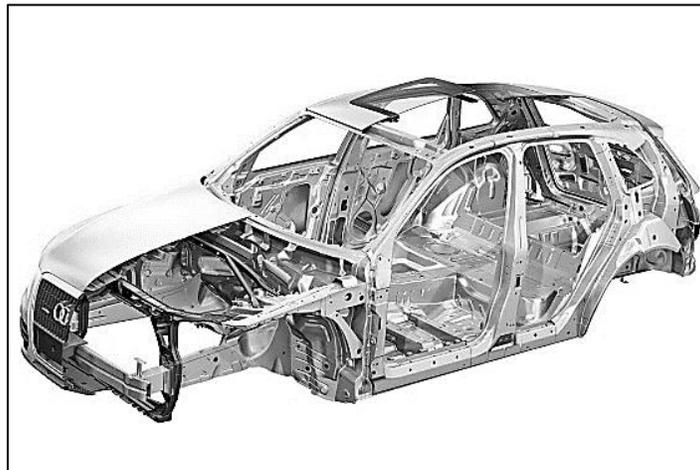


Figura 2.6 Chasis monocasco de vehículo tipo SUV



El sistema de chasis autoportante es la opción más empleada actualmente en la fabricación de automóviles, sobre todo en vehículos ligeros y turismos, debido a que supone una reducción importante en el peso del vehículo, le dota de mayor flexibilidad y es más económica su producción en serie. Como su propio nombre indica, es un tipo de carrocería con la función de ser resistente por sí misma, es decir, no necesita de estructuras auxiliares para dotar de más resistencia al vehículo. Con ello se consigue reducir el peso del conjunto, lo que supone un ahorro en combustible en la marcha del vehículo. En el caso de las carrocerías autoportantes, toda la estructura que conforma la carrocería constituye en sí misma parte del bastidor del vehículo. Los chasis autoportantes parten del concepto de conformar una estructura metálica envolvente constituida por la unión de elementos de chapa o estructurales de diferentes formas y espesores, de manera que se consigue formar una caja resistente que se soporta a sí misma y a los elementos mecánicos que se fijan sobre ella.

2.2.3 Chasis tubular

Es una estructura hecha a partir de elementos o barras tubulares que pueden tener secciones circulares, ovaladas o cuadradas. Este tipo de bastidor nace de la necesidad de obtener estructuras más ligeras y esbeltas. Son estructuras de tipo celosía principalmente, dando lugar a un conjunto muy rígido y ligero. A este entramado se anclan, directamente el resto de los elementos del automóvil. El elevado costo para la fabricación de este tipo de bastidor hace que su uso se limite a pequeños vehículos de competición o algunos prototipos de automóviles que por alguna circunstancia requieran una gran reducción de peso. Para autos de competición, se requiere de una estructura muy estable cuyo principal objetivo es proteger la integridad física del piloto y evitar que la carrocería se deforme en caso de un accidente o colisión, siendo el chasis tubular una opción adecuada. La desventaja de este chasis está en sus altos costos de fabricación, pero tiene la ventaja de ser mucho más rígido que otros tipos de bastidores. Debido a la complejidad de su diseño y manufactura, no es rentable para la producción en serie. Los autos deportivos de alta gama utilizan este tipo de bastidor, el cual se puede ver en marcas como Lamborghini, Ferrari y Jaguar, además de algunas otras compañías y modelos como por ejemplo TVR Manufacturing Limited, el Ariel Atom fabricado por la compañía Ariel Motor Company, el Renault Twizy y el Acura NSX.

2.3 Requerimientos establecidos para el chasis tubular

En esta sección se muestran las reglas que establecen las características y métricas que debe cumplir el chasis. A grandes rasgos son aspectos de material, geometría y dimensiones de cada una de las partes que deben conformarlo. El apartado T (part t - general technical requirements) [15] del documento 2017-18 Formula SAE® Rules contiene los requerimientos técnicos generales del vehículo y del chasis.

Regla	Condición o aspecto que aborda	Esquema
T3.3	Definiciones	<p style="text-align: center;">Estructura básica del chasis</p>
T3.4.1	Requisitos de material	
T3.10.3	Requisitos generales para el arco frontal y principal	
T3.11	Acerca del arco principal	
T3.12	Acerca del arco frontal	
T3.13	Acerca de los soportes del arco principal	
T3.14	Acerca de los soportes del arco frontal	
T3.18	Acerca del tabique frontal	
T3.19	Acerca de los soportes del tabique frontal	
T3.24	Acerca de la zona de impacto lateral	
T4.1	Apertura de la cabina	

Tabla 2.1 Reglas del apartado T referentes al chasis tubular [15]

La siguiente tabla muestra las definiciones que se abordan en la regla T3.3 de las partes que conforman al chasis.



Número	Concepto (inglés)	Significado (en español)
1	Main Hoop	Arco principal
2	Front Hoop	Arco frontal
3	Roll Hoops	Arcos rolados
4	Frame Member	Miembro del chasis
5	Frame	Chasis
6	Primary structure	Estructura primaria
7	Major Structure	Estructura principal
8	Front Bulkhead	Tabique frontal
9	Impact Attenuator	Atenuador de impacto
10	Side Impact Zone	Zona de impacto lateral
11	Node-to-node triangulation	Triangulación de nodo a nodo
12	Cockpit	Cabina

Tabla 2.2 Definiciones de la regla T3.3 [15]

De acuerdo con las definiciones del reglamento y la traducción realizada por Redondo [12]:

- El **arco principal** es un elemento tubular situado a los lados o justo detrás del torso del conductor.
- El **arco frontal** es un elemento tubular situado sobre las piernas del piloto y próximo al volante.
- El arco frontal y el arco principal se clasifican como **arcos rolados**.
- Un **miembro del chasis** es una mínima pieza representativa sin cortes, de tubo continuo.
- La **estructura primaria** se compone del arco principal, arco frontal, tirantes y soportes, estructura de impacto lateral, tabique frontal (plano frontal), sistema de soportes del tabique frontal y miembros del chasis, guías y soportes que transfieren carga desde la suspensión hasta los anteriores elementos ya nombrados.
- La **estructura principal** involucra todas las partes del chasis que se conectan con la estructura primaria.
- El **tabique frontal (plano frontal)** es una estructura plana que define el plano más adelantado de la estructura principal y cuya razón de ser es la protección de los pies del piloto.
- El **atenuador de impacto** es un elemento concebido para deformarse y absorber energía en caso de impacto frontal posicionado delante del tabique frontal. La **zona de impacto lateral** es el área

lateral del vehículo que se extiende desde el suelo hasta 350 mm de altura en el eje Z y desde el arco frontal hasta el arco principal en el eje X.

- Finalmente, la **triangulación de nodo a nodo** se refiere a un conjunto de miembros del chasis, proyectados en un plano donde una fuerza coplanar aplicada en cualquier dirección, en cualquier nodo, solo provoca esfuerzos de tensión y compresión en dichos miembros. A esto se le denomina también como estar “debidamente triangulados” tal y como se muestra en la figura 2.18.

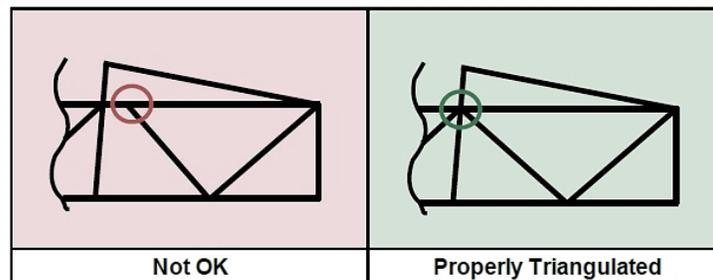


Figura 2.7 Triangulación nodo a nodo. A la izquierda se muestra la triangulación invalida, a la derecha la triangulación correcta [15]

Existen diferencias entre la estructura primaria y la estructura principal. La estructura principal incluye el arco de refuerzo y los respectivos cierres de arco (para los arcos frontal, principal y de refuerzo). La figura 2.8 ilustra esta configuración.

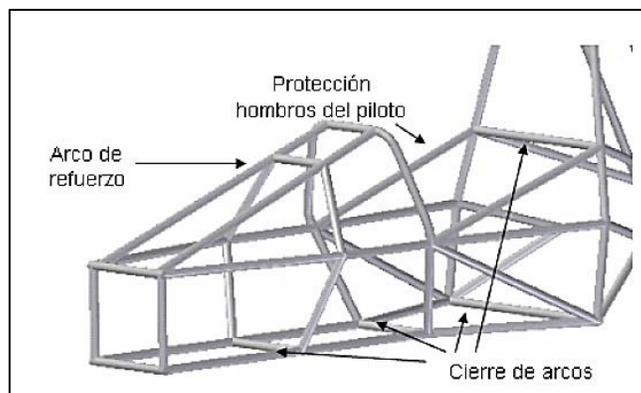


Figura 2.8 Estructura principal [2]

En lo que respecta a la zona de impacto lateral, la figura 2.9 muestra la configuración estándar [2] de esta.

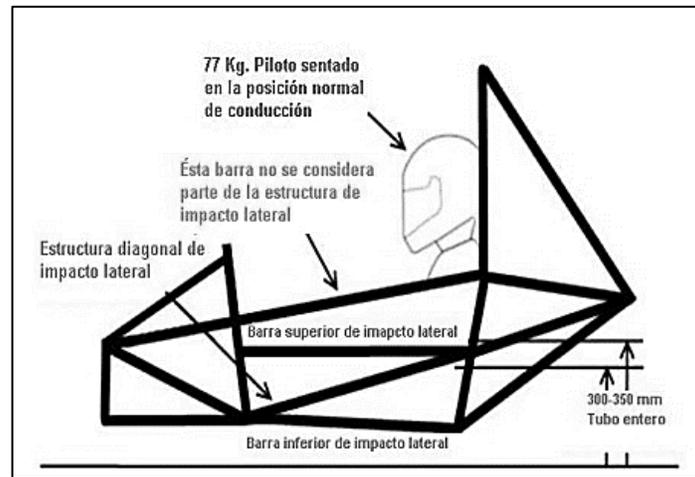


Figura 2.9 Configuración de la zona de impacto lateral de acuerdo con la definición de la regla T3.3 [11]

Con la triangulación adecuada está permitido fabricar estos elementos de más de una pieza. Como alternativa a esta configuración tubular, la normativa contempla la posibilidad de sustituir partes tubulares por partes hechas de paneles de material compuesto. Para ello habrá que demostrar que dicho panel tiene al menos la misma rigidez a flexión (el producto $E \cdot I$) que la estructura formada por tubos [13].

Lo siguiente es conocer los requerimientos mínimos del material que se deben cumplir de acuerdo con la regla T3.4.1. Una consideración que hace Calvo Rodríguez [2] es que para las partes a las que no se especifiquen las características mínimas del material con las que se harán, se podrá emplear el material de sección y espesor más bajos con los que se cuente, en su caso, esto lo realizó utilizando en un principio sólo tres medidas de tubos diferentes.

Las características del material, establecidas por F-SAE son las siguientes:

- *Tubería de acero (miembro estructural circular, perfil circular).*
- *porcentaje de carbono mínimo del 0.1%.*

La estructura primaria debe fabricarse del material especificado, el cual debe ser de las dimensiones que se muestran en la siguiente tabla:

Parte o aplicación	Diámetro exterior y espesor	
Arco principal y frontal, Barra p/montaje del arnés de hombro	25.4mm x 2.4mm (1" x 0.095") o 25.0mm x 2.50mm	
Estructura para impacto lateral, tabique frontal, tirantes para arcos rolados, Accesorio del arnés de sujeción del conductor (excepto como se indica arriba) EV: estructura de protección del acumulador	25.4mm x 1.65mm (1x0.065") 25.0mm x 1.75mm 25.4mm x 1.60mm PTR 1.00"x1.00"x0.047" PTR 25.0mm x 25.0mm x 1.20mm	
Soporte del plano frontal, Soportes de refuerzo del arco principal EV: Protección de componentes del sistema de tracción	25.4mm x 1.20mm (1"x0.047") 25.0mm x 1.5mm 26.0mm x 1.2mm	
Miembro de impacto lateral superior doblado (alternativa de la regla T3.24.3a)	35.0mm x 1.2mm (1.375"x0.047")	

Tabla 2.3 Dimensiones permisibles de material [15]

La siguiente regla es la T3.10.3 que establece los requisitos generales que deben cumplir el arco frontal y principal de acuerdo con la posición del piloto dentro de la cabina del vehículo. Pons [8] sintetiza estos requerimientos en la figura 2.10 que muestra los aspectos geométricos que se deben cumplir.

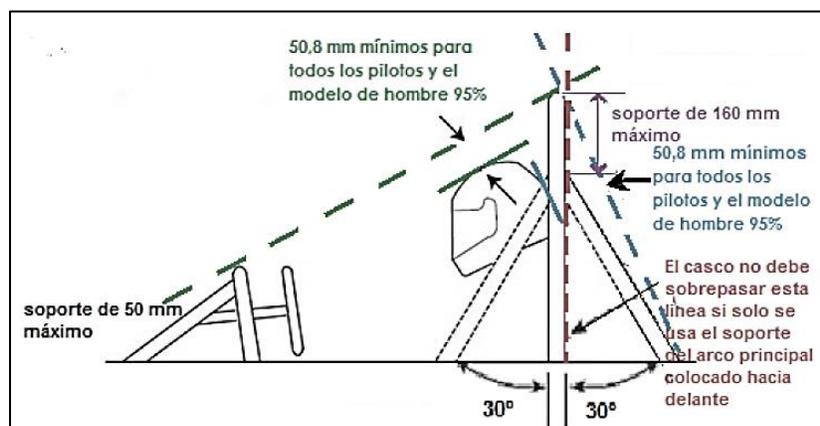


Figura 2.10 Requisitos que deben cumplir en conjunto los arcos principal y frontal [8]

La plantilla que indica la postura que debe tener el piloto es la siguiente:

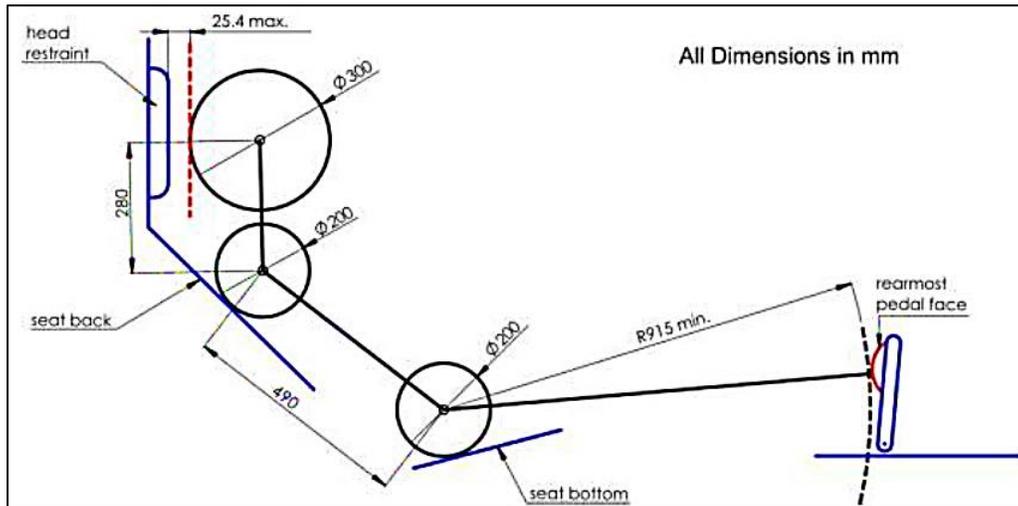


Figura 2.11 Plantilla masculina percentil 95 [15]

Los requerimientos establecidos por el resto de las reglas se han sintetizado con la finalidad de poder visualizarlos de manera más clara. La tabla 2.4 indica los aspectos a considerar para la regla T3.11 y T3.12.

Regla	Aspectos	Requerimiento
T3.11 Acerca del arco principal	1	Cumplir con la regla T3.4.1 (requisitos de material).
	2	Ser simétrico y rolado (Iniciar y terminar en los puntos más bajos de la zona lateral).
	3	La parte del arco principal que se une con la estructura principal desde el miembro superior de la estructura de impacto lateral hacia el miembro inferior debe formar un ángulo no mayor a 10°.
	4	La parte del arco principal que se une por debajo del miembro superior de la zona de impacto lateral puede estar inclinada con cualquier ángulo respecto de la vertical hacia adelante pero solo puede hacerlo hacia atrás formando un ángulo máximo de 10°.
T3.12 Acerca del arco frontal	1	Cumplir con la regla T3.4.1 (requisitos de material).
	2	Ser simétrico y rolado (Iniciar y terminar en los puntos más bajos de la zona lateral).
	3	Se puede hacer de más de una pieza si se triangula correctamente. (Opcional).
	4	La superficie superior no debe quedar por debajo de la posición más elevada del volante
	5	No debe de superar la distancia de 250 mm delante del volante.
	6	En la vista lateral, ninguna parte del arco puede estar inclinada más de 20° con la vertical

Tabla 2.4 Requerimientos de las reglas T3.11 y T3.12 [15]



De acuerdo con Pons [8], también se podrán utilizar otros materiales para fabricar estas partes y, por tanto, otros espesores mínimos, siempre que cumpla las siguientes condiciones:

- ✓ La disposición de materiales alternativos debe tener un $E \cdot I$ mayor o igual sobre el eje más débil.
- ✓ Los tubos de aluminio deben estar tratados térmicamente y endurecidos tras la soldadura. El equipo deberá presentar un informe del proceso.
- ✓ Los materiales composite no están permitidos para el arco principal y frontal. El equipo deberá presentar un informe del tipo de material.

La tabla 2.5, lista los requerimientos de las reglas de diseño para los soportes de los arcos anteriormente mencionados.

Regla	Aspectos	Requerimiento
T3.13 Soportes del arco principal	1	Cumplir con la regla T3.4.1 (requisitos de material).
	2	estar soportado por dos barras que se extienden hacia atrás o hacia delante en ambos lados del arco.
	3	El arco principal y sus soportes no estarán inclinados hacia el mismo lado con respecto a la vertical
	4	Deben estar unidos tan cerca como sea posible a la parte más alta del arco principal, pero no más de 160mm por debajo de su superficie superior.
	5	Deben ser de elementos rectos sin curvas.
	6	El extremo inferior debe estar unido al arco principal por al menos dos miembros en cada lado del vehículo, uno superior y otro inferior debidamente triangulados
	7	El miembro superior debe unirse al nodo donde el miembro inferior de la zona de impacto lateral conecta con el arco principal.
	8	El miembro inferior debe unirse al nodo donde el miembro inferior de la zona de impacto lateral conecta con el arco principal.
T3.14 Soportes del arco frontal	1	Cumplir con la regla T3.4.1 (requisitos de material).
	2	El arco frontal debe estar soportado por dos barras que se extienden hacia adelante en ambos lados de este.
	3	Los soportes deben estar contruidos de tal forma que protejan las piernas del conductor y deben conectar con la estructura que se encuentra delante de los pies de este.
	4	Estos soportes deben de estar conectados tan cerca como sea posible.

Tabla 2.5 Requerimientos de las reglas T3.13 y T3.14 [15]



Los siguientes requerimientos son para el diseño del plano frontal y los soportes que debe tener. Al igual que en las reglas anteriores. La tabla 2.6 lista dichos aspectos establecidos en las reglas correspondientes.

Regla	Aspectos	Requerimiento
T3.18 Acerca del plano frontal	1	Cumplir con la regla T3.4.1 (requisitos de material).
	2	Se puede hacer de más de una pieza si se triangula correctamente. (Opcional).
	3	Debe estar situado por delante de todos los elementos que no deben romperse.
T3.19 Soportes del tabique frontal	1	Cumplir con la regla T3.4.1 (requisitos de material).
	2	El tabique frontal debe estar integrado de forma segura en el chasis.
	3	El miembro superior debe estar unido a menos de 50mm de la superficie superior del tabique frontal y estar unido al arco frontal en una zona no más alta de 100mm y no más baja de 50mm del miembro superior de la zona de impacto lateral.
	4	Si se encontrase a más de 100mm por encima del miembro superior, se necesitaría la triangulación apropiada para transferir la carga entre dicho miembro y el arco frontal.
	5	El miembro inferior debe estar unido a la base del tabique frontal y a la base del arco frontal.
	6	El elemento diagonal debe estar debidamente triangulado con los miembros superiores e inferiores.

Tabla 2.6 Requerimientos de las reglas T3.18 y T3.19 [15]

La tabla 2.7 muestra los requerimientos que debe cumplir la zona de impacto lateral establecidos de acuerdo con la regla **T3.24**.

Regla	Aspectos	Requerimiento
T3.24 Zona de impacto lateral	1	El miembro superior debe conectar el arco principal y el arco frontal.
	2	Con un piloto que pese 77Kg sentado en la posición normal de conducción todos los miembros deben estar en una altura entre 300 y 350mm por encima del suelo.
	3	El miembro inferior debe conectar la parte inferior del arco principal y la del arco frontal. El miembro inferior del lateral del chasis puede ser este elemento si cumple los requisitos de diámetro y espesor.
	4	El elemento diagonal debe conectar los elementos superior e inferior de la estructura de impacto lateral ubicándose delante del arco principal y por detrás del arco frontal.
	5	Cumplir con la regla T3.4.1 (requisitos de material).

Tabla 2.7 Requerimientos de las reglas T3.24 [15]

La figura 2.12 muestra un chasis con los elementos mencionados en las tablas 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7. Las partes azules corresponden a los arcos principal y frontal, las partes amarillas que conectan a los arcos son las zonas de impacto lateral, las partes rojas que están al frente son el plano frontal junto con sus soportes. En este caso el chasis emplea conectores (partes amarillas) que unen a los soportes de plano con el arco frontal.

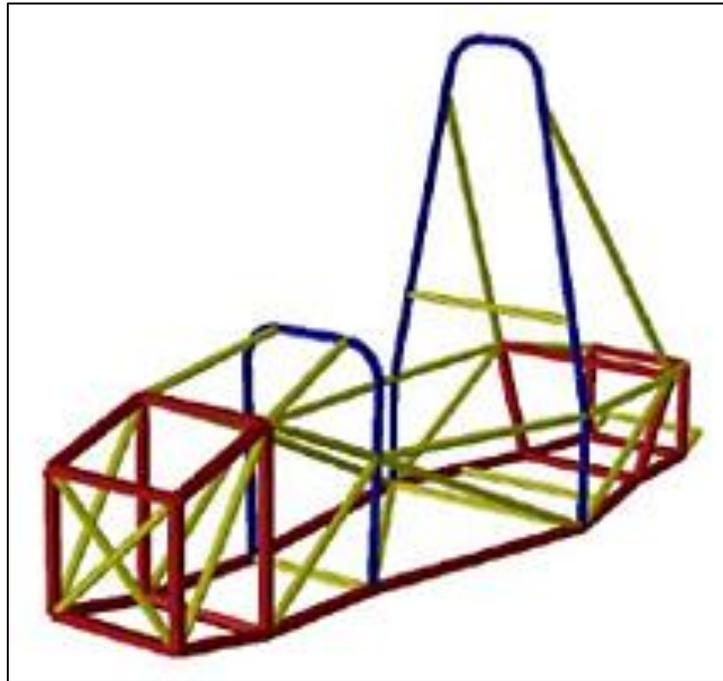


Figura 2.12 Clasificación de tubos de acuerdo con su colocación y la zona en la que se encuentran

Con la misión de asegurar que la apertura de la cabina (habitáculo donde se encuentra el piloto en todo momento) y permitir un fácil acceso al mismo la normativa ha definido dos plantillas que deben poder ser introducidas y desplazadas ciertas distancias de acuerdo con la regla **T4.1**. La primera plantilla para la apertura de la cabina (figura 2.13a) debe ser introducida de forma vertical por la zona de entrada del piloto hasta que haya pasado por debajo de la barra superior de la zona de impacto lateral. La segunda plantilla (figura 2.13b) determina la sección mínima de la parte frontal del coche y debe ser capaz de introducirse de forma lateral hasta una posición retrasada 100mm de la cara más retrasada posible de los pedales cuando se encuentran en posición no operativa.

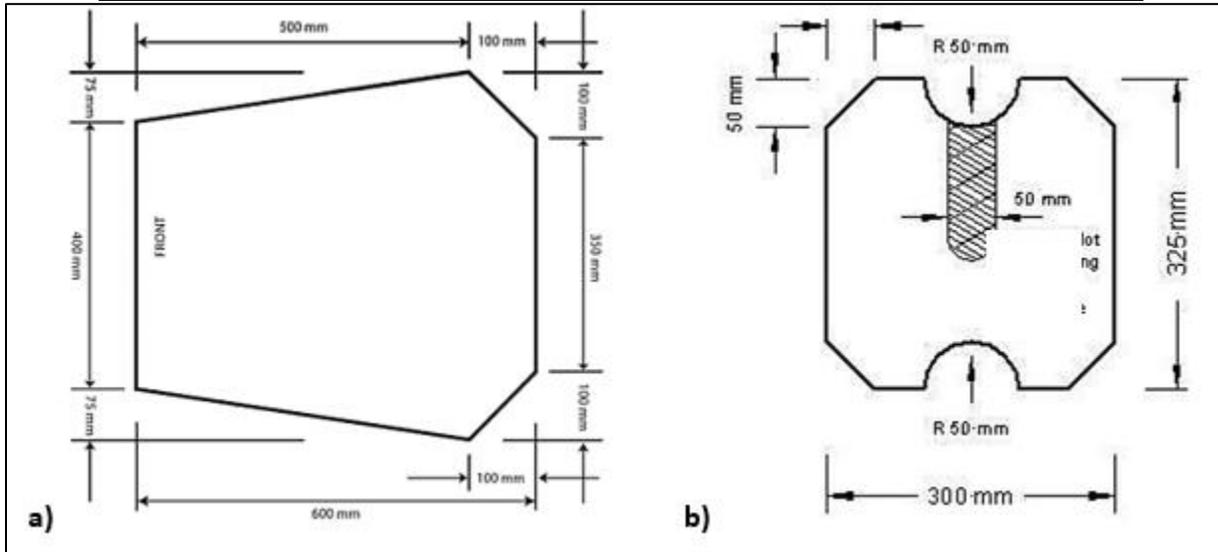


Figura 2.13 a) Plantilla para apertura de la cabina, b) Plantilla para la sección mínima de la parte frontal [15]

En el caso de la parte trasera del chasis, la siguiente imagen muestra los tipos de triangulaciones que se pueden emplear en la zona de motor:

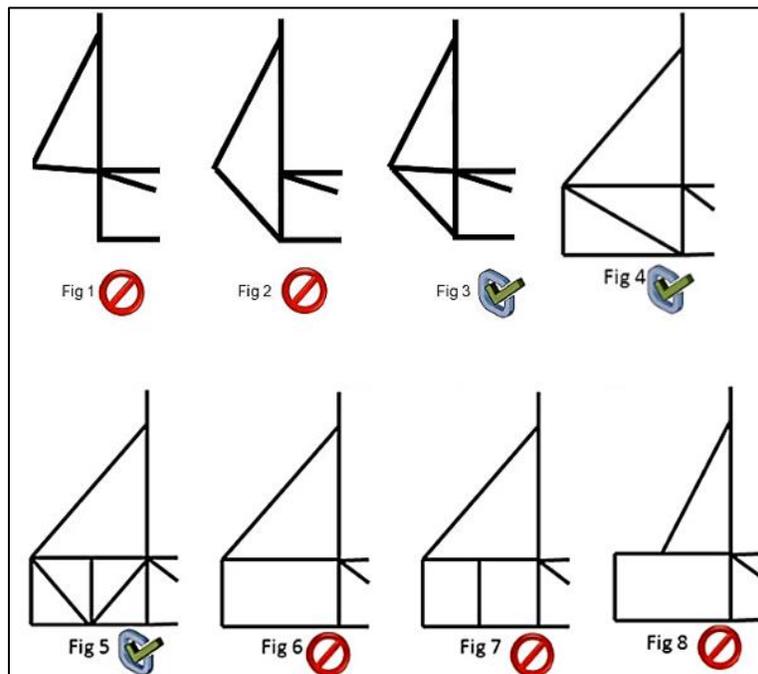


Figura 2.14 Triangulación para la zona posterior (zona del motor) [13]

3 PROTOTIPO DE CHASIS A EMPLEAR



3.1 Planteamiento del prototipo

En este capítulo se presenta el desarrollo del chasis tubular. El prototipo se realizó en SolidWorks Student Edition 2018-19 (versión estudiantil con licencia original). El modelo fue diseñado tanto bajo la normativa SAE (expuesta anteriormente) y la experiencia recopilada por una escudería, UNAM Motorsports, la cual proporcionó para este proyecto un chasis fabricado por su equipo, el cual sirvió como modelo base (Chasis base) para el diseño del prototipo.

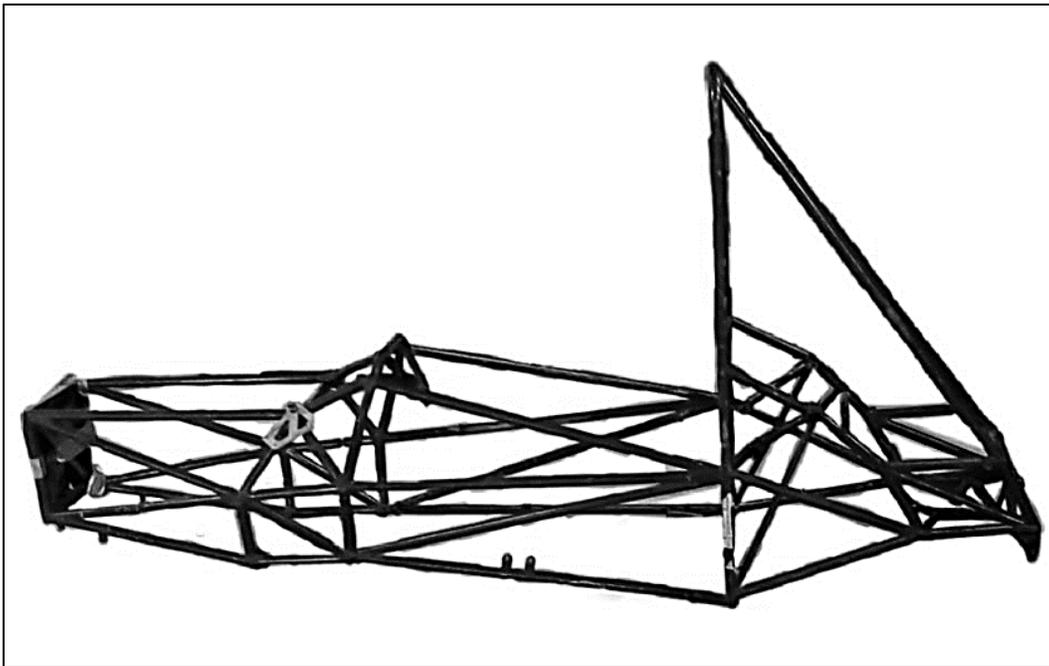


Figura 3.1 Chasis base

Entre las variantes que existen entre el chasis base y el prototipo desarrollado, están la forma de la parte posterior (zona del motor), y esto debido a que la estructura del chasis modelo fue fabricada para un motor diferente al que se cuenta para el desarrollo del prototipo de vehículo. El motor con el que se cuenta es un Kawasaki ZX6R 599cc, modelo 2007-08.

Al chasis base se le acopló este motor con la finalidad de hacerlo operar y realizar pruebas de rendimiento. Las adaptaciones a la estructura fueron improvisadas y no se consideran como definitivas

para poder emplear dicho chasis en el vehículo que se está desarrollando. Lo recomendable fue realizar un chasis propio para el motor. En la figura 3.2 se muestra el motor montado provisionalmente en el chasis base.

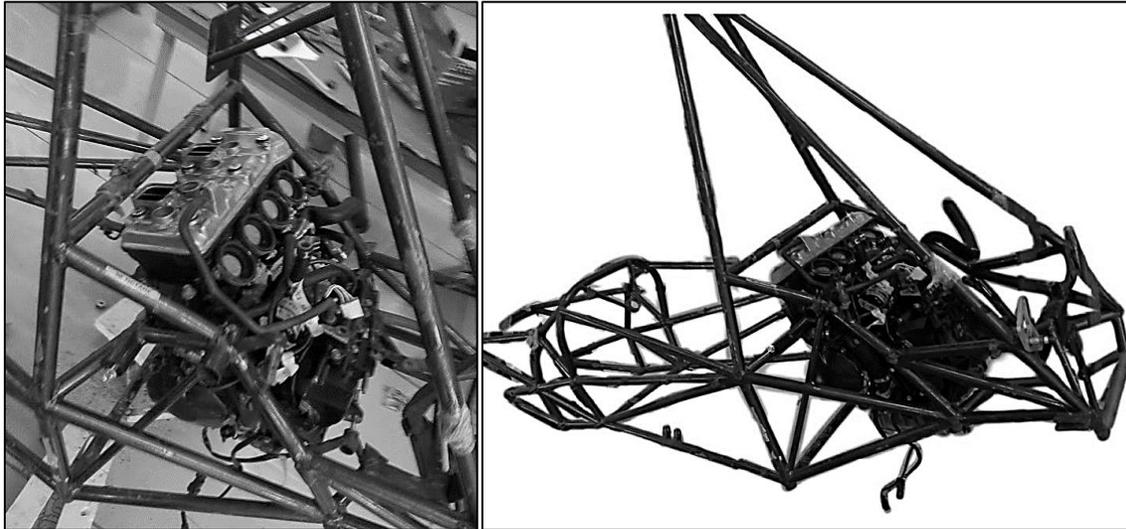


Figura 3.2 Montaje del motor al chasis base

3.2 Modelado del prototipo

El modelo CAD desarrollado por la escudería UNAM Motorsports para el chasis base es el siguiente:

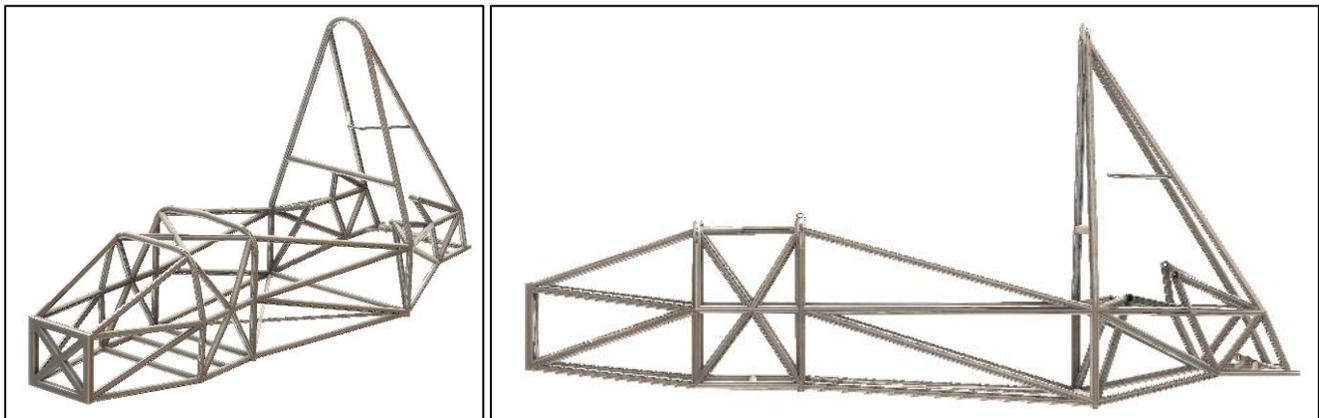


Figura 3.3 Modelo CAD del chasis base

La siguiente figura muestra el modelo digital del prototipo que finalmente se fabricó. Tiene algunas diferencias dimensionales con respecto al modelo CAD, pero el concepto general y resistencia mecánica no fueron afectados.

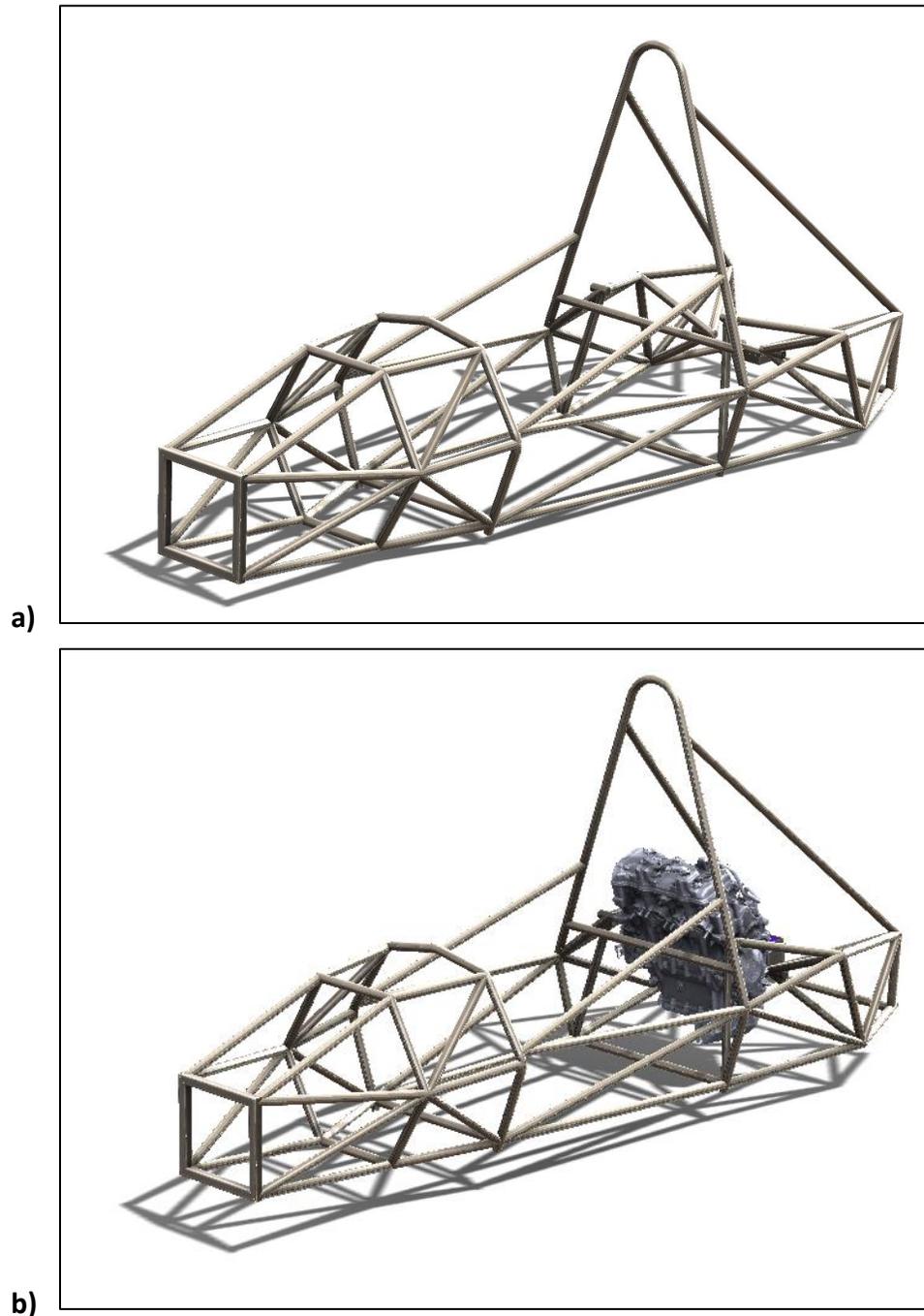


Figura 3.4 a) Modelo CAD del prototipo, b) Prototipo con el motor montado

La siguiente figura muestra la comparación de dimensiones entre los chasises.

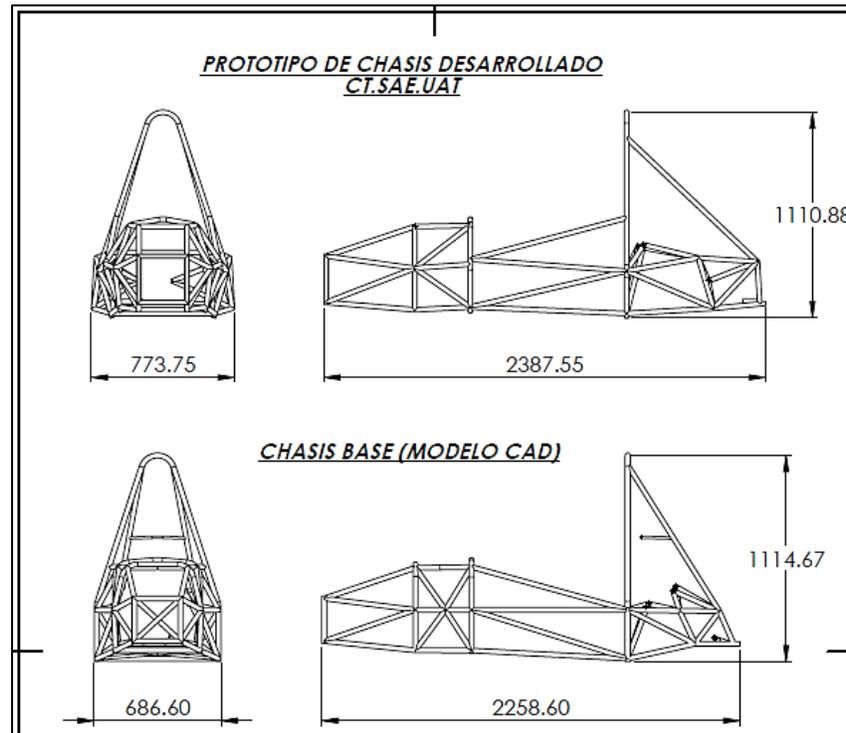


Figura 3.5 Comparación dimensional entre modelos

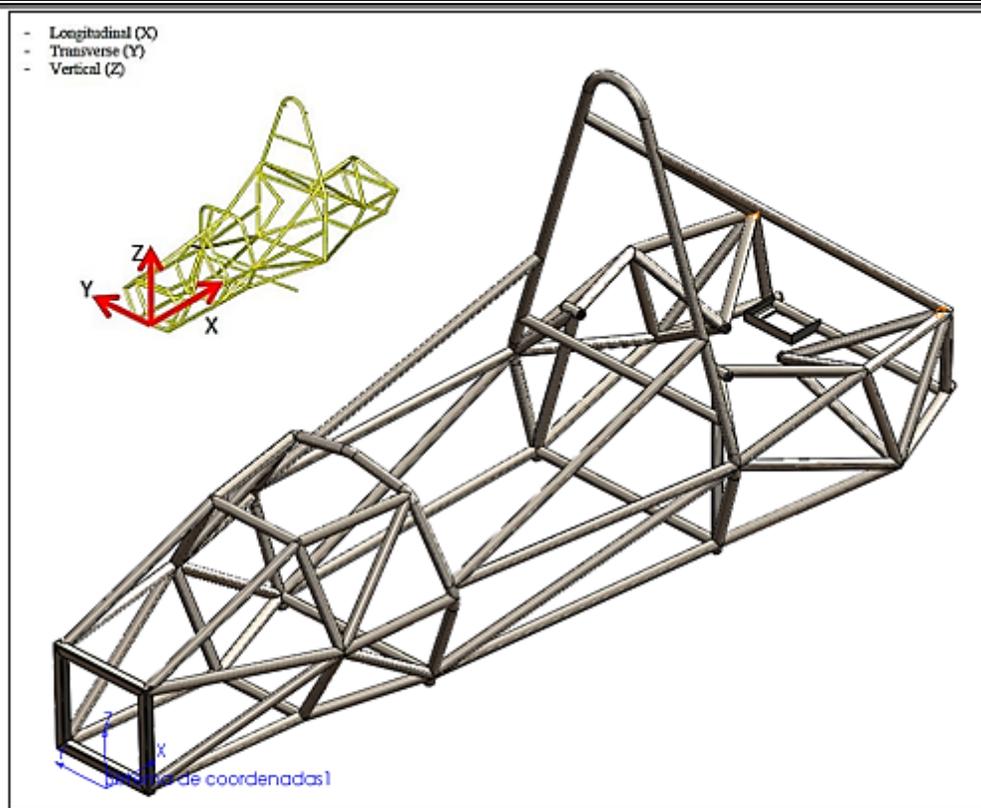
3.3 Análisis del modelo

El análisis por computadora realizado por el autor cubrió los siguientes dos aspectos:

1. **Dimensiones, materiales y propiedades físicas**
2. **Análisis de deformaciones al someter a cargas**

3.3.1 Dimensiones, materiales y propiedades físicas

En el caso de las dimensiones y materiales, estos valores fueron tomados de la normativa de F-SAE (tabla 2.3) y el material empleado es **AISI 1020**. Las propiedades físicas (masa, peso, centro de gravedad) dependen de estos parámetros.



Sistema de coordenadas: Sistema de coordenadas1

Densidad = 0.00790000 gramos por milímetro cúbico

Masa = 32221.23040363 gramos

Volumen = 4078636.75995378 milímetros cúbicos

Área de superficie = 4960713.6101554 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)
 X = 1286.02005635
 Y = 1.88333070
 Z = 263.45098533

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)
 Medido desde el centro de masa.

$I_x = (-0.99964845, -0.00454750, -0.02612098)$	$P_x = 3586186979.75204659$
$I_y = (0.00364526, -0.99939856, 0.03448518)$	$P_y = 16420129451.04944420$
$I_z = (-0.02626209, 0.03437784, 0.99906380)$	$P_z = 16842980032.3615123$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)
 Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

$L_{xx} = 3595500691.36606243$	$L_{xy} = 58723642.26760557$	$L_{xz} = 34621820.28456336$
$I_{yx} = 58723642.26760557$	$I_{yy} = 16420363787.89069939$	$I_{yz} = -12998598.02503992$
$L_{zx} = 34621820.28456336$	$L_{zy} = -12998598.02503992$	$L_{zz} = 16833431983.90537453$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)
 Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 5831975282.1693859$	$I_{xy} = 136763496.31586003$	$I_{xz} = 1262869432.25000381$
$I_{yx} = 136763496.31586003$	$I_{yy} = 71945728191.90348816$	$I_{yz} = 2988459.36368740$
$I_{zx} = 1262869432.25000381$	$I_{zy} = 2988459.36368740$	$I_{zz} = 70122550370.35783386$

Figura 3.6 Propiedades Físicas del prototipo del chasis. La convención de ejes fue la establecida por Fórmula SAE

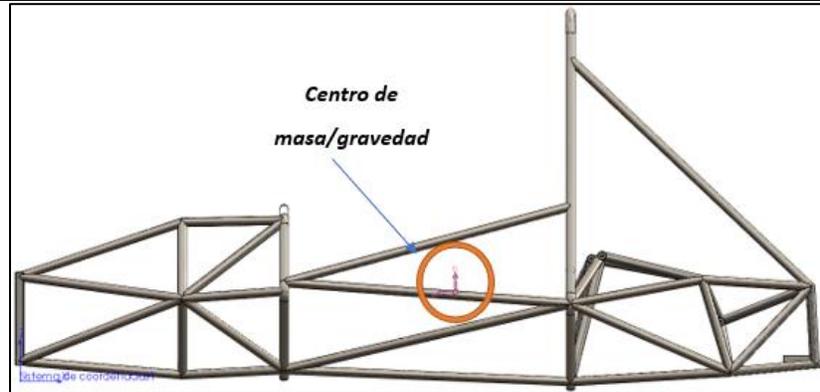


Figura 3.7 Ubicación del centro de gravedad

3.3.2 Análisis de deformaciones al someter a cargas

De acuerdo con la norma, las fuerzas a las que se debe someter y evaluar el chasis son del tipo impacto y los valores establecidos son los siguientes:

CARGAS PARA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE RESISTENCIA MECÁNICA	
Tipo de esfuerzo	Dirección/Valor de la fuerza
Impacto del arco principal (Arco principal, brazos de refuerzo y soportes de los brazos de refuerzo)	$F_x = 6 \text{ KN}$
	$F_y = 5 \text{ KN}$
	$F_z = -9 \text{ KN}$
Impacto del arco frontal	$F_x = 6 \text{ KN}$
	$F_y = 5 \text{ KN}$
	$F_z = -9 \text{ KN}$



Impacto lateral	$F_x = 0 \text{ KN}$
	$F_y = 7 \text{ KN}$
	$F_z = 0 \text{ KN}$
Impacto frontal (Superficie frontal y soportes de la superficie frontal)	$F_x = 120 \text{ KN}$
	$F_y = 0 \text{ KN}$
	$F_z = 0 \text{ KN}$

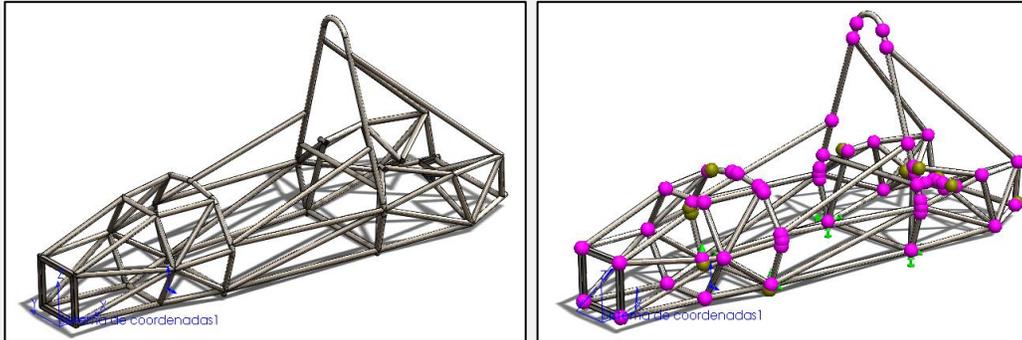
Tabla 3.1 Cargas a las que se somete la estructura del chasis Tubular [15]

Para poder conocer el comportamiento de la estructura, se realizaron simulaciones empleando el método de elementos finitos mediante una prueba estática usando *SolidWorks Simulation*. A continuación, se dan los resultados del estudio, los cuales muestran las deformaciones generadas en la estructura del chasis y los esfuerzos máximos para su comparación con las propiedades del material.

ACERO AL CARBONO AISI / SAE 1020	
Características AISI / SAE 1020 : Acero de bajo contenido de carbono, de fácil mecanizado y buena soldabilidad. De baja dureza para usos convencionales de baja exigencia Cuando se requiere una superficie muy dura pero un centro tenaz, este acero cementado cumple perfectamente.	
Resistencia a la tracción = 58 KPSI ; 400 MPa	Resistencia a la tracción = 64 KPSI ; 440 MPa
Límite de fluencia = 32 KPSI ; 220 MPa	Límite de fluencia = 53.6 KPSI ; 370 MPa
Tipo de proceso y acabado: Caliente y maquinado	Tipo de proceso y acabado: Estirado en frío

Tabla 3.2 Propiedades del material AISI 1020

Condiciones iniciales para el análisis



- Tipo de estudio: De cargas
- Tipo de juntas (contactos): Para vigas.
- Tipo de conexiones: Contacto entre componentes del tipo global de unión rígida.
- Sujeciones: Fijas (Los puntos de sujeción varían de acuerdo con la dirección de las cargas y el elemento sometido a carga).
- Tipo de mallado: Controlado automáticamente para estructura soldada.
- Escala de deformación: 1

Tabla 3.3 Condiciones iniciales para el análisis de cargas

Impacto en el arco principal

Análisis estructural. Aplicación de cargas en el arco principal

- **Elementos para analizar:** Arco principal, brazos de refuerzo y soportes de los brazos de refuerzo
- **Carga aplicada:** $F_x = 6.0 \text{ kN}$, $F_y = 5.0 \text{ kN}$, $F_z = -9.0 \text{ kN}$
- **Punto de aplicación:** Parte superior del arco principal.
- **Condiciones de contorno:** desplazamiento fijo (x , y , z), pero no la rotación de los nodos inferiores de ambos lados de los arcos frontal y principal.
- **Deformación máxima admisible:** 25 mm
- El fallo no debe ocurrir en ninguna parte de la estructura

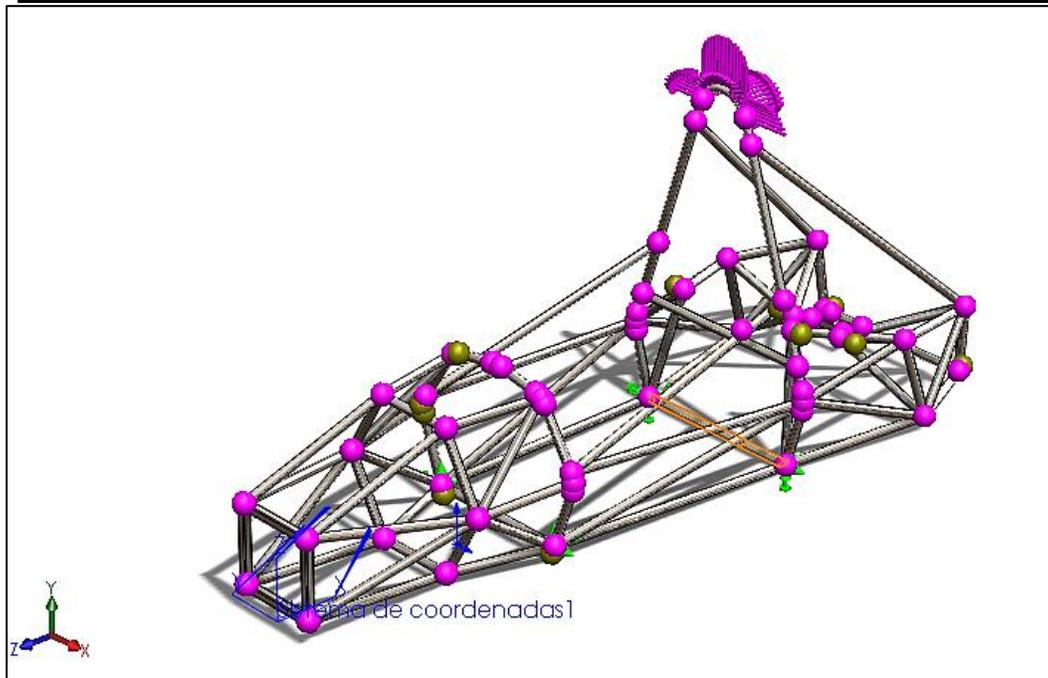


Figura 3.8 Análisis estructural. Planteamiento de la aplicación de cargas al arco principal. Sujeciones y fuerzas

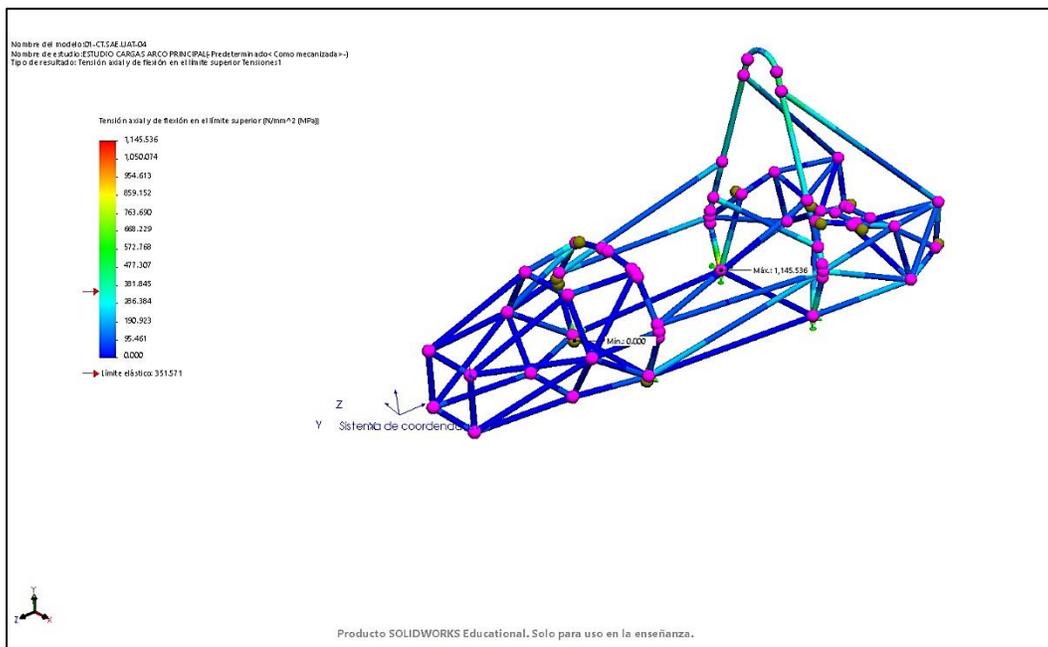


Figura 3.9 Análisis estructural. Resultados de la aplicación de cargas al arco principal. Tensión axial y de flexión en el límite superior

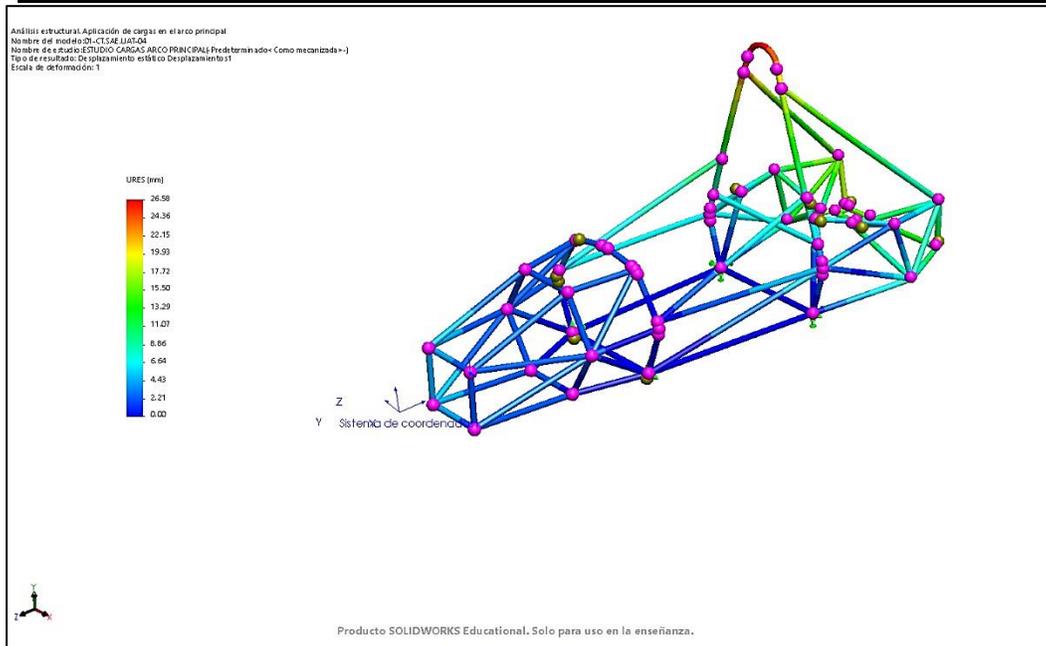


Figura 3.10 Análisis estructural. Resultados de la aplicación de cargas al arco principal. Desplazamientos con valor máximo de 26.58mm

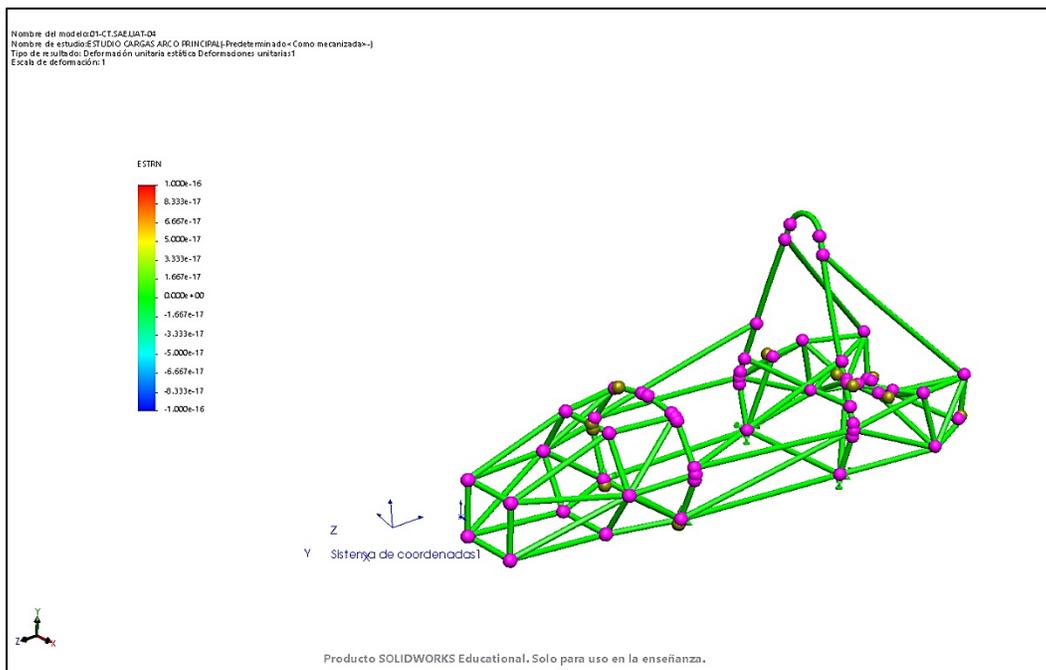


Figura 3.11 Análisis estructural. Resultados de la aplicación de cargas al arco principal. Deformaciones unitarias

Impacto del arco frontal

Análisis estructural. Aplicación de cargas en el arco frontal

- **Carga aplicada:** $F_x = 6.0 \text{ kN}$, $F_y = 5.0 \text{ kN}$, $F_z = -9.0 \text{ kN}$
- **Punto de aplicación:** Parte superior del arco frontal.
- **Condiciones de contorno:** desplazamiento fijo (x, y, z), pero no la rotación de los nodos inferiores de ambos lados de los arcos frontal y principal.
- **Deformación máxima admisible:** 25 mm
- El fallo no debe ocurrir en ninguna parte de la estructura

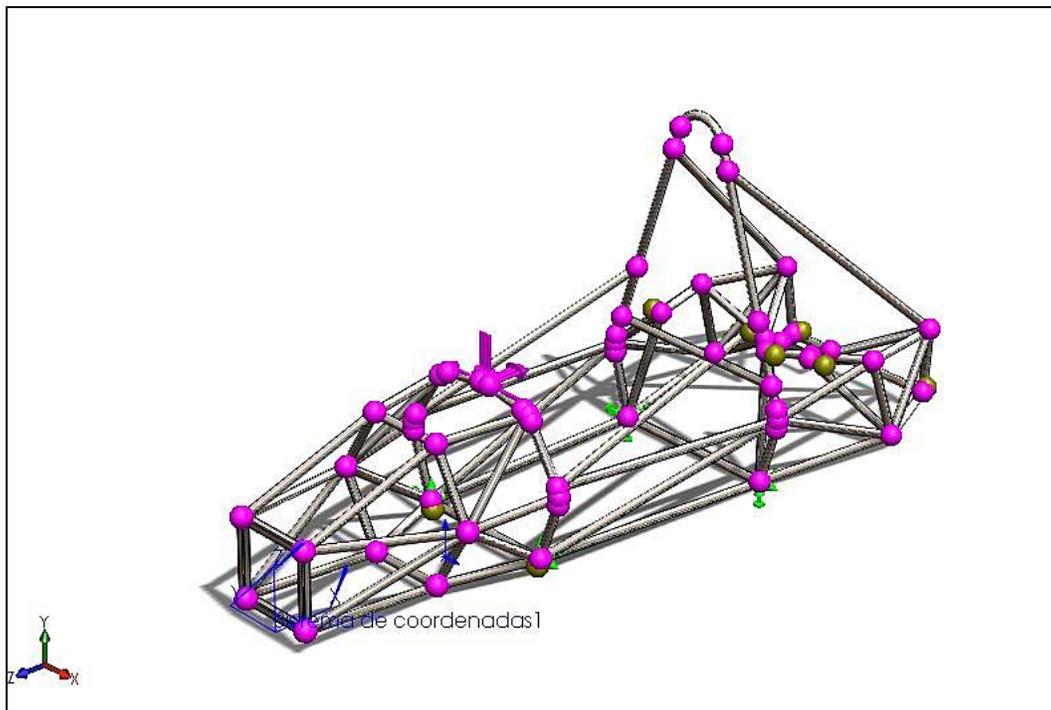


Figura 3.12 Análisis estructural. Planteamiento de la aplicación de cargas al arco frontal. Sujeciones y fuerzas

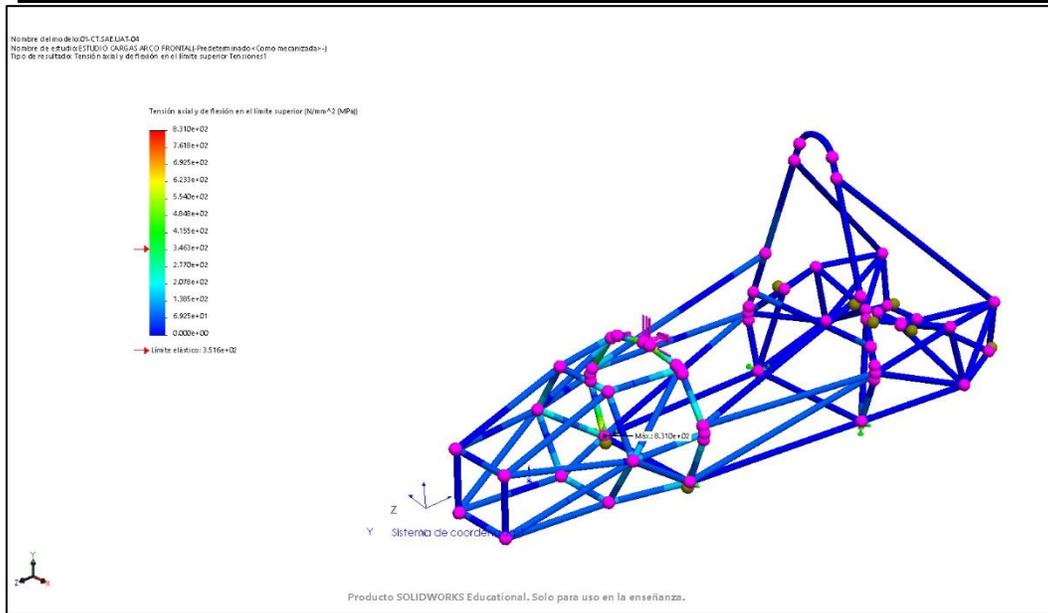


Figura 3.13 Análisis estructural. Resultados de la aplicación de cargas al arco frontal. Tensión axial y de flexión en el límite superior

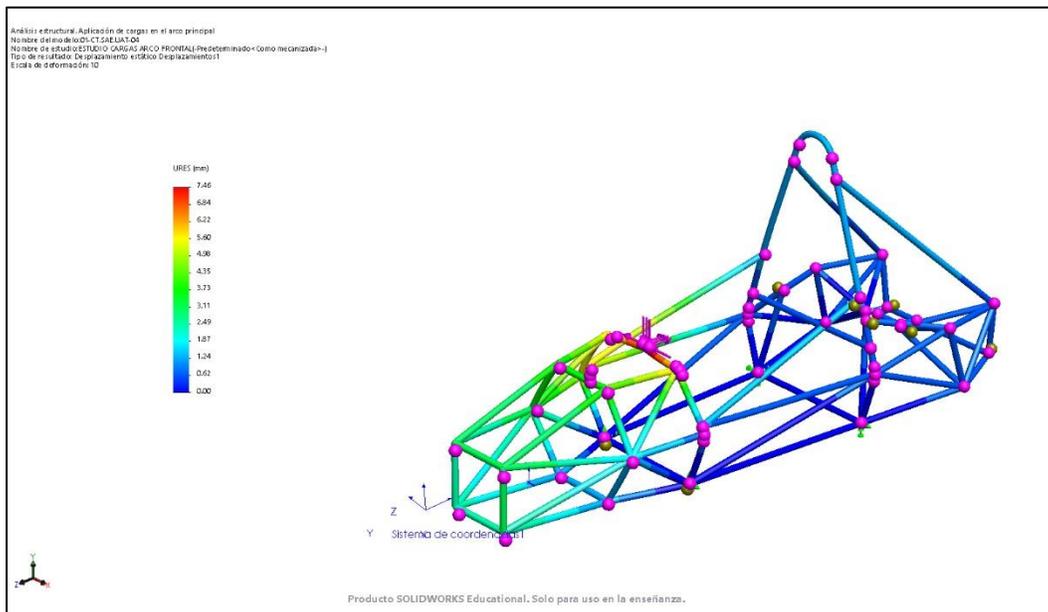


Figura 3.14 Análisis estructural. Resultados de la aplicación de cargas al arco principal. Desplazamientos con valor máximo de 7.46mm

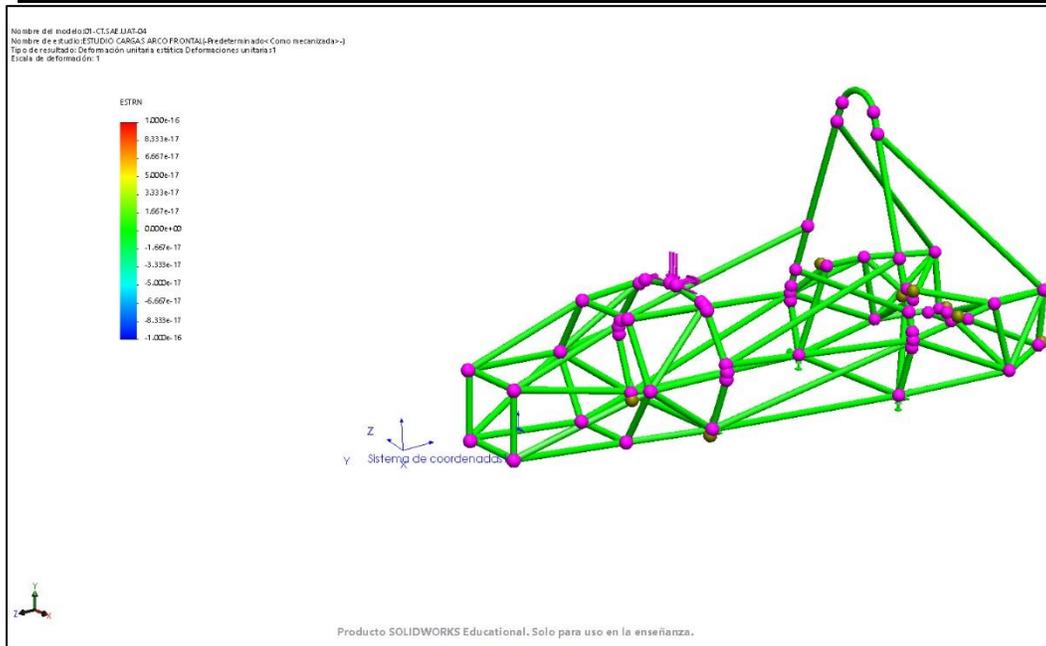


Figura 3.15 Análisis estructural. Resultados de la aplicación de cargas al arco frontal. Deformaciones unitarias

Impacto lateral

Análisis estructural. Aplicación de cargas en la zona de impacto lateral

- **Carga aplicada:** $F_x = 0 \text{ kN}$, $F_y = 7.0 \text{ kN}$, $F_z = 0 \text{ kN}$
- **Punto de aplicación:** Todos los miembros estructurales que estén ubicados entre el arco frontal y el principal en la zona de impacto lateral.
- **Condiciones de contorno:** desplazamiento fijo (x , y , z), pero no la rotación de los nodos inferiores de ambos lados de los arcos frontal y principal.
- **Deformación máxima admisible:** 25 mm
- El fallo no debe ocurrir en ninguna parte de la estructura

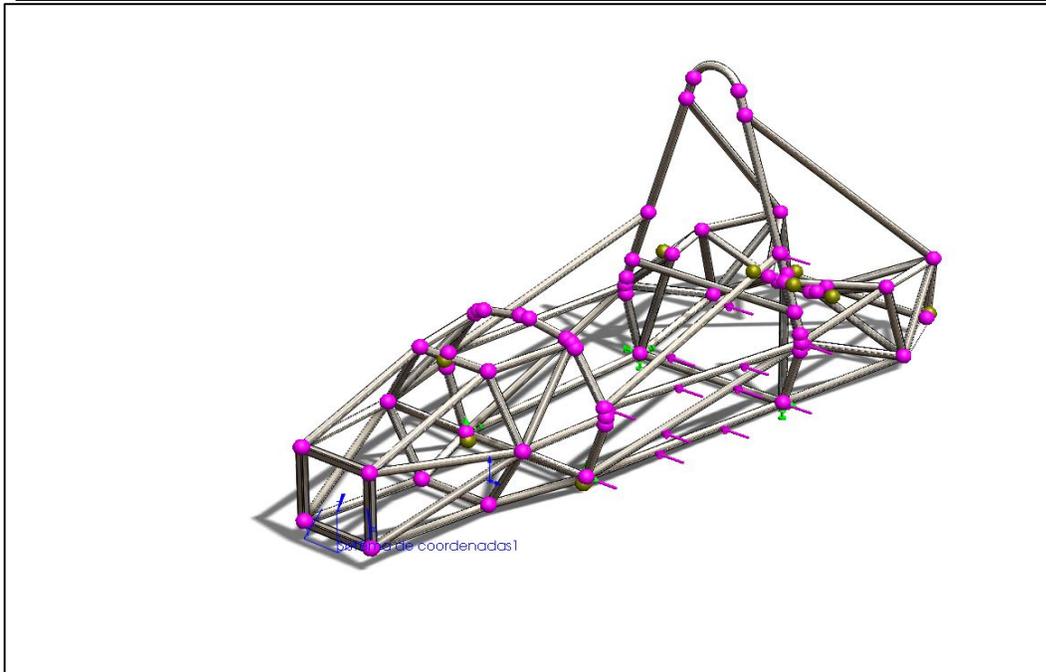


Figura 3.16 Análisis estructural. Planteamiento de la aplicación de cargas a la zona lateral. Sujeciones y fuerzas

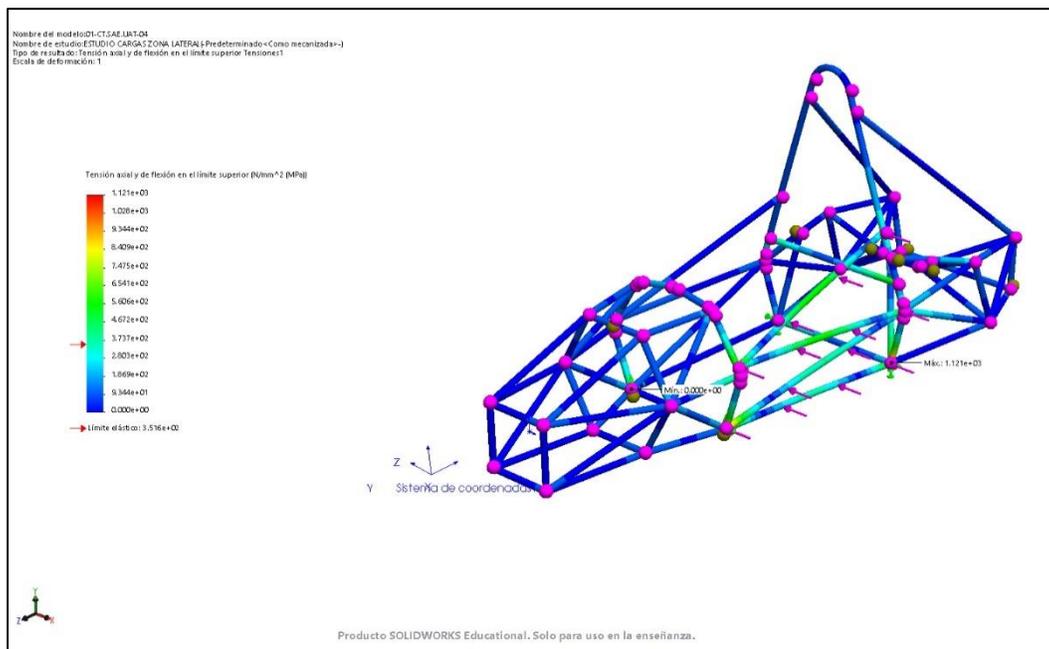


Figura 3.17 Análisis estructural. Resultados de la aplicación de cargas a la zona lateral. Tensión axial y de flexión en el límite superior

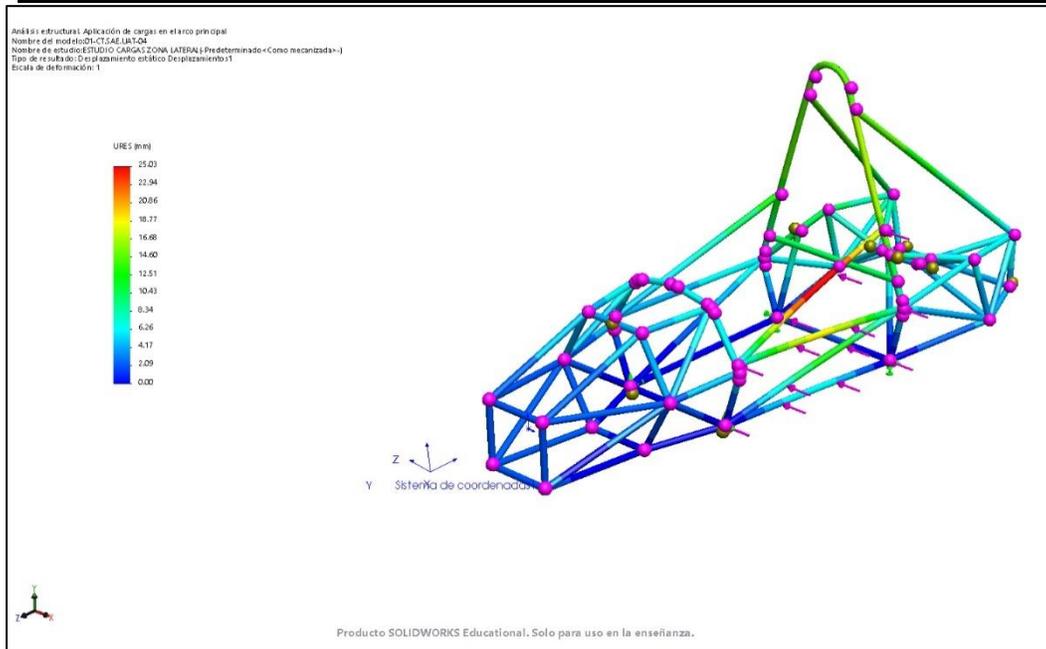


Figura 3.18 Análisis estructural. Resultados de la aplicación de cargas a la zona lateral. Desplazamientos con valor máximo de 25.03mm

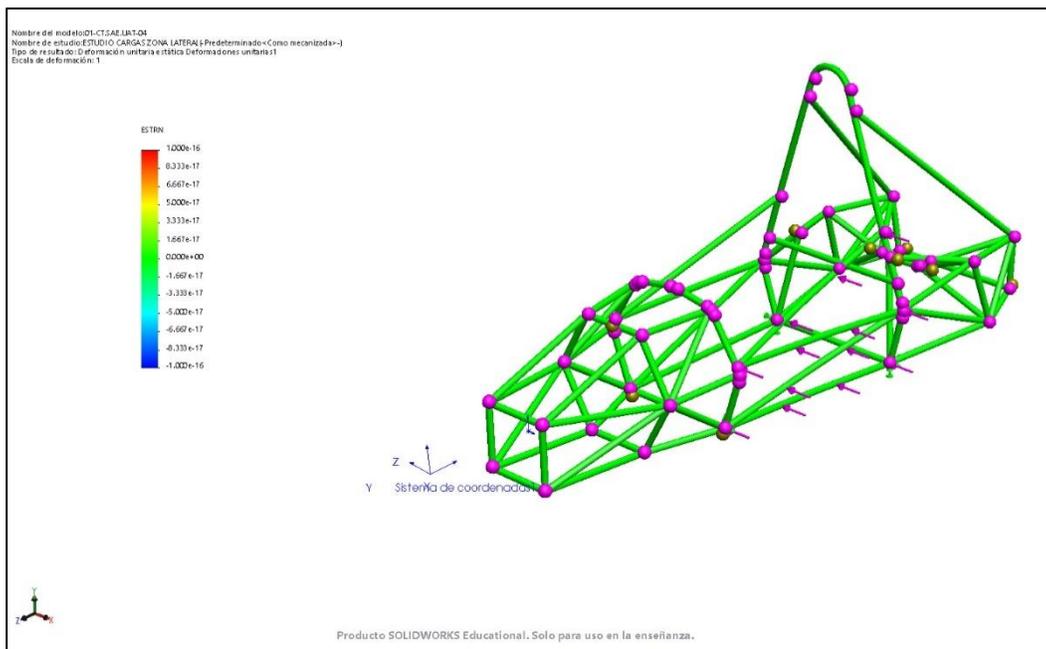


Figura 3.19 Análisis estructural. Resultados de la aplicación de cargas a la zona lateral. Deformaciones unitarias

Análisis estructural. Aplicación de cargas en la zona frontal del chasis

- **Elementos para analizar:** Superficie frontal y soportes de la superficie frontal
- **Carga aplicada:** $F_x = 120.0 \text{ kN}$, $F_y = 0 \text{ kN}$, $F_z = 0 \text{ kN}$
- **Punto de aplicación:** En los puntos de unión entre el atenuador de impactos y la superficie frontal.
- **Condiciones de contorno:** desplazamiento fijo (x, y, z), pero no la rotación de los nodos inferiores de ambos lados de los arcos frontal y principal y los puntos de anclaje del cinturón de seguridad.
- **Deformación máxima admisible:** 25 mm
- El fallo no debe ocurrir en ninguna parte de la estructura

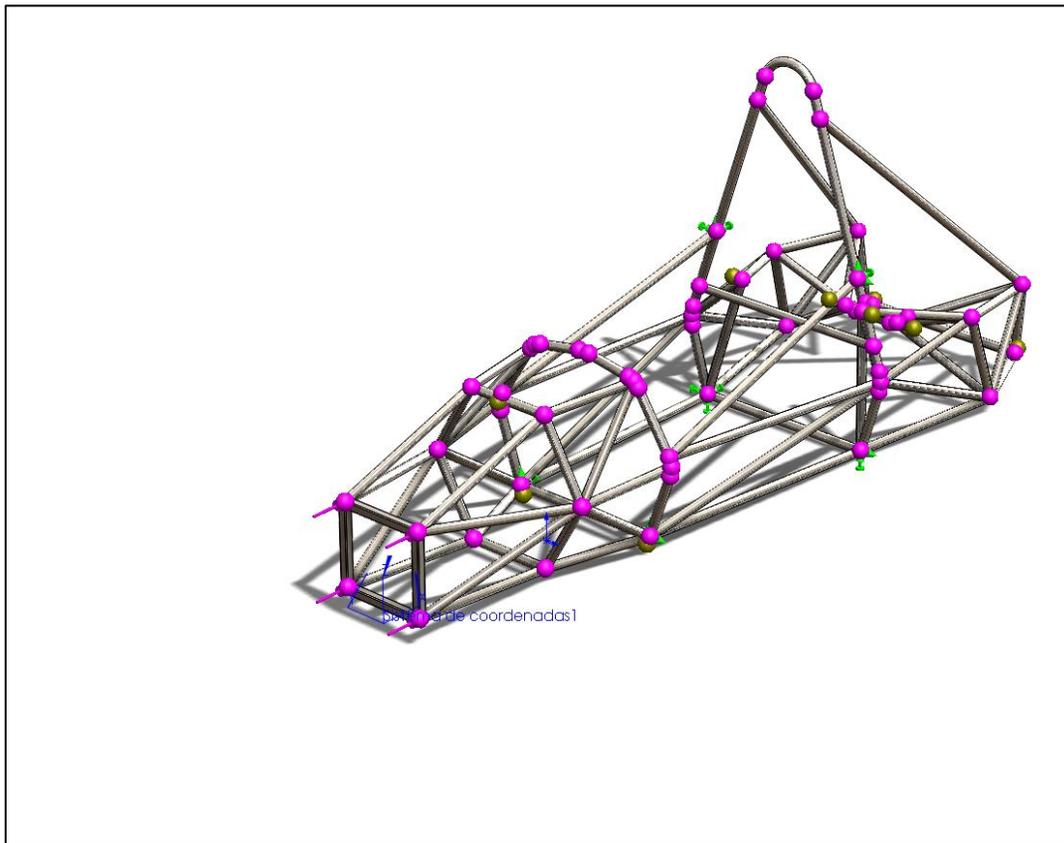


Figura 3.20 Análisis estructural. Planteamiento de la aplicación de cargas a la zona de impacto frontal. Sujeciones y fuerzas

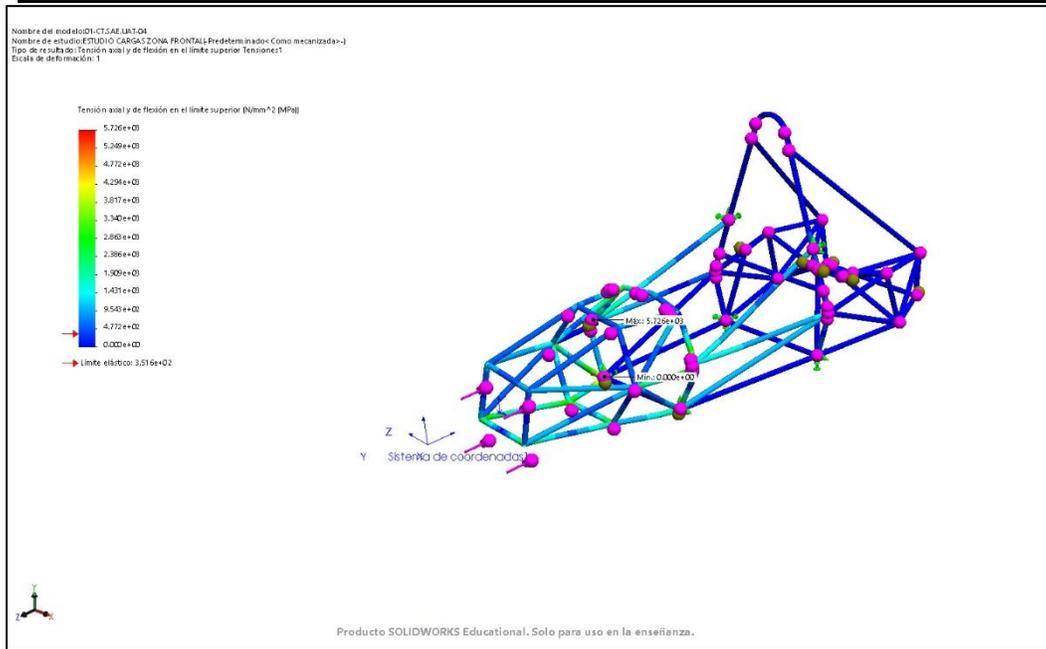


Figura 3.21 Análisis estructural. Resultados de la aplicación de cargas a la zona frontal. Tensión axial y de flexión en el límite superior

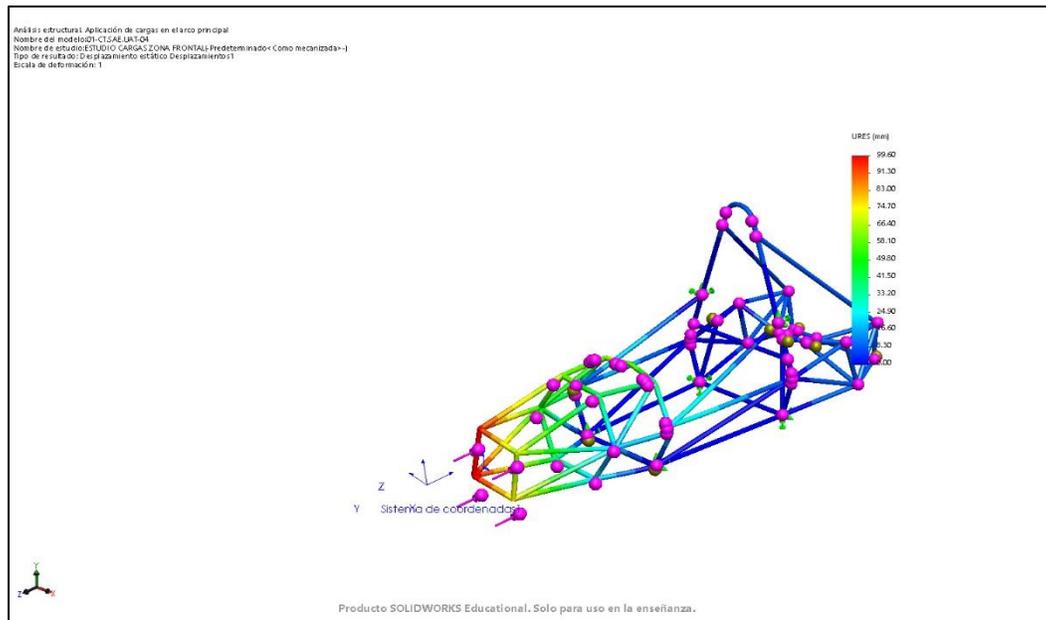


Figura 3.22 Análisis estructural. Resultados de la aplicación de cargas a la zona frontal. Desplazamientos con valor máximo de 99.6mm

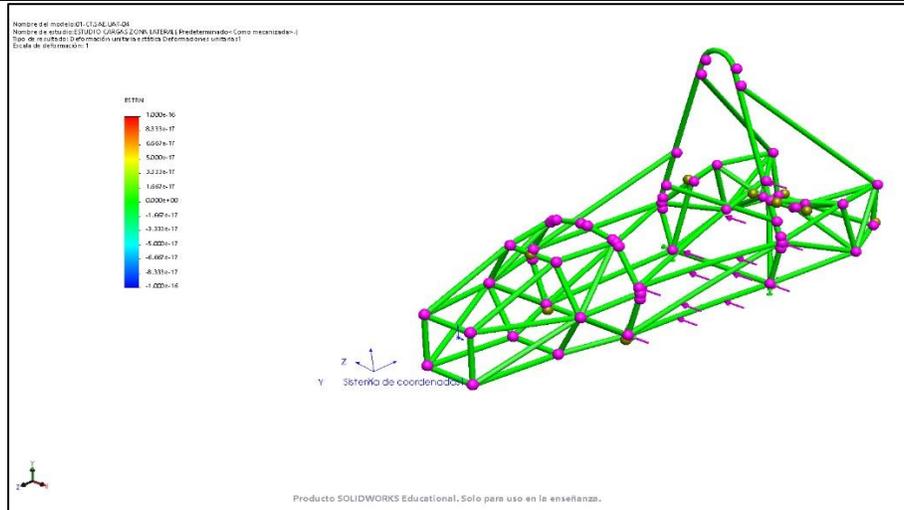


Figura 3.23 Análisis estructural. Resultados de la aplicación de cargas a la zona frontal. Deformaciones unitarias

Después de realizado el estudio de esfuerzos por cargas de impacto, se puede observar que las tensiones sobrepasan en todos los casos al límite elástico, por lo que, de dejar la estructura con la geometría actual, se presentarían fallas durante su funcionamiento. Un estudio topológico una opción de primer mano para determinar las zonas a reforzar. En este caso, se omitió el desarrollo de este debido a que la finalidad del proyecto es el de obtener la información para fabricar la estructura. De actualizar el modelo del chasis a uno mas estable que entre en los parámetros permisibles, la información tendría que cumplir con los nuevos parámetros.

3.4 Proceso de fabricación

La siguiente imagen muestra un dibujo de conjunto en el que se enumeran y clasifican cada uno de los perfiles del chasis diseñado por el autor.

La figura 3.14 también incluye una tabla que indica la longitud a la que se corta cada tramo recto de material y las medidas de la tubería (diámetro y espesor). Con esta información se estableció un proceso para el cálculo de la cantidad de material requerido.

$$\text{NÚMERO DE TRAMOS DE MATERIAL} = M = \frac{L_T}{L_C}$$

Donde:

$L_T =$ Longitud total requerida de un perfil tubular

$L_C =$ Longitud nominal del tramo comercial del perfil

En cuanto el valor de L_T , se ha analizado y propuesto la siguiente forma de obtenerlo:

$$L_T = (l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n) + e(n - 1)$$

Donde:

$l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n =$ suma de las longitudes de todos los miembros del mismo material

$e =$ espesor de la herramienta de corte

$n =$ número de miembros estructurales del mismo material

En caso de no tomar en cuenta el espesor para estimar un excedente en la cantidad de material a requerir $e = 0$, la fórmula se simplifica a $L_T = (l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n)$ y solo se debe tomar en cuenta las tolerancias del corte, que, en caso de emplear sierras o amoladoras se deberá considerar el espesor de la herramienta de corte, ya que esto reducirá la longitud del tubo.

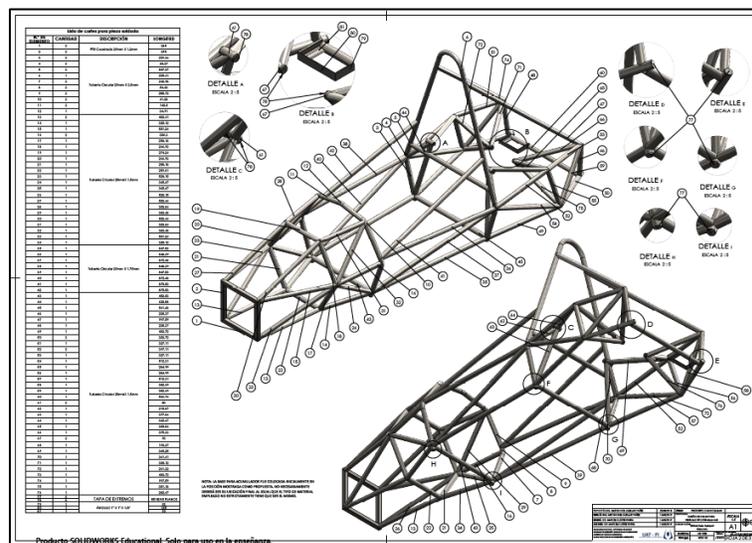


Figura 3.24 Plano del prototipo que muestra sus componentes enumerados. El plano se encuentra en los anexos.

4 PLANTILLAS PARA FABRICACIÓN DEL CHASIS TUBULAR



4.1 Configuraciones geométricas de uniones de perfiles estructurales

Los procesos de manufactura empleados para la fabricación del chasis tubular son principalmente corte y soldadura. También se emplean procesos de rolado para obtener los arcos principal y frontal. Para unir cada perfil y formar la estructura se deben fijar a un punto en común con otros miembros. Estos puntos de unión se conocen como nodos y en algunos sectores como la construcción se denominan celosías.

Una **celosía plana** es un modelo idealizado de una estructura reticular formada por barras rectas [3]. Son un arreglo de barras unidas en sus extremos mediante articulaciones ideales (solo transmiten fuerzas y no transmiten momentos). Los ejes para coordenadas de los centroides para todas las barras están contenidos en un mismo plano (XY). En una celosía plana los ejes de las barras pasan por el centro de las articulaciones. En la figura 4.1 se muestran los diferentes arreglos de celosías planas y sus características, las cuales coinciden con el principio de triangulación establecido por F-SAE [15].

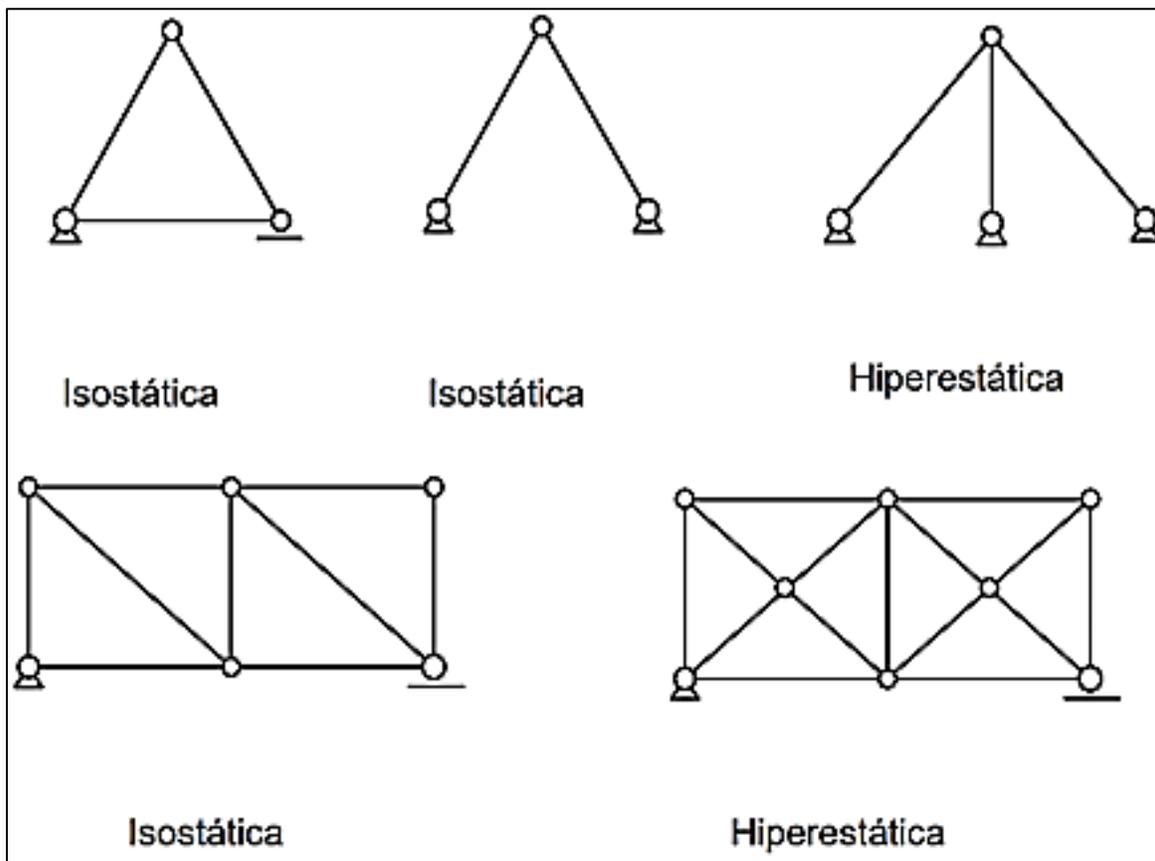


Figura 4.1 Los diferentes tipos de celosías planas [3]

En la figura 4.2 se muestran las direcciones de las cargas a las que se someten los miembros estructurales y un esquema de la geometría general del nodo o punto de unión.

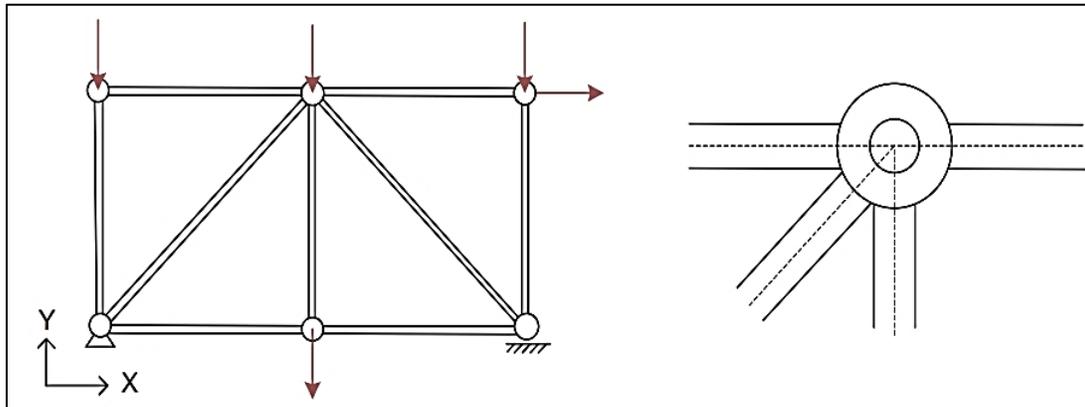


Figura 4.2 Dirección de las cargas en celosías planas (izquierda). Nodo o punto de unión de los miembros (Derecha) [3]

Las diferentes configuraciones de uniones de celosías planas con perfiles estructurales son las siguientes:

Configuraciones geométricas de celosías planas		
<p>Nodo en Y</p>	<p>Nodo en T</p>	<p>Nodo en X</p>
<p>Nodo doble Y</p>	<p>Nodo en K con espaciamiento</p>	<p>Nodo en K con solapamiento</p>

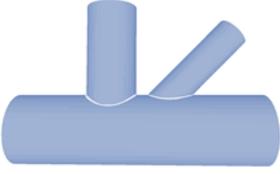
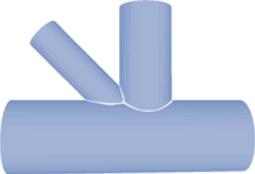
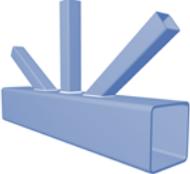
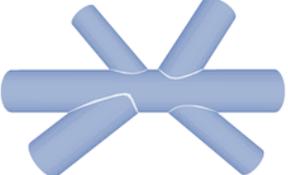
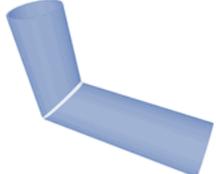
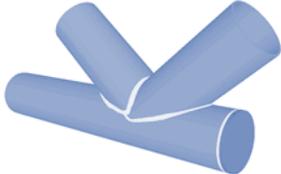
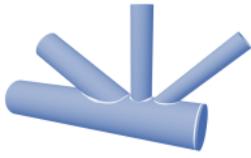
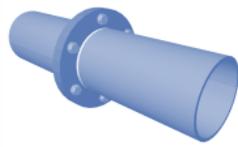
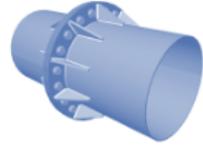
 <p>Nodo en N con espaciamento</p>	 <p>Nodo en N con solapamiento</p>	 <p>Nodo KT con espaciamento</p>
 <p>Nodo KT con solapamiento</p>	 <p>Nodo doble K con espaciamento</p>	 <p>Nodo doble K con solapamiento</p>
 <p>Codo sin diagonal</p>	 <p>Codo con diagonal</p>	 <p>Nodo en L</p>
 <p>Unión en codo KT con espaciamento</p>	 <p>Unión en codo KT con solapamiento</p>	 <p>Empalme mediante chapa frontal atornillada sin rigidizadores</p>
 <p>Empalme mediante chapa frontal atornillada con rigidizadores</p>	 <p>Empalme mediante chapa frontal atornillada sin rigidizadores</p>	

Tabla 4.1 Tipología de uniones de celosías planas con perfiles estructurales [3]

Existen programas que ayudan al cálculo y dimensionamiento de celosías planas. En la figura 4.3 se ilustra un ejemplo de un software empleado para estas labores.

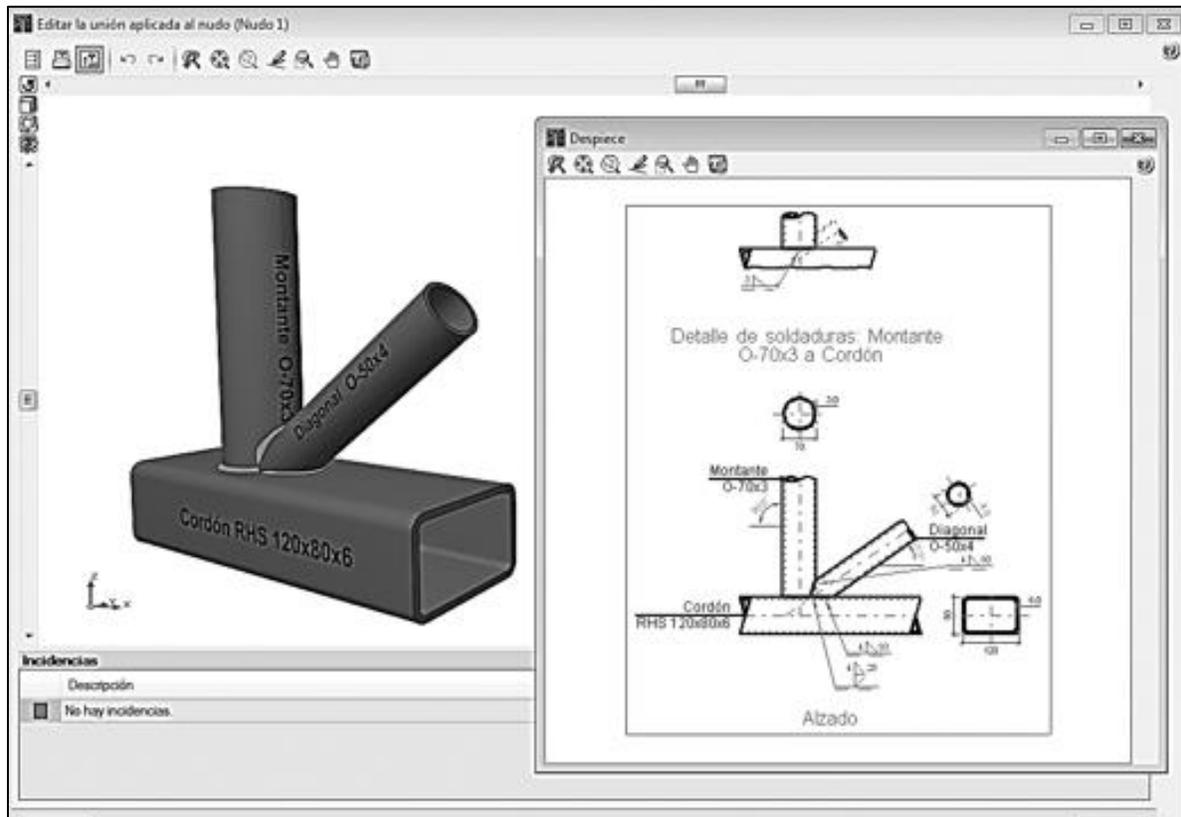


Figura 4.3 Diseño y cálculo de parámetros mecánicos realizados con un software especializado [3]

En estructuras como es el caso del chasis tubular espacial, se podría emplear el uso de un software de este tipo, pero los resultados y la información que entrega no es suficiente pues queda pendiente las características del corte para el correcto acoplamiento en el nodo. De forma concreta, la información que se requiere es la de la forma del corte que deberá tener el tubo para su correcto contacto y colocación dentro del nodo al que llega como se muestra en la figura 4.4.

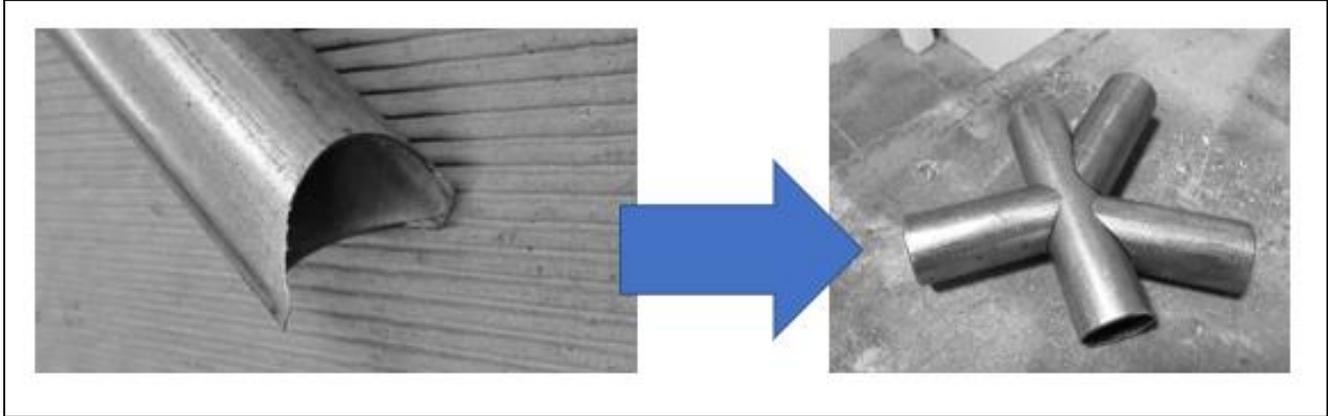


Figura 4.4 (izquierda) Corte que debe tener el tubo para su correcta colocación en el nodo(derecha)

Para obtener el corte del miembro estructural, existen diferentes métodos para su trazado, al igual que diferentes herramientas para su maquinado.

4.2 Técnicas para el corte de perfiles circulares

4.2.1 Cortes diagonales

Los cortes en ángulo son sencillos y fáciles de realizar en perfiles estructurales. Basta con conocer el valor del ángulo o los catetos como si fuera el caso de un triángulo rectángulo. Análogamente un plano es el que corta al perfil, dejando un área transversal mayor y más alargada que la que posee la cara transversal o normal al eje del perfil.

En el caso de los perfiles circulares, dicha arista se asemeja a una elipse, la cual se va haciendo más grande a medida que el ángulo formado por el plano de corte y la cara transversal normal a la longitud se acerca a los 90°.

En la figura 4.5 se muestra un ejemplo de este tipo de corte.

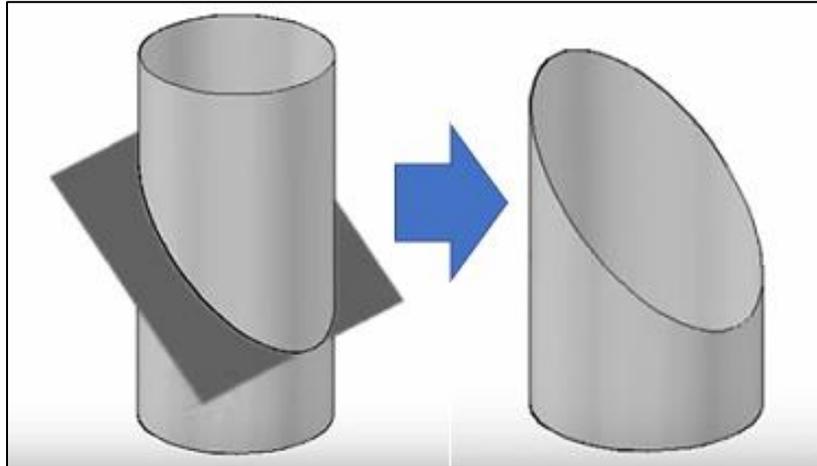


Figura 4.5 Corte en diagonal para un perfil estructural en diagonal

La técnica empleada para determinar la forma y contorno del corte consiste en la creación de una plantilla en una superficie en la cual se traza dicho contorno como si fuera una chapa o superficie desplegada (tubo desplegado o desenrollado).

Teniendo esta plantilla, es más fácil trazar el contorno del corte en el tubo para posteriormente cortarlo con la herramienta que se disponga, pudiendo usar incluso un disco de esmeril, el cual es la opción básica y comúnmente usada, aunque no sea la que disponga de mayor precisión o control en el acabado ya que depende de la habilidad y cuidado que emplee la persona que realice la tarea.

El proceso para la creación de la plantilla para cortes diagonales es simple. Basta con conocer el ángulo de corte y el diámetro externo del perfil tubular para poder hacer una proyección de puntos que parten de la circunferencia exterior del tubo. La cantidad de puntos se determina por el número de divisiones que se hagan en la circunferencia.

Con una mayor cantidad de divisiones, será más tenue y precisa la plantilla. Los puntos se proyectan perpendicularmente pasando por la diagonal del corte para posteriormente llegar a una plantilla reglada y seccionada la misma cantidad de veces que la circunferencia y cuya longitud horizontal es igual al perímetro. Uniendo las coordenadas polares con las lineales mediante la proyección se pueden obtener el contorno o gráfico de la arista del corte.

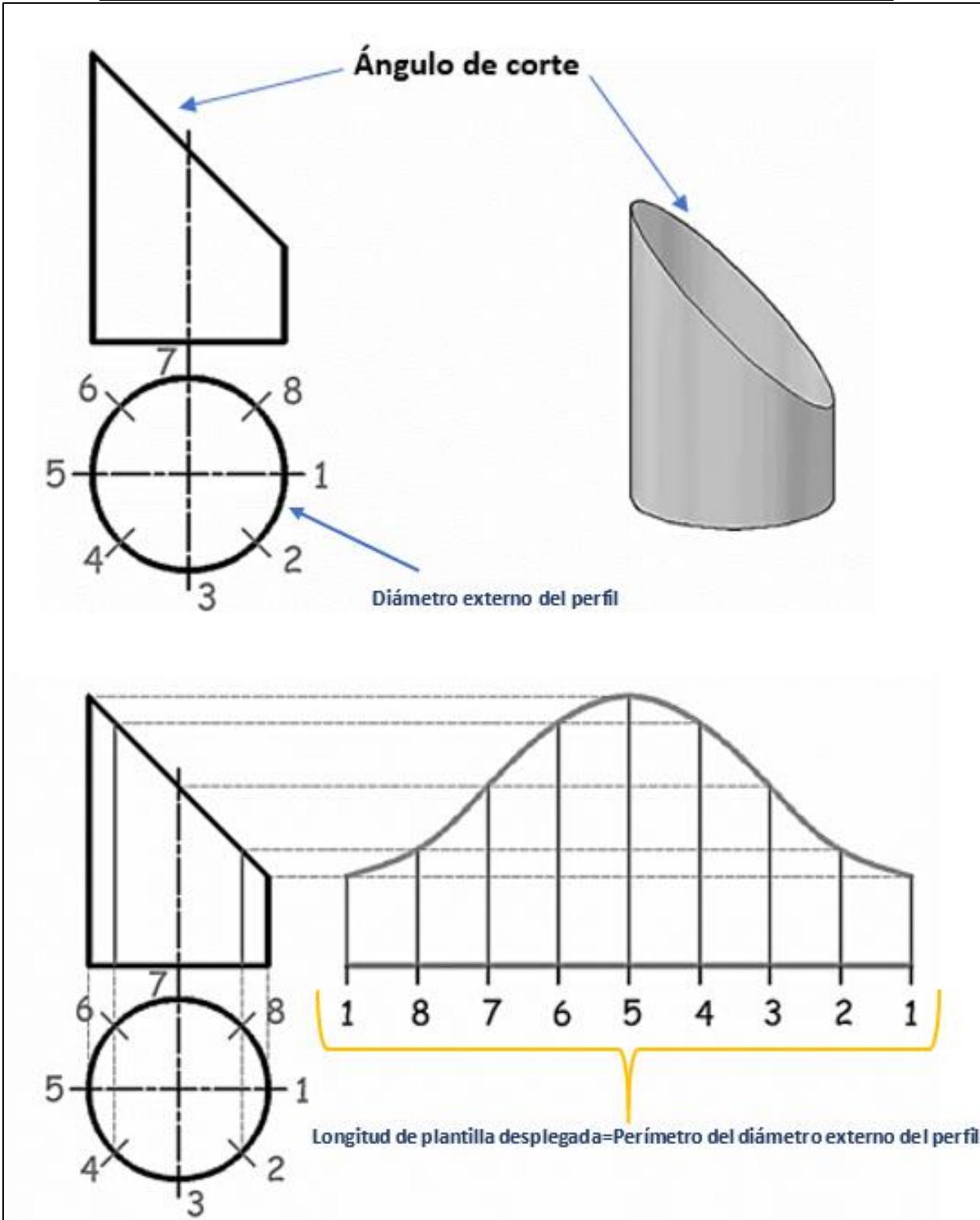


Figura 4.6 Proceso de elaboración de plantilla para corte diagonal. Este método emplea conceptos de dibujo técnico

4.2.2 Cortes cóncavos y convexos

Son cortes curvos realizados a las puntas del perfil. Dependiendo de la forma del contacto entre perfiles en un nodo, los cortes curvos adoptan formas cóncavas o convexas. La mayor diferencia entre un corte cóncavo y convexo está en su forma. El corte cóncavo se curva hacia dentro mientras que el convexo se curva hacia fuera.

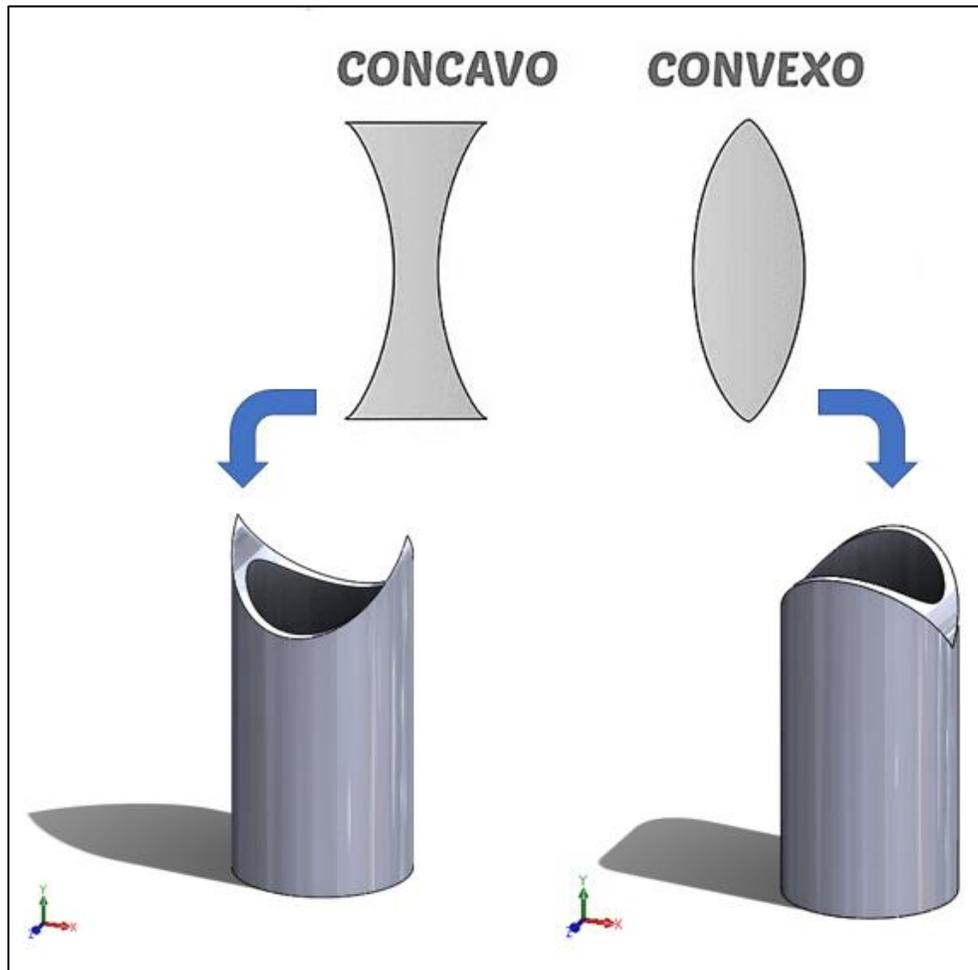


Figura 4.7 Geometría cóncava y convexa

A continuación, se muestra el proceso para la creación de las plantillas para este tipo de cortes. Es un proceso similar al de los cortes en diagonal, con la diferencia de que este considera una curvatura además del ángulo formado por los perfiles.

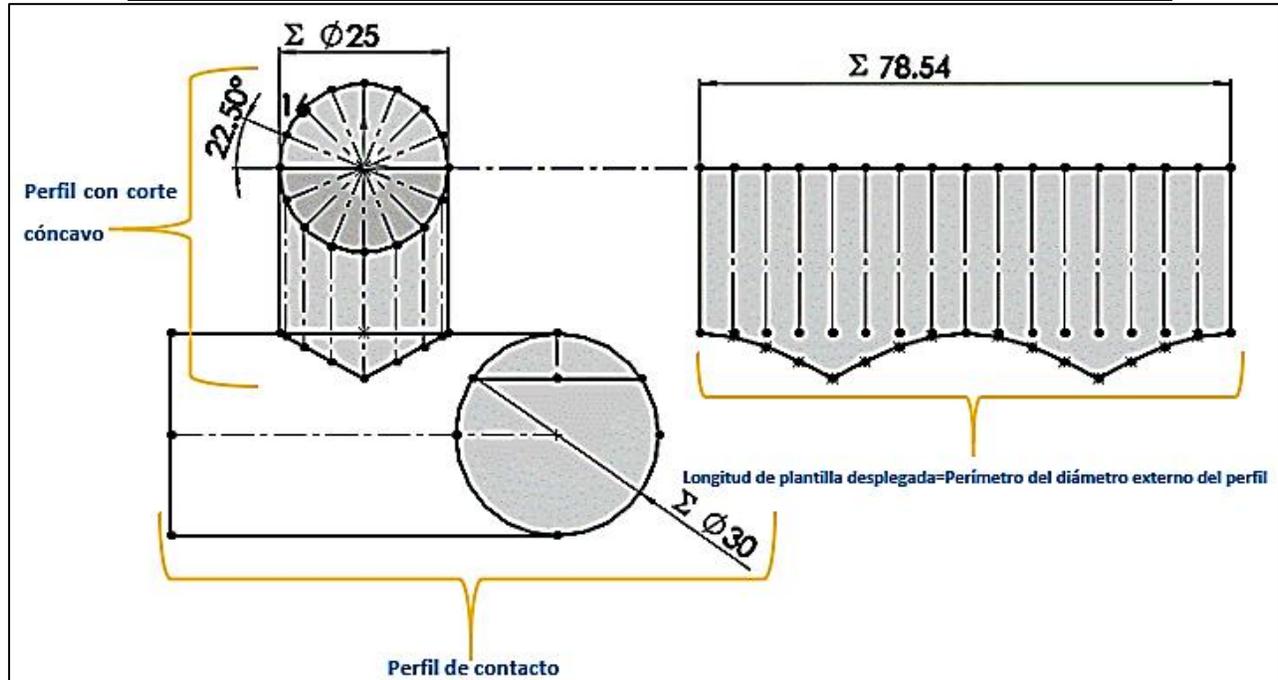


Figura 4.8 Proceso de elaboración de plantilla para corte cóncavo

Los parámetros para la elaboración de la plantilla mostrada anteriormente son los siguientes:

Parámetro	Valor en la plantilla	Observaciones
Diámetro del perfil con corte cóncavo	25 mm	Determina la longitud de plantilla desplegada.
Diámetro del perfil de contacto	30 mm	No puede ser menor al diámetro del perfil con corte cóncavo.
Número de divisiones polares del perfil con corte cóncavo (Valor de la separación angular entre las divisiones)	16 (22.5°)	Determinan la resolución del contorno de corte. A mayor número de divisiones, la plantilla queda mejor definida.
Ángulo formado por los perfiles	90°	Para esta plantilla el valor no cambia Ya que la plantilla es para uniones rectas.

Tabla 4.2 Parámetros y valores insertados en la plantilla de corte

Para perfiles unidos en ángulos diferentes a 90°, la plantilla se obtiene de forma similar:

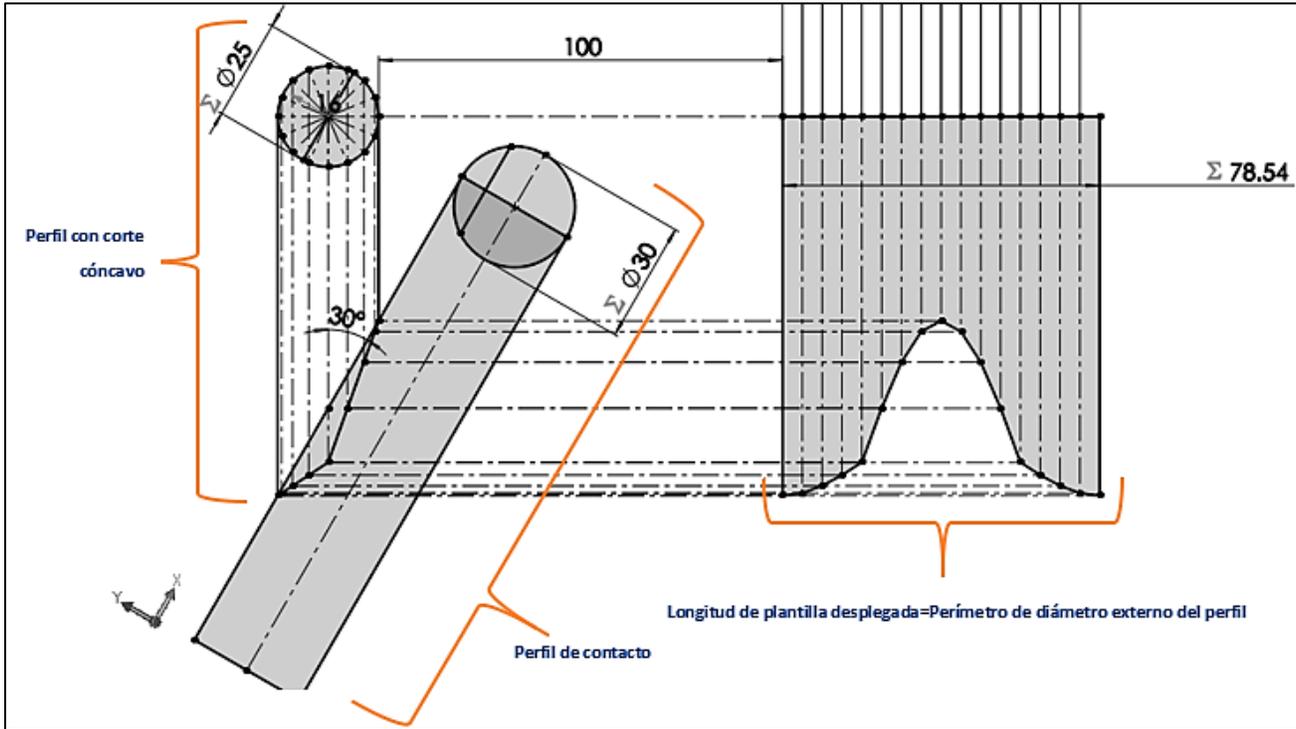


Figura 4.9 Proceso de elaboración de plantilla para corte cóncavo (boca de pescado) para perfiles que forman un ángulo

Las plantillas de corte tienen la función de mostrar el contorno del trazo para obtener los diferentes tipos de corte. Esto se logra envolviendo al perfil con la plantilla en el extremo correspondiente al corte que se quiere lograr.

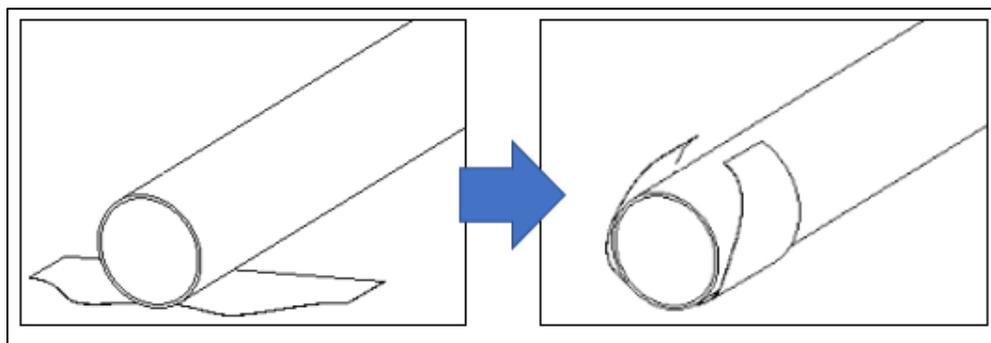


Figura 4.10 de plantilla para marcar el contorno de corte en perfil tubular

A continuación, se muestran imágenes del proceso de corte empleando las plantillas.

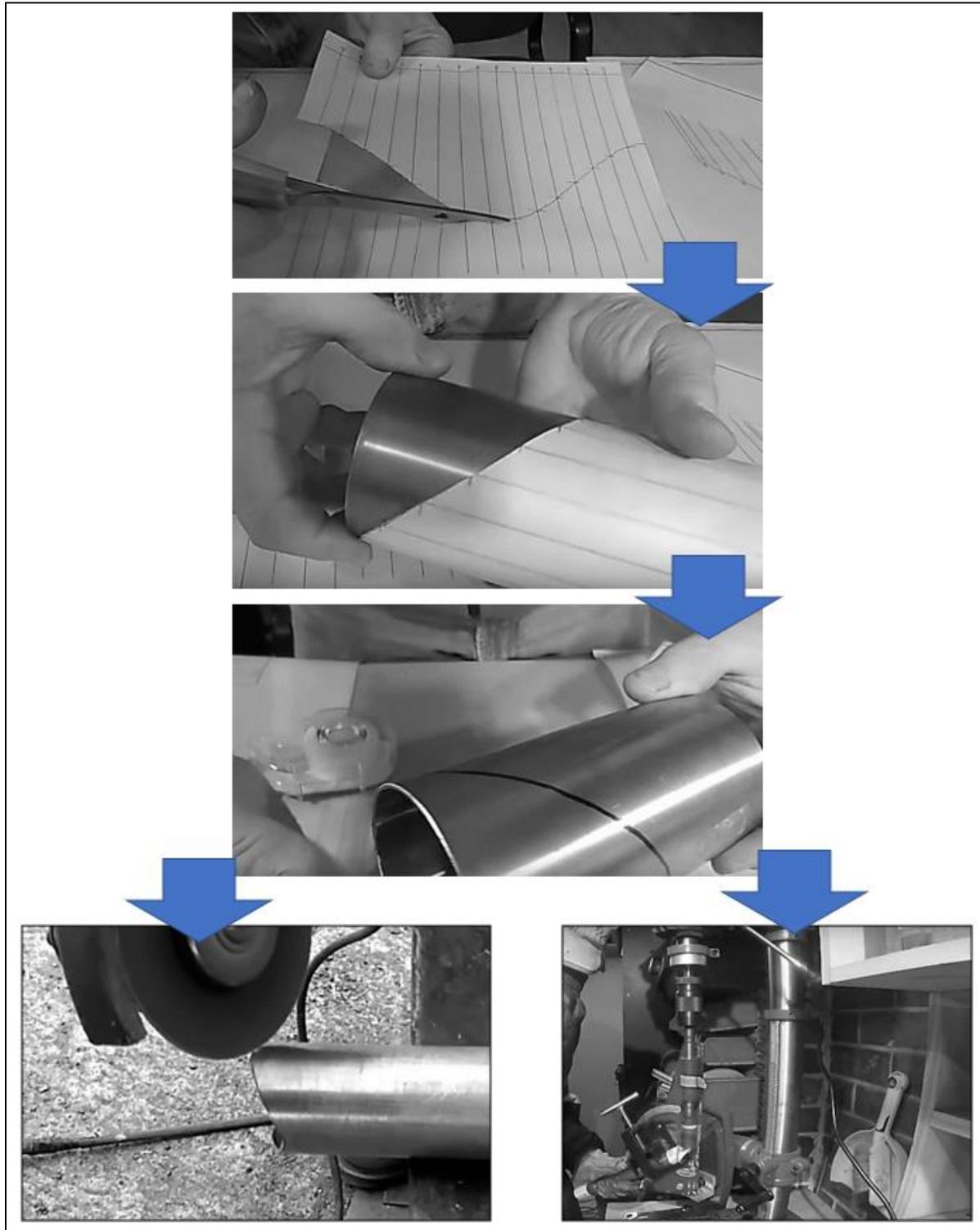


Figura 4.11 Proceso de corte de perfiles circulares



4.3 El proceso de corte de perfiles estructurales

Para el caso del chasis tubular se pueden emplear plantillas de corte. Pero debido a la cantidad de tubos que se llegan a unir en un nodo, esta tarea tiende a ser más compleja. Esto debido a que las plantillas mostradas y comúnmente elaboradas para esto, solo consideran la unión de dos miembros estructurales en un solo plano. En el chasis tubular aparte de tener una cantidad mayor de perfiles, también no todos coinciden en el mismo plano.

Para poder resolver esto, se planteó la idea de aprovechar al modelo digital en 3D obtenido del prototipo desarrollado, mediante el uso de dos módulos de diseño con los que cuenta el software CAD: Superficies (surfacing) y chapa metálica (sheet metal).

Módulo	Características	Operaciones que se pueden realizar
<p>Superficies <i>(Surfacing)</i></p> <p>[17]</p>	<p>Genera un tipo de geometría que puede utilizarse para crear operaciones sólidas. Las herramientas de superficie están disponibles en la barra de herramientas Superficies.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Seleccionar aristas y vértices de superficies y utilizarlas como una curva guía y trayecto de barrido.</i> • <i>Crear una operación sólida o de corte agregando espesor a la superficie.</i> • <i>Extruir una operación sólida o de corte con la condición final Hasta la superficie o Equidistante de la superficie.</i> • <i>Crear una operación sólida dando espesor a las superficies que se han cosido para formar un volumen cerrado.</i> • <i>Reemplazar una cara con una superficie.</i>
<p>Chapa metálica <i>(Sheet metal)</i></p> <p>[7]</p>	<p>Crea diseños de piezas de lámina y agiliza el proceso de diseño. Al crear una pieza de chapa metálica, se crea automáticamente una chapa desplegada <u>la cual servirá como plantilla para corte de los perfiles tubulares.</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Añadir detalles de soldadura. • Con el comando pieza simétrica generar una pieza nueva a través de la creación de una simetría de una pieza de chapa metálica. • Croquizar una elipse y crear una pieza con pliegues elípticos. • Exportar piezas de chapa metálica a archivos DXF o DWG. • Realizar cortes a través de pliegues.

Tabla 4.3 Características de los módulos de superficie y chapa metálica

4.3.1 Generación de las plantillas para corte a partir del modelo digital

El siguiente esquema muestra los pasos para el desarrollo de las plantillas de corte:



Figura 4.12 Proceso para la creación de la plantilla de corte para cada tubo (perfil tubular)

Paso 1. Extracción de la información: Consiste en abrir el modelo digital y guardar cada miembro estructural como una pieza apartada(única) en un archivo diferente de la siguiente manera:

1. Abrir el menú de la opción **lista de cortes**
2. Seleccionar la opción **guardar sólidos**
3. Seleccionar todos los sólidos resultantes en una o varias operaciones
4. Asignar un nombre a cada sólido seleccionado
5. Crear un enlace entre los sólidos a guardar y el modelo digital, habilitando las opciones:
 - *Propagar propiedades visuales*
 - *Copiar propiedades de lista de cortes en piezas nuevas*
 - *De forma opcional se puede optar por utilizar una plantilla o formato de pieza alternativa*

La siguiente figura muestra la ventana en la que se realizan cada uno de estos pasos.

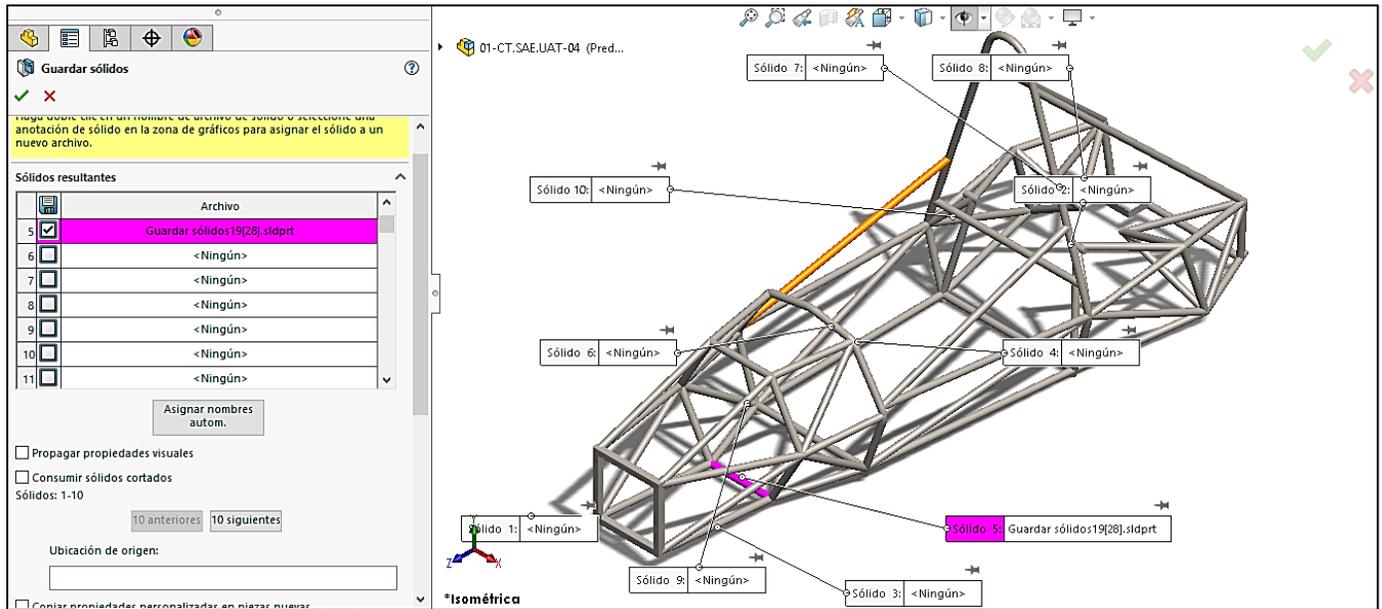


Figura 4.13 Proceso de extracción de información

Una vez nombrados todos los perfiles y configurados con las características requeridas, se procede a aceptar los cambios y posteriormente se podrán abrir en su archivo correspondiente.

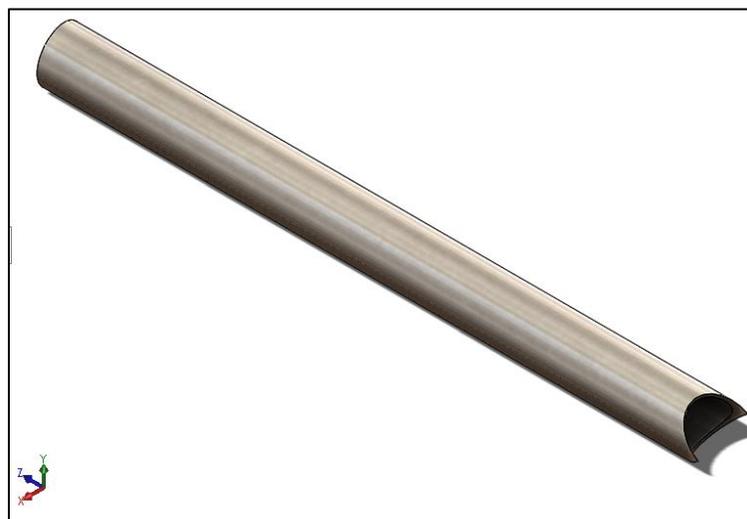


Figura 4.14 Ejemplo de perfil guardado a partir de la extracción de información

Paso 2. Generar superficie para plantilla. Consiste en abrir uno de los archivos generados. Previo al uso del módulo superficies, se debe reorientar a la pieza para crear un croquis normal al eje longitudinal. Posterior a esto, se procede a abrir el módulo de superficies realizar las siguientes acciones:

1. Seleccionar la operación **eliminar cara** y tocar todas las caras del perfil, menos la cara cilíndrica externa
2. Seleccionar la operación **Recortar superficie**, utilizar el croquis generado previamente como herramienta de recortar, habilitar la opción conservar selecciones y tocar la superficie generada.
3. Seleccionar la operación **Extender superficie** y tocar una de las aristas generadas por el corte anterior. Se recomienda que la arista extendida sea lo más pequeña posible (el valor de la distancia dada para cada uno de los perfiles fue de 0.05 mm).

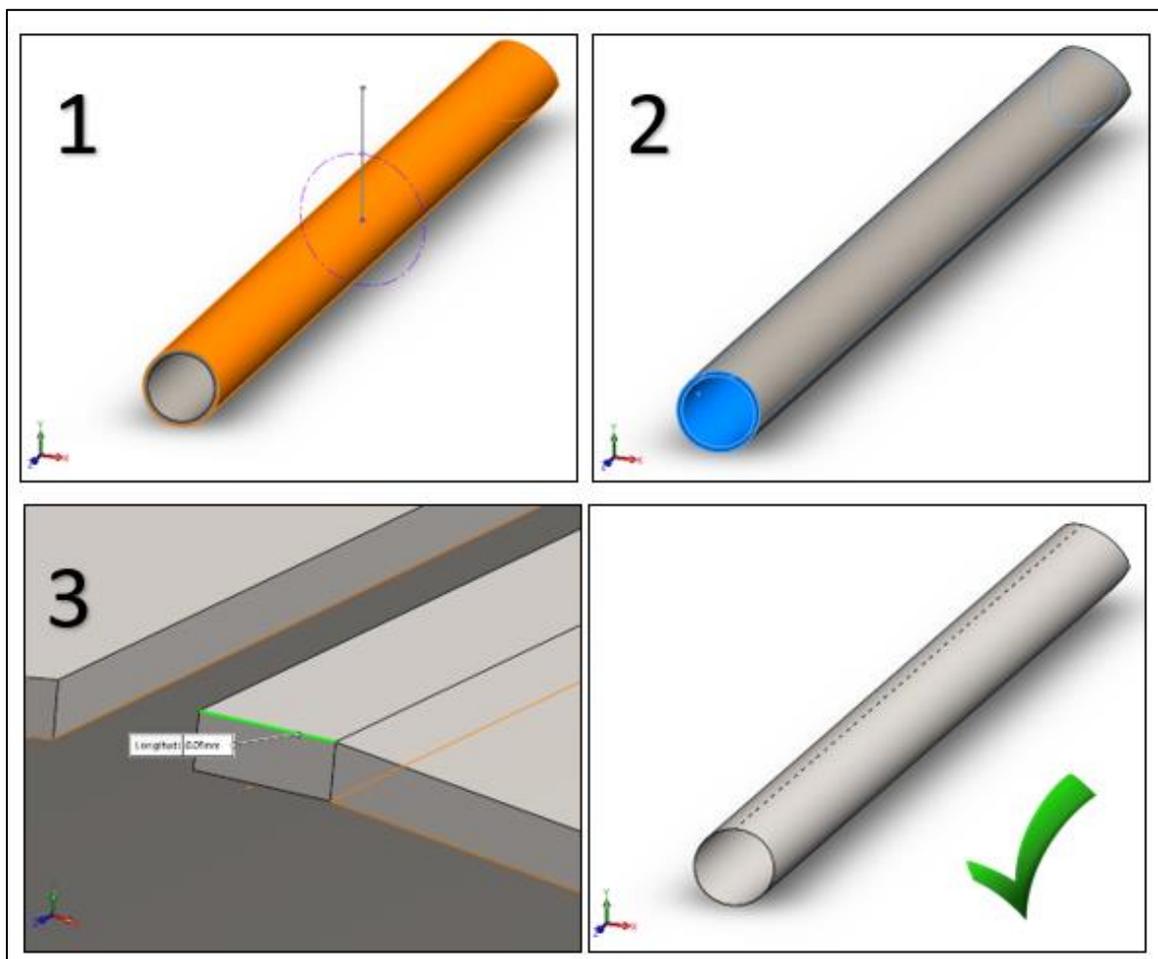


Figura 4.15 Pasos para la generación de la superficie de la plantilla

Paso 3. Generar plantilla de chapa metálica. Consiste en convertir la superficie generada nuevamente en un sólido que se pueda desplegar y tomar la forma de una plantilla de corte. Las acciones por realizar en este módulo son las siguientes:

1. Seleccionar el comando **convertir a chapa metálica**,
2. Dentro del menú del comando, dar un espesor a la superficie, el cual fue para todos los perfiles de un valor de 0.022 mm con una dirección hacia afuera de la circunferencia y un radio que en automático se define dependiendo el diámetro del miembro estructural.
3. Dentro del mismo comando seleccionar dos caras: la primera debiendo ser la extensión plana como parámetro de chapa metálica y la segunda la superficie cilíndrica como pliegue de arista.
4. Teniendo ya el sólido de chapa metálica se puede seleccionar el comando desplegar para ver la plantilla generada. Figura 4.18.

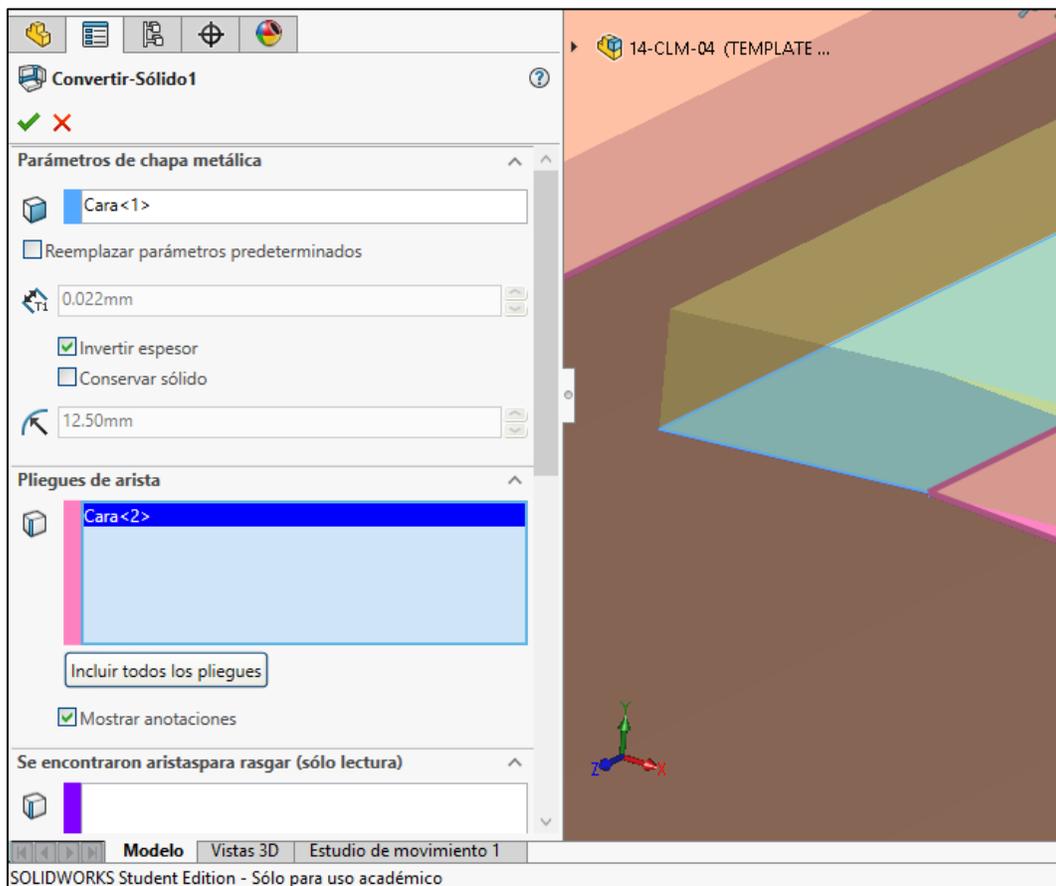


Figura 4.16 Conversión a chapa metálica de la superficie generada en el paso anterior

El valor del espesor se definió para poder dejar las opciones de parámetros de chapa metálica que se deben considerar para los pliegues. Estos parámetros incluyen el factor K y el tipo de desahogo. Esto con la finalidad de que la longitud de la plantilla sea igual al perímetro de la circunferencia externa del perfil.

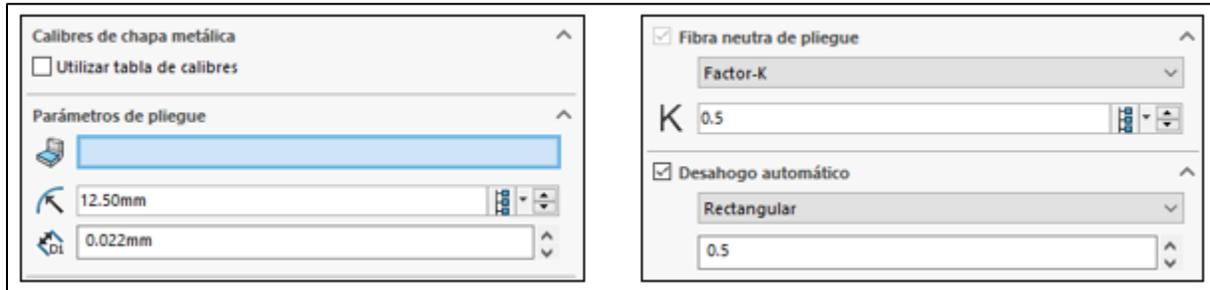


Figura 4.17 Parámetros de chapa metálica

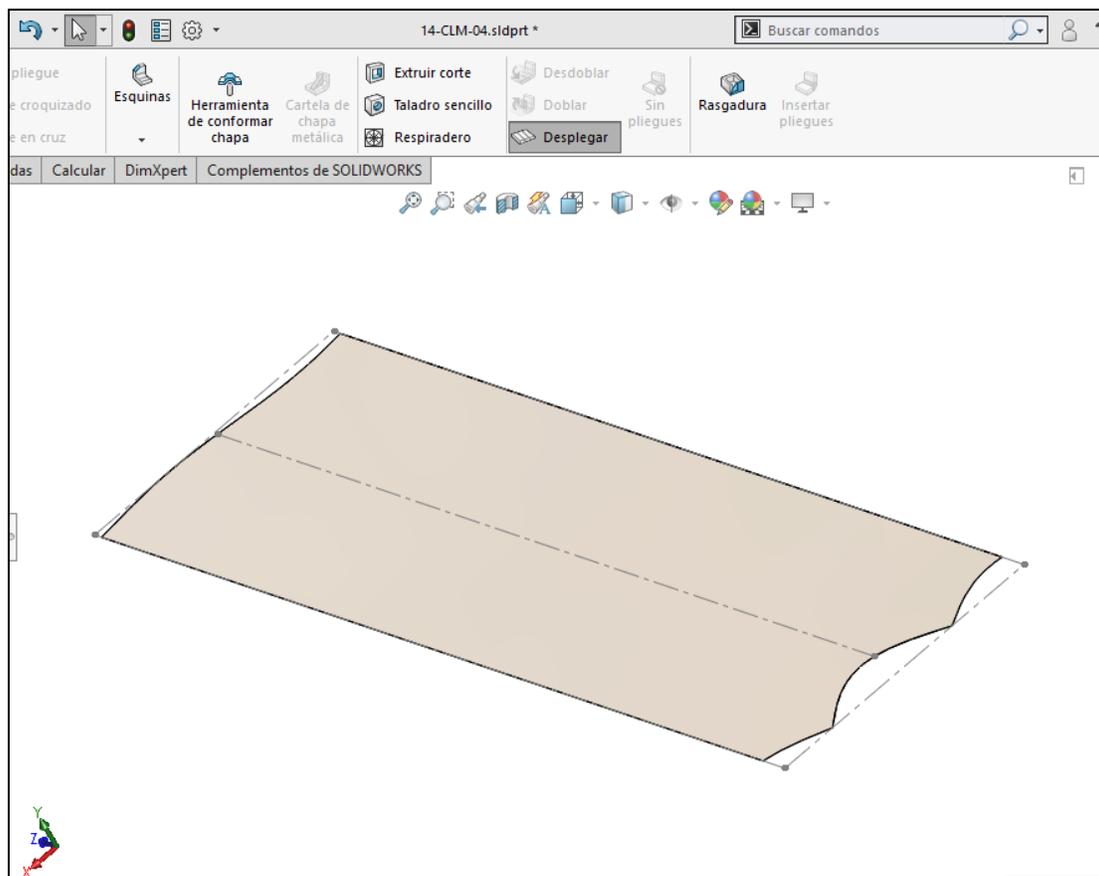


Figura 4.18 Plantilla desplegada. Esta es la plantilla de corte que se obtiene mediante el método propuesto

Paso 4. Elaborar dibujos (planos para manufactura) y plantillas para impresión. Finalmente se procede a realizar los dibujos con las indicaciones necesarias para poder realizar los cortes en los extremos del perfil. Los dibujos incluso pueden indicar la longitud a la que se debe cortar el miembro estructural.

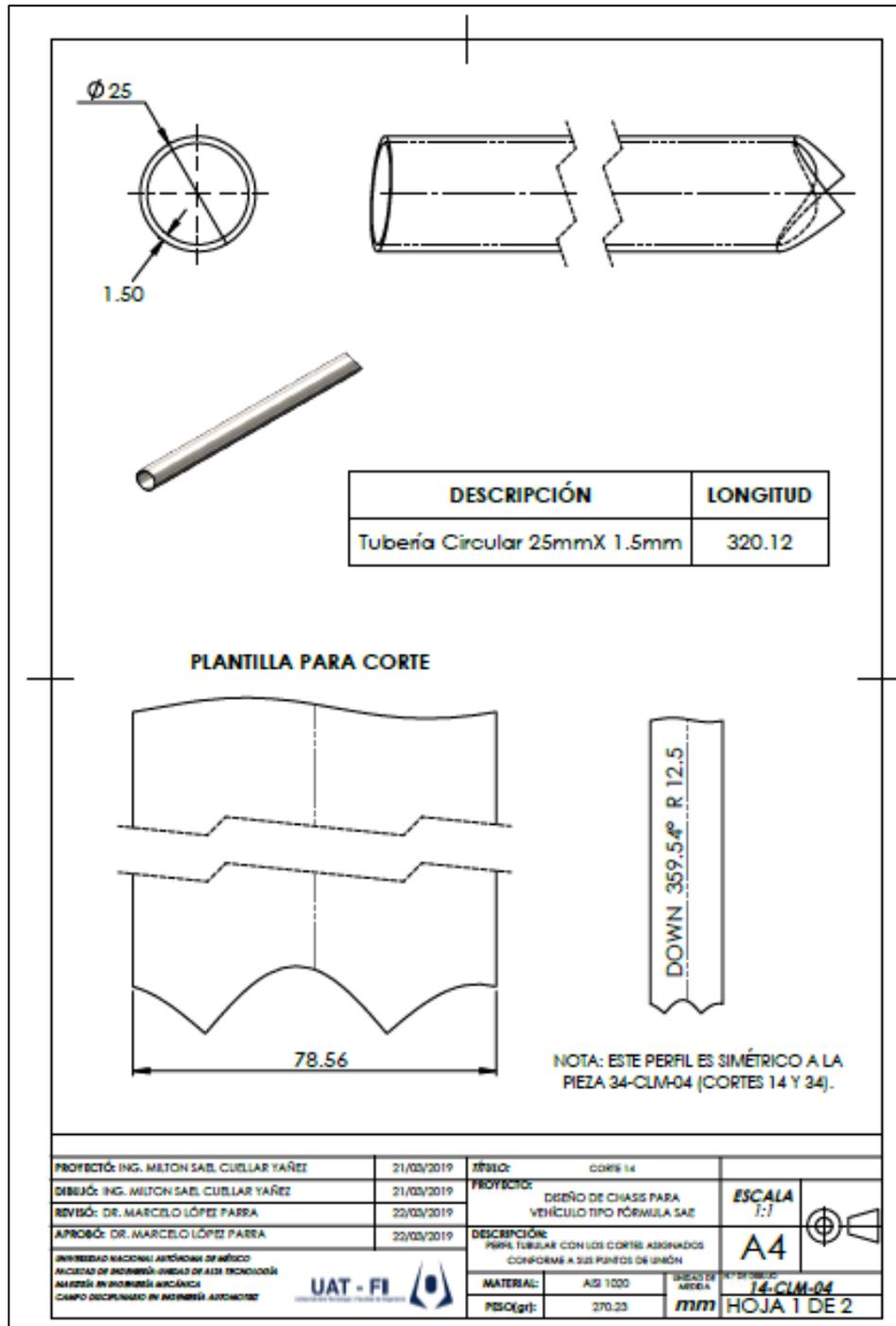


Figura 4.19 Ejemplo de plano de un perfil y su plantilla de corte



El siguiente dibujo muestra solo la plantilla de chapa metálica desplegada, la cual se debe imprimir en escala 1:1 y con las dimensiones reales para que se pueda emplear para marcar el trazo del corte.

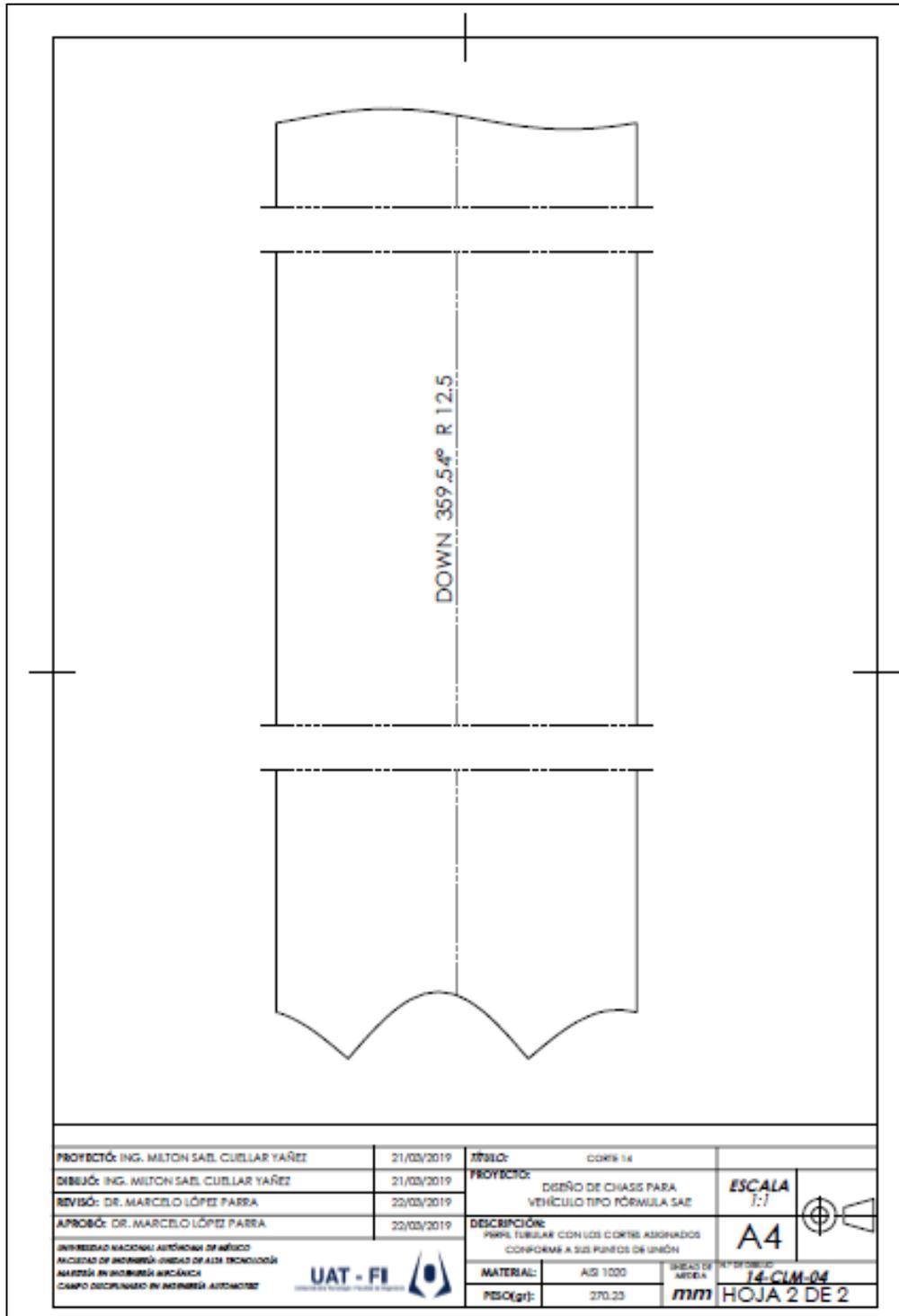


Figura 4.20 Ejemplo de plantilla de corte para un perfil tubular del chasis

4.4 El proceso de unión de perfiles estructurales

La siguiente tarea dentro de la fabricación del chasis, es la de ensamblar o unir a los perfiles previamente cortados, para formar la estructura. Actualmente se pueden emplear diferentes herramientas para poder posicionar y mantener fijos a los tubos. Los estructuristas suelen usar desde prensas de banco hasta mesas para soldar, las cuales cuentan con mecanismos para sujetar cada perfil.

El uso de prensas de banco suele ser la manera más tardada para ensamblar miembros estructurales, ya que en ocasiones no se cuentan con la cantidad suficiente de prensas, por lo que se deben ir colocando y quitando en repetidas ocasiones para cada unión o segmento de la estructura. Además, los perfiles al no estar colocados al mismo tiempo, no se puede observar los posibles descuadres que se pudieran generar durante el proceso de soldadura. La mesa para soldar permite solucionar los problemas que se pueden tener con el uso de prensas. Pero tiende a ser más costosa. Si se tiene la certeza de que se fabricarán varias estructuras puede ser la opción más viable y rentable. Para este proyecto se planteó el diseño de una plataforma que permita mantener unidos y en su posición a los perfiles.

4.4.1 Generación de las plantillas para ensamble a partir del modelo digital

La plataforma está conformada por plantillas de MDF (fibra de densidad media) unidas a presión:

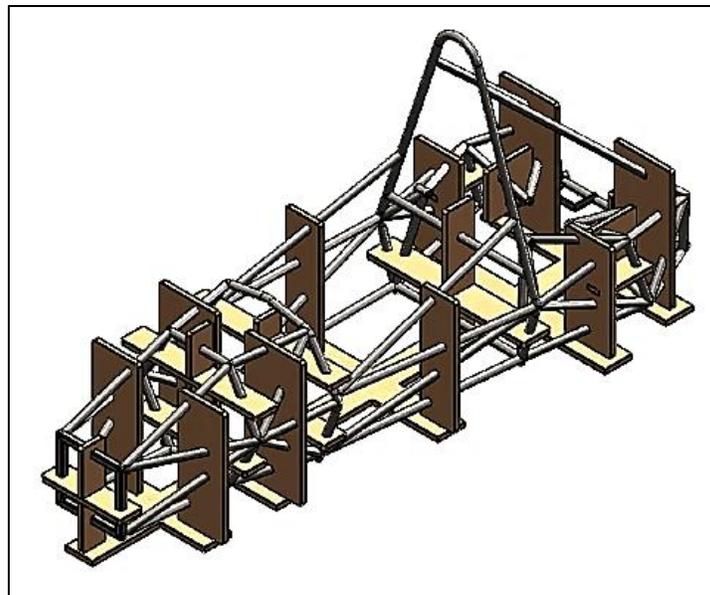


Figura 4.21 Idea inicial para la fijación de tubos para la labor de ensamble con soldadura

Para poder realizar esta plataforma se desarrolló un ensamble empleando el modelo digital de la estructura del prototipo desarrollado. Dentro del ensamble se modeló cada una de las piezas de la plataforma en la posición requerida para poder sostener a cada perfil. Esto último generó interferencias entre los perfiles y las plantillas de la plataforma. La idea es aprovechar dichas intersecciones para utilizar un comando que permita eliminar la masa de alguno de los elementos que se interceptan, en este caso, la de cada plantilla de MDF.

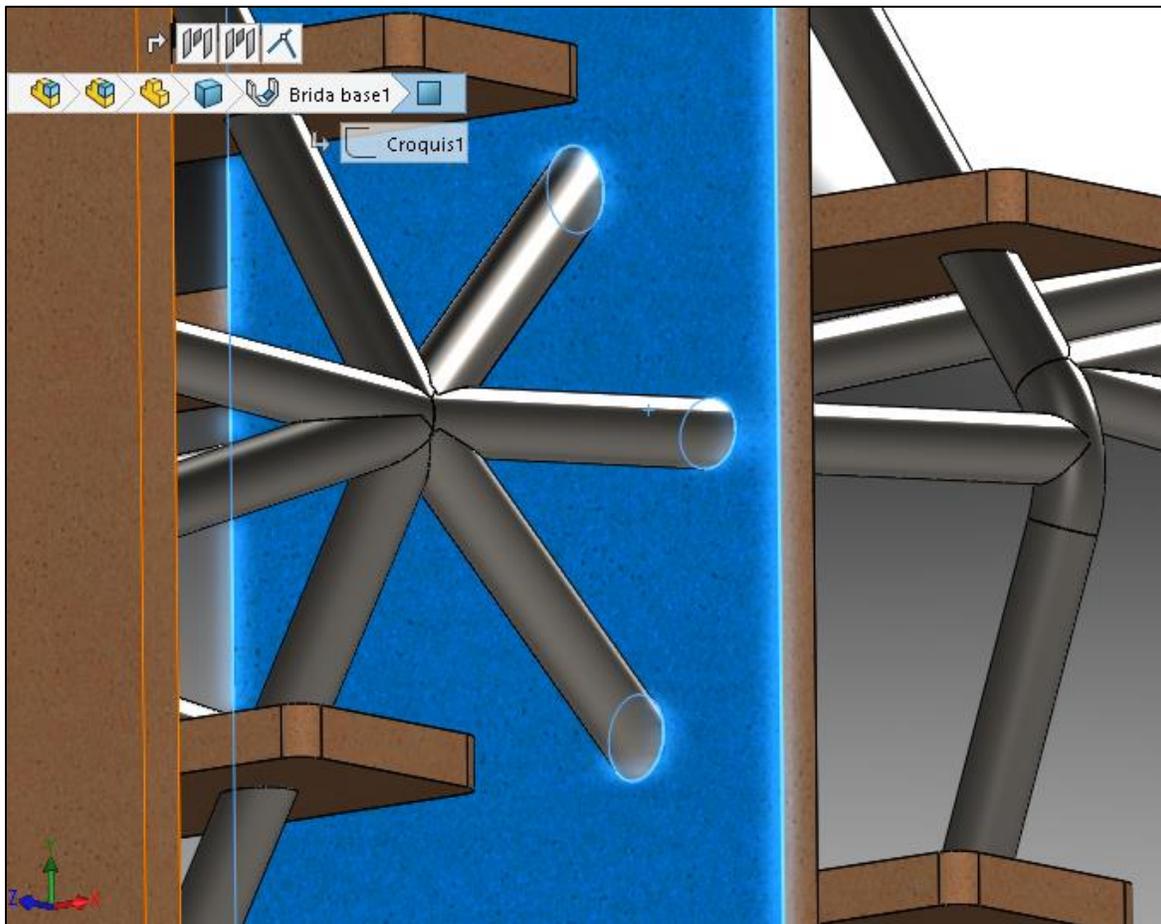


Figura 4.22 Modelado de plantillas de a partir de la estructura. Para poder hacer las perforaciones se empleó el comando operación cavidad

El comando cavidad fue eliminando la masa sobrante de cada plantilla de MDF dejando orificios en su mayoría circulares, de los cuales incluso se podía observar que varios eran orificios en dirección diagonal.

Debido a que la fabricación de las plantillas se contempló realizarse con el proceso de corte con láser, esto puede ser un problema ya que este tipo de cortadoras realiza trazos en dos dimensiones en su mayoría.

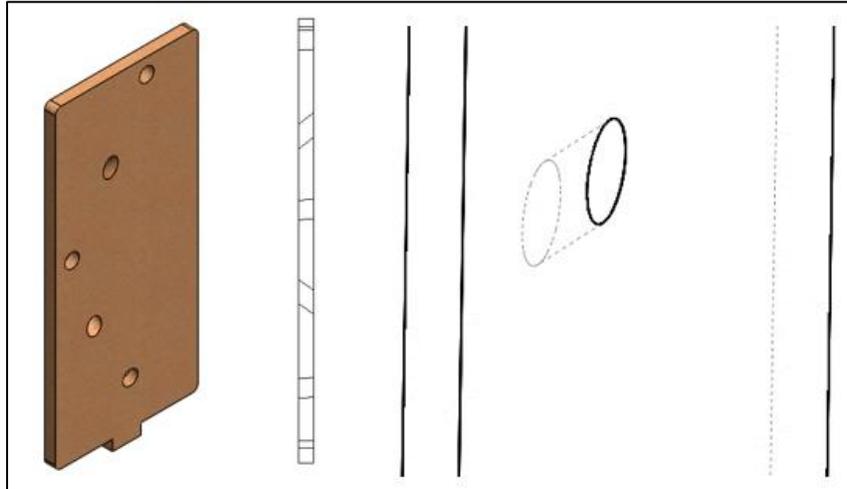


Figura 4.23 Ejemplo de plantilla obtenida.

Para solucionar esto, se planteó una segunda propuesta más esbelta y con la ventaja de poder fabricar las plantillas con cortes en dos dimensiones:

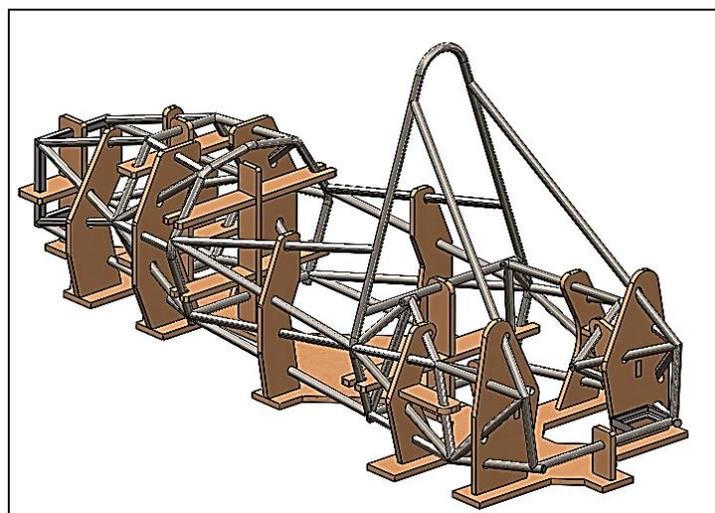


Figura 4.24 Propuesta final de plataforma de plantillas para sujeción y fijación de perfiles

En esta segunda propuesta, se reemplazan a los orificios por ranuras rectas que permiten el paso de cada perfil y mantienen un contacto de línea para mantenerlos posicionados durante el ensamble.

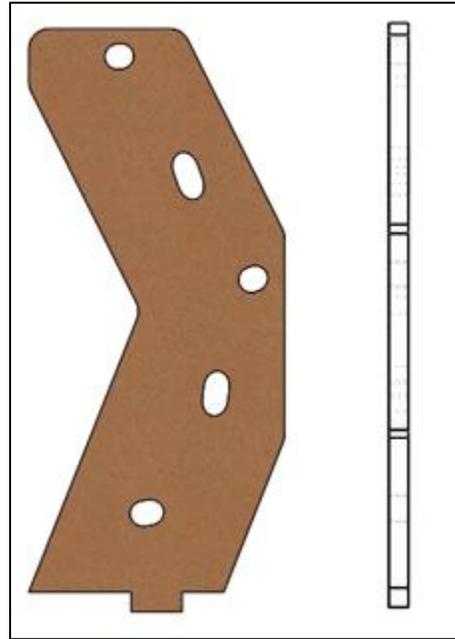


Figura 4.25 Plantilla con ranuras para sujeción y fijación de tubos

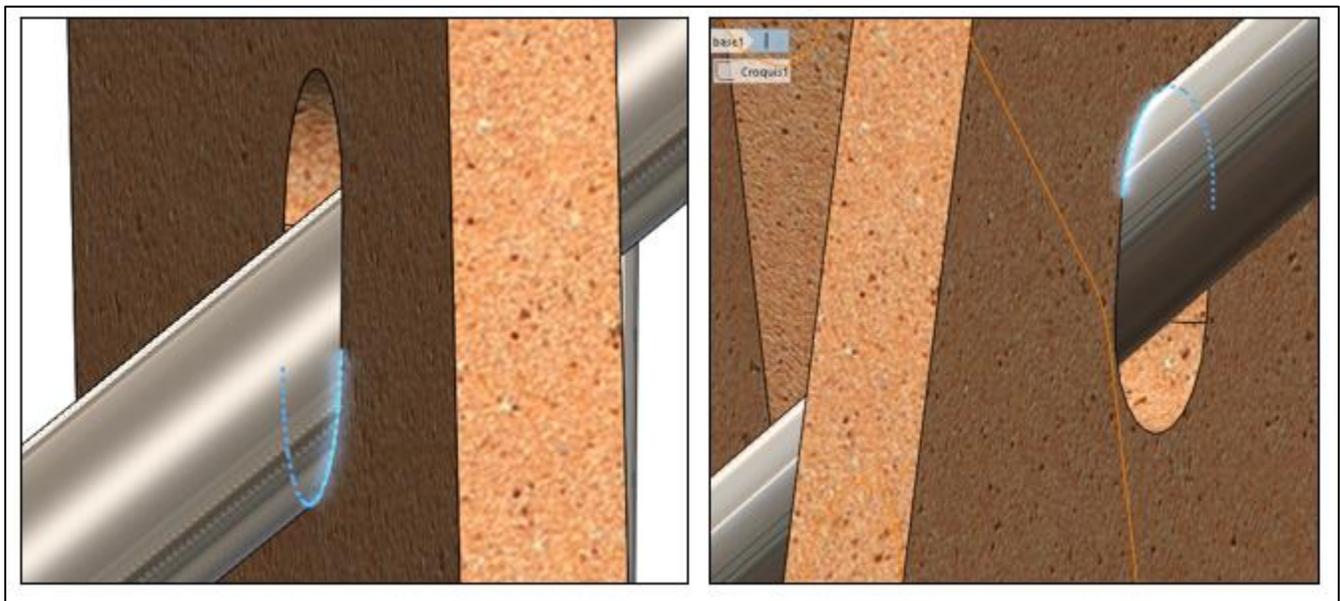


Figura 4.26 Contacto de línea entre un perfil tubular y la plantilla de fijación que lo sostiene

Para poder fabricar cada una de las plantillas se generó un archivo con extensión DXF (drawing exchange format) empleando el programa CAD. Esto con la finalidad de poder generar los recorridos del láser para la obtención de cada pieza.

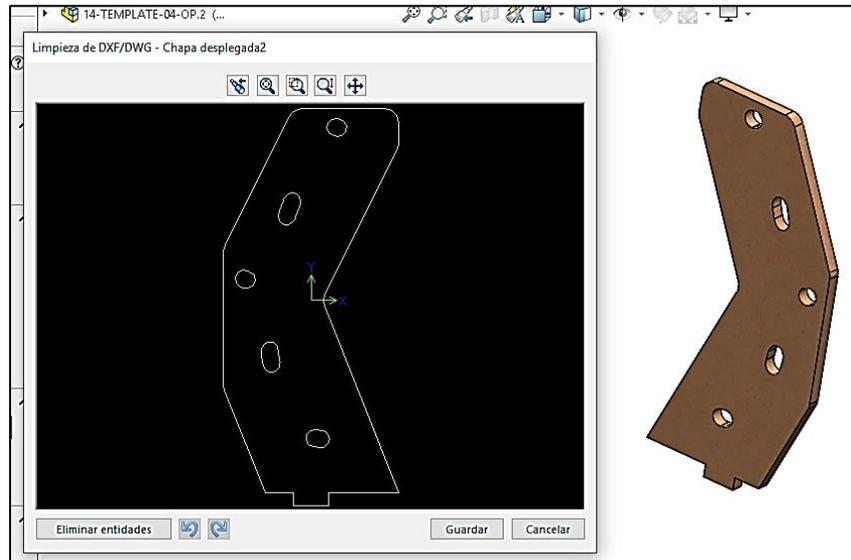


Figura 4.27 Generación de DXF de una plantilla para sujeción

Finalmente se tomó en cuenta el Kerf (ancho de corte) para conocer las variaciones y/o tolerancias a considerar para el corte de cada plantilla. Esto es importante porque cada proceso de corte tiene un espesor de corte que en ocasiones puede producir variaciones en las medidas finales del trabajo o la pieza realizada.

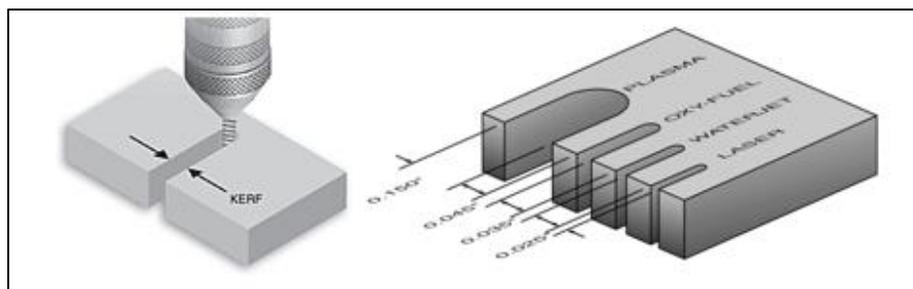


Figura 4.28 Ancho de corte dependiendo el tipo de proceso empleado. En el caso del láser, se tiene el valor más bajo de Kerf lo que significa que la tolerancia o variación que se puede tener en las medidas es de 0.025" (0.635mm) [4]

4.4.2 Acerca del uso de las plantillas

Las plantillas de MDF empleadas para el ensamble de los miembros estructurales se colocan a presión. Las siguientes imágenes muestran una captura del despiece en el que se pueden observar las pestañas que se han colocado en las plantillas verticales para su fijación en la base al igual que las ranuras de los postes centrales con la finalidad de armar las cruces. Las plantillas no están contempladas para reutilizarse en otra estructura. Por lo que se tendrían que trozar al finalizar la labor de soldado.



Figura 4.29 Plantillas para sujeción de los miembros estructurales frontales del chasis

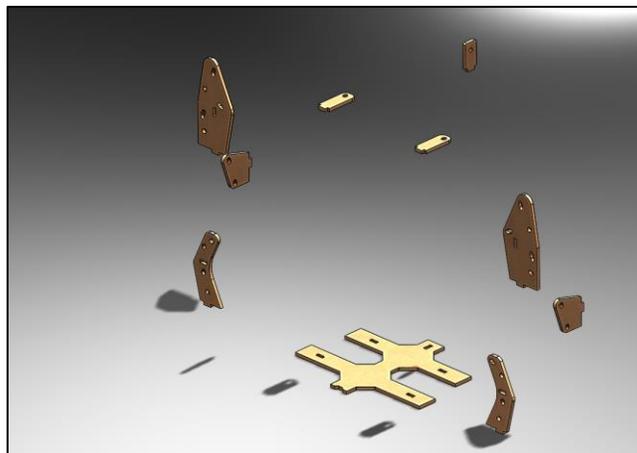


Figura 4.30 Plantillas para sujeción de los miembros estructurales posteriores del chasis

5 RESULTADOS Y CONCLUSIONES





5.1 Requerimientos cumplidos

Para comenzar con el análisis y la entrega de resultados se elaboró una tabla de los requerimientos establecidos por F-SAE y el estado de su cumplimiento en el proyecto desarrollado.

Regla	Aspecto que aborda	Estado del cumplimiento
T3.3	Definiciones	✓ Solucionado en el concepto y modelado en CAD
T3.4.1	Requisitos de material	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Solucionado empleando acero AISI 1020. Acero de bajo contenido de carbono (0.17-0.23 %), de fácil mecanizado y buena soldabilidad. ✓ Solucionado empleando dimensiones mínimas del material y creando una biblioteca de estas en la plataforma para posibles cambios o aplicaciones futuras.
T3.10.3	Requisitos generales para el arco frontal y principal	✓ Solucionado en el concepto y modelado en CAD
T3.11	Acerca del arco principal	✓ Solucionado en el concepto y modelado en CAD
T3.12	Acerca del arco frontal	✓ Solucionado en el concepto y modelado en CAD
T3.13	Acerca de los soportes del arco principal	✓ Solucionado en el concepto y modelado en CAD
T3.14	Acerca de los soportes del arco frontal	✓ Solucionado en el concepto y modelado en CAD
T3.18	Acerca del tabique frontal	✓ Solucionado en el concepto y modelado en CAD
T3.19	Acerca de los soportes del tabique frontal	✓ Solucionado en el concepto y modelado en CAD
T3.24	Acerca de la zona de impacto lateral	✓ Solucionado en el concepto y modelado en CAD
T4.1	Apertura de la cabina	✓ Solucionado en el concepto y modelado en CAD
<p><i>El modelado CAD cuenta con acotación inteligente en cada uno de los croquis empleados en el recorrido de los perfiles mediante el módulo de piezas soldadas para poder usar la biblioteca de tipo de perfil y dimensiones mínimas conforme la norma. El modelo puede ser modificado en alguna dimensión y aun así cumplir con los requerimientos.</i></p>		

Tabla 5.1 Requerimientos cumplidos. Tabla que muestra el primer paso a cumplir dentro de la tarea de diseño.



5.2 Resultados obtenidos del modelado CAD

El modelo digital del prototipo desarrollado facilitó la obtención de información, la cual será destinada a diferentes áreas para apoyar en sus procesos y en la toma de decisiones.

Resultado del modelo	Área destinada	Producto
<p>Resultados de análisis de esfuerzos mediante elementos finitos</p> <p>Deformación permisible=25mm ; Limite elástico del material: 351.57 MPa</p> <p>Deformación máxima del arco principal=26.58mm, S=1145.53 MPa</p> <p>Deformación máxima del arco frontal=7.46mm, S=831.04 MPa</p> <p>Deformación máxima por impacto frontal=25.03mm, S=1121.24 MPa</p> <p>Deformación máxima por impacto lateral=99.6 mm, S=5725.93 MPa</p> <p>Resultados del cálculo de propiedades físicas</p> <p>Masa= 32.221kg</p> <p>Centro de gravedad (milímetros)</p> <p>X= 1286</p> <p>Y=1</p> <p>Z=263</p>	<p>Diseño (Departamento de Ingeniería)</p>	<p>Modelado digital del prototipo desarrollado</p>
<p>Resultados del uso de módulo de piezas soldadas</p> <p>Longitud lineal de cada perfil</p> <p>Longitud requerida por tipo de perfil</p> <p>Cantidad de material a adquirir</p> <p>Resultados del uso de Superficies y chapa metálica</p> <p>Plantillas de corte a partir del uso de superficies y chapa metálica</p> <p>Resultados del diseño de piezas desde ensamble</p> <p>Plantillas para posicionamiento y fijación de perfiles</p>		
<p>Resultados del uso de módulo de piezas soldadas</p> <p>Lista de cortes para pieza soldada</p> <p>Resultados del diseño de piezas desde ensamble</p> <p>Base para soportar la estructura previa a la labor de soldadura de cada una de las uniones o nodos.</p>	<p>Ensamble (Área de producción o fabricación)</p>	<p>-Planos de dimensiones generales del prototipo y elementos que lo conforman.</p> <p>-Planos para ensamble de la plataforma de MDF.</p>

Tabla 5.2 Resultados e información extraída/generada a partir del modelado CAD del chasis tubular

5.3 Relación de los resultados con el modelo CAD

Desde un inicio se tuvo presente la idea de modelar el prototipo de chasis buscando aprovechar los recursos que posee la plataforma CAD empleada, en cuanto herramientas, módulos y comandos disponibles, y así poder tener un modelo lo más apegado a la realidad, que además pudiera generar información para la fabricación. Por esta razón, los resultados entregados están ligados al modelado digital del prototipo, al cual se le denomina para estos casos como **pieza padre**, y todo modelo, operación e información derivada de su uso dependerá siempre de él.

A continuación, se muestra un árbol que esquematiza la relación de los resultados y el nivel en el que se encuentran dentro del proceso de generación de información

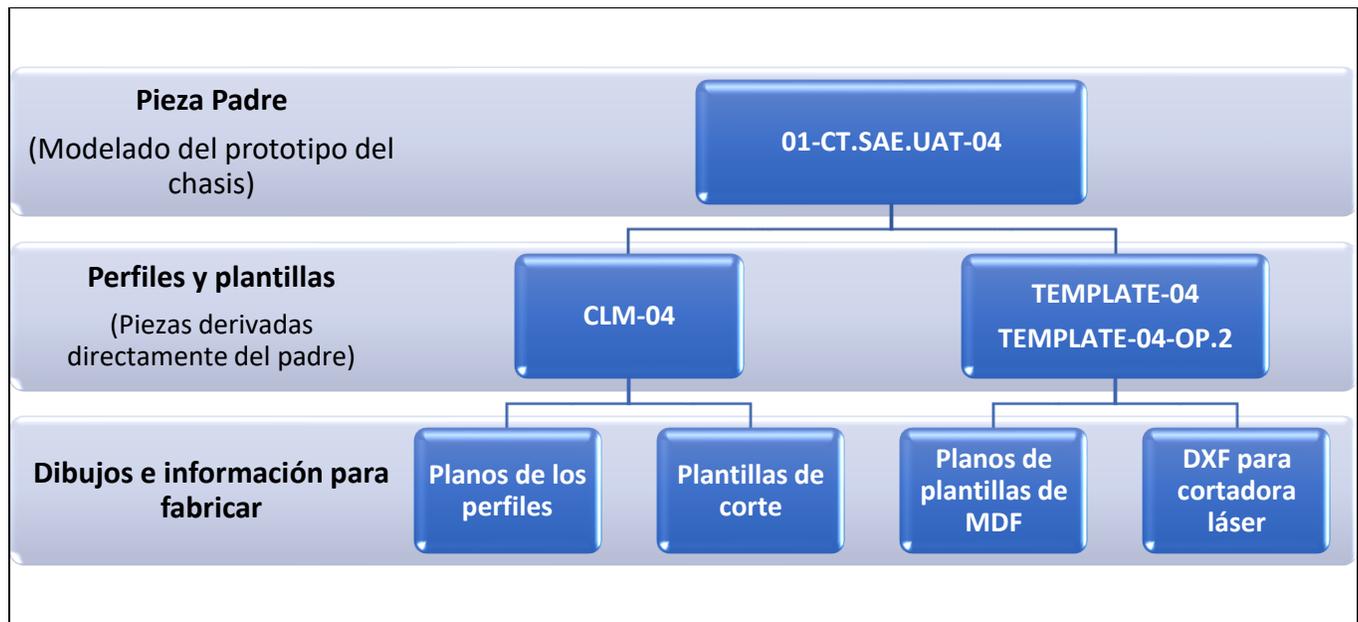


Figura 5.1 Esquema de jerarquías en la relación entre el modelo del prototipo del chasis y la información para fabricación

En cuanto a las propiedades físicas, los planos generales del chasis y los resultados de análisis de esfuerzos, estos están inmersos en la pieza padre, por lo que, de modificar al modelo, en el mismo archivo se pueden consultar estos datos, o como en el caso de los planos, estos se actualizan directamente.



5.4 Piezas, subensambles y ensambles generados a partir del modelo

Las siguientes tablas listan todos archivos de pieza, ensambles y planos generados, así como la correspondiente información que se deriva de ellos.

PIEZAS GENERADAS PARA EL PROYECTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN					
Pieza: Prototipo de chasis					
01-CT.SAE.UAT-04					
Miembros estructurales: Piezas, planos y plantilla de corte					
01-CLM-04	16-CLM-04	31-CLM-04	46-CLM-04	61-CLM-04	76-CLM-04
02-CLM-04	17-CLM-04	32-CLM-04	47-CLM-04	62-CLM-04	77-CLM-04
03-CLM-04	18-CLM-04	33-CLM-04	48-CLM-04	63-CLM-04	78-CLM-04
04-CLM-04	19-CLM-04	34-CLM-04	49-CLM-04	64-CLM-04	79-CLM-04
05-CLM-04	20-CLM-04	35-CLM-04	50-CLM-04	65-CLM-04	80-CLM-04
06-CLM-04	21-CLM-04	36-CLM-04	51-CLM-04	66-CLM-04	81-CLM-04
07-CLM-04	22-CLM-04	37-CLM-04	52-CLM-04	67-CLM-04	
08-CLM-04	23-CLM-04	38-CLM-04	53-CLM-04	68-CLM-04	
09-CLM-04	24-CLM-04	39-CLM-04	54-CLM-04	69-CLM-04	
10-CLM-04	25-CLM-04	40-CLM-04	55-CLM-04	70-CLM-04	
11-CLM-04	26-CLM-04	41-CLM-04	56-CLM-04	71-CLM-04	
12-CLM-04	27-CLM-04	42-CLM-04	57-CLM-04	72-CLM-04	
13-CLM-04	28-CLM-04	43-CLM-04	58-CLM-04	73-CLM-04	
14-CLM-04	29-CLM-04	44-CLM-04	59-CLM-04	74-CLM-04	
15-CLM-04	30-CLM-04	45-CLM-04	60-CLM-04	75-CLM-04	
Plantillas de MDF (P/fijación de perfiles): Piezas, planos y DXF					
01-TEMPLATES-04	12-TEMPLATES-04	23-TEMPLATES-04	06-TEMPLATES-04-OP.2	17-TEMPLATES-04-OP.2	
02-TEMPLATES-04	13-TEMPLATES-04	24-TEMPLATES-04	07-TEMPLATES-04-OP.2	18-TEMPLATES-04-OP.2	
03-TEMPLATES-04	14-TEMPLATES-04	25-TEMPLATES-04	08-TEMPLATES-04-OP.2	19-TEMPLATES-04-OP.2	
04-TEMPLATES-04	15-TEMPLATES-04	26-TEMPLATES-04	09-TEMPLATES-04-OP.2	20-TEMPLATES-04-OP.2	
05-TEMPLATES-04	16-TEMPLATES-04	27-TEMPLATES-04	10-TEMPLATES-04-OP.2	21-TEMPLATES-04-OP.2	
06-TEMPLATES-04	17-TEMPLATES-04		11-TEMPLATES-04-OP.2	22-TEMPLATES-04-OP.2	
07-TEMPLATES-04	18-TEMPLATES-04	01-TEMPLATES-04-OP.2	12-TEMPLATES-04-OP.2	23-TEMPLATES-04-OP.2	
08-TEMPLATES-04	19-TEMPLATES-04	02-TEMPLATES-04-OP.2	13-TEMPLATES-04-OP.2	24-TEMPLATES-04-OP.2	
09-TEMPLATES-04	20-TEMPLATES-04	03-TEMPLATES-04-OP.2	14-TEMPLATES-04-OP.2	25-TEMPLATES-04-OP.2	
10-TEMPLATES-04	21-TEMPLATES-04	04-TEMPLATES-04-OP.2	15-TEMPLATES-04-OP.2	26-TEMPLATES-04-OP.2	
11-TEMPLATES-04	22-TEMPLATES-04	05-TEMPLATES-04-OP.2	16-TEMPLATES-04-OP.2	27-TEMPLATES-04-OP.2	

Tabla 5.3 Listado de piezas generadas para el proyecto



ENSAMBLES Y SUBENSAMBLES GENERADOS PARA EL PROYECTO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN	
Subensambles: Plantillas de MDF para fijación	Ensamblados: Motor-Chasis, Motor-Plantillas
01-TEMPLATES-02	01-MOTOR_CT-01
02-TEMPLATES-02	01-TEMPLATES-01
01-TEMPLATES-02-OP.2	01-TEMPLATES-01-OP.2
02-TEMPLATES-02-OP.2	

Tabla 5.4 Listado de ensamblados y subensambles generados para el proyecto

Las piezas de las tablas mostradas anteriormente cuentan con un archivo de dibujo que contiene su plano de fabricación. Solo en el caso de los perfiles, los archivos de dibujo de las piezas de miembros estructurales cuentan con dos planos cada uno (el primero de dimensiones y el segundo de la plantilla de corte) y en el caso de la pieza del chasis, cuenta con un archivo de dibujo con tres planos, el primero de las componentes que lo conforman, el segundo de los perfiles y la lista de cortes, y finalmente un tercer plano con dimensiones generales. Para el caso de las plantillas de MDF, cuentan además del plano, con su respectivo archivo DXF. Los perfiles 03, 04, 05 y 06-CLM-04 solo cuentan con un dibujo ya que en conjunto forman al arco principal. Los perfiles 07, 08, 09, 10, 11 y 12-CLM-04 presentan el mismo caso ya que juntos forman el arco frontal. Ambos arcos son hechos de una sola pieza cada uno.

5.5 Conclusiones

Se ha cumplido con el objetivo principal de este trabajo de tesis, el autor considera que se ha reportado un método que será muy útil para las escuderías Fórmula SAE, sobre todo en la fase de fabricación del chasis. El procedimiento propuesto facilita la manufactura de un chasis escuadrado que cumple con las dimensiones especificadas en planos de fabricación. Con la entrega de la información generada para el proyecto de diseño y fabricación del chasis tubular para vehículo tipo fórmula SAE, se finaliza la elaboración de este trabajo.

Durante el desarrollo, se pudieron observar oportunidades de mejora en algunos detalles de los procesos tanto de diseño como de fabricación. Al igual se plantearon ideas que pudieran satisfacer dichas



oportunidades. La idea fundamental fue centrarse en las uniones de los perfiles tubulares que conforman la estructura ya que obtener el corte de cada tubo para su unión en su respectivo nodo es una tarea compleja. No es algo que se pueda definir indicando solo el ángulo de corte o la longitud a la que se debe trozar cada perfil, ni tampoco se puede expresar ya además de llegar a ser cóncavos los cortes, estos pueden tener múltiples curvaturas dependiendo el nodo al que se unirá el miembro estructural. La idea más factible para indicar la forma del corte es a través del uso de plantillas de corte.

Por otra parte, elaborar dichas plantillas fue una tarea que se llevó a cabo en la etapa de diseño, y de haberlas generado de la forma convencional (a través de dibujos, trazos y proyecciones) hubiese implicado una gran inversión de tiempo, sin dejar de lado que, por la complejidad del nodo, este método tendería a ser más complicado o incluso inservible ya que solo considera perfiles en un mismo plano.

Elaborar las plantillas de corte mediante el uso del software CAD y el modelo desarrollado implicó considerar desde el inicio que el objeto digital se hiciera usando los módulos destinados para el diseño correspondiente, siendo el módulo de piezas soldadas el indicado. Pero no solo eso, además se tuvo que adquirir las habilidades y conocimientos necesarios para poder manejar los comandos del módulo de manera avanzada y evitar así errores en el modelo como fue el caso de las interferencias entre tubos de un mismo nodo.

Emplear dos módulos (superficies y chapa metálica) que son en cierta forma ajenos al diseño de estructuras metálicas fue una idea creada a partir del conocimiento del manejo del software CAD utilizado. Esto es algo que ya conocen algunos diseñadores o gente interesada en la creación de plantillas, pero no se ha profundizado en el estudio de los parámetros involucrados en cada módulo.

En el proyecto no se abordó el tema de la soldadura y las características de cada cordón, pero siempre se mantuvo presente la idea de facilitar todas las labores de manufactura, y prueba de ello fue la creación de las plantillas de MDF para ayudar a mantener fijos todos los tubos al mismo tiempo para así poder realizar las tareas de unión con mayor facilidad al permitir ver al conjunto de tubos unidos previamente y así poder visualizar la existencia de posibles descuadres para su corrección antes de aplicar el proceso de soldadura.



Finalmente, el prototipo digital del chasis se desarrolló y enlazó con toda la información generada con el objetivo de que se pueda modificar y en automático se actualicen todos los elementos que dé el dependen al igual que los planos, y la información correspondiente.

5.6 Futuros trabajos

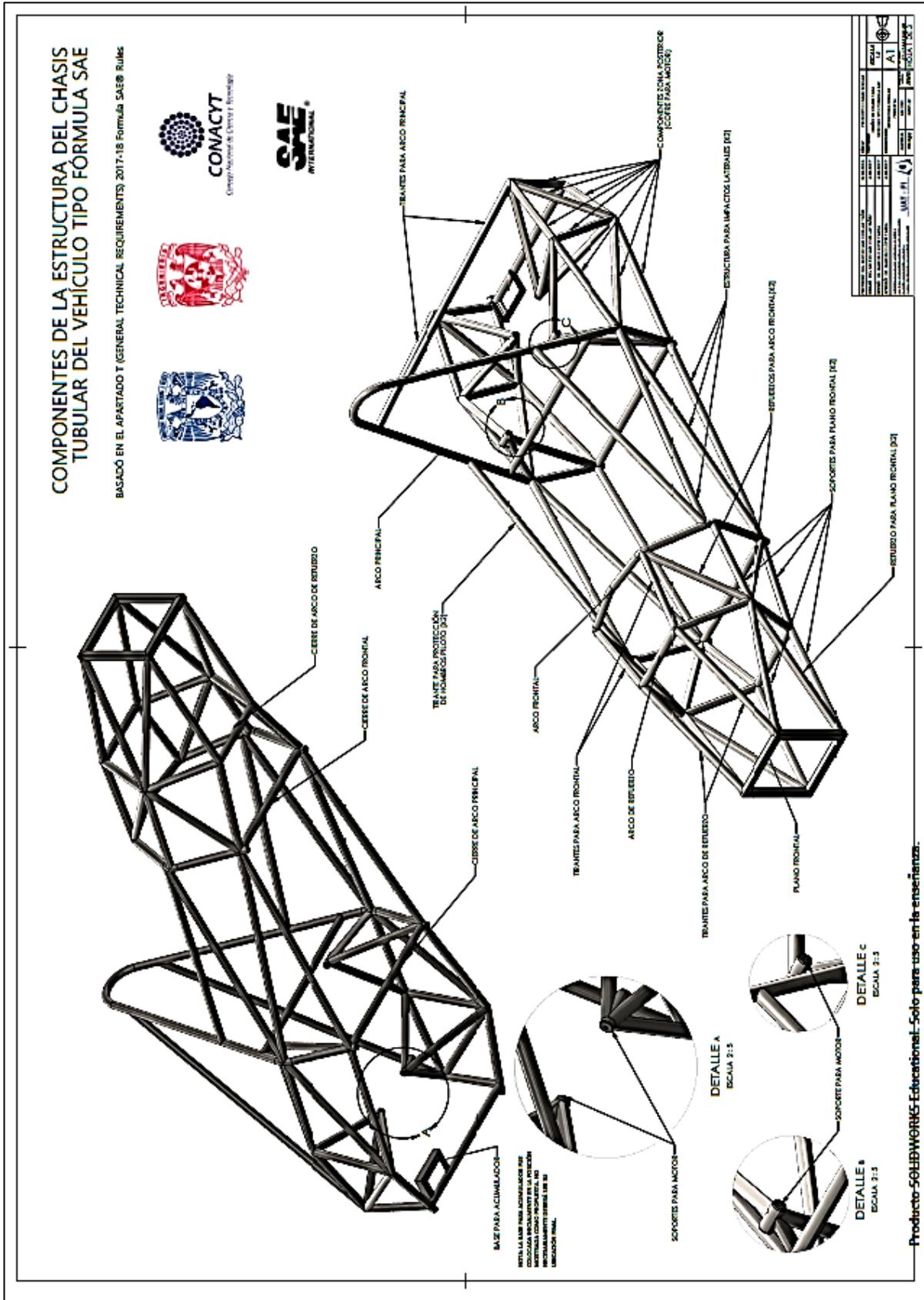
Durante el desarrollo del proyecto, surgieron diferentes ideas para poder optimizar las labores realizadas, así como facilitar aún más los procesos.

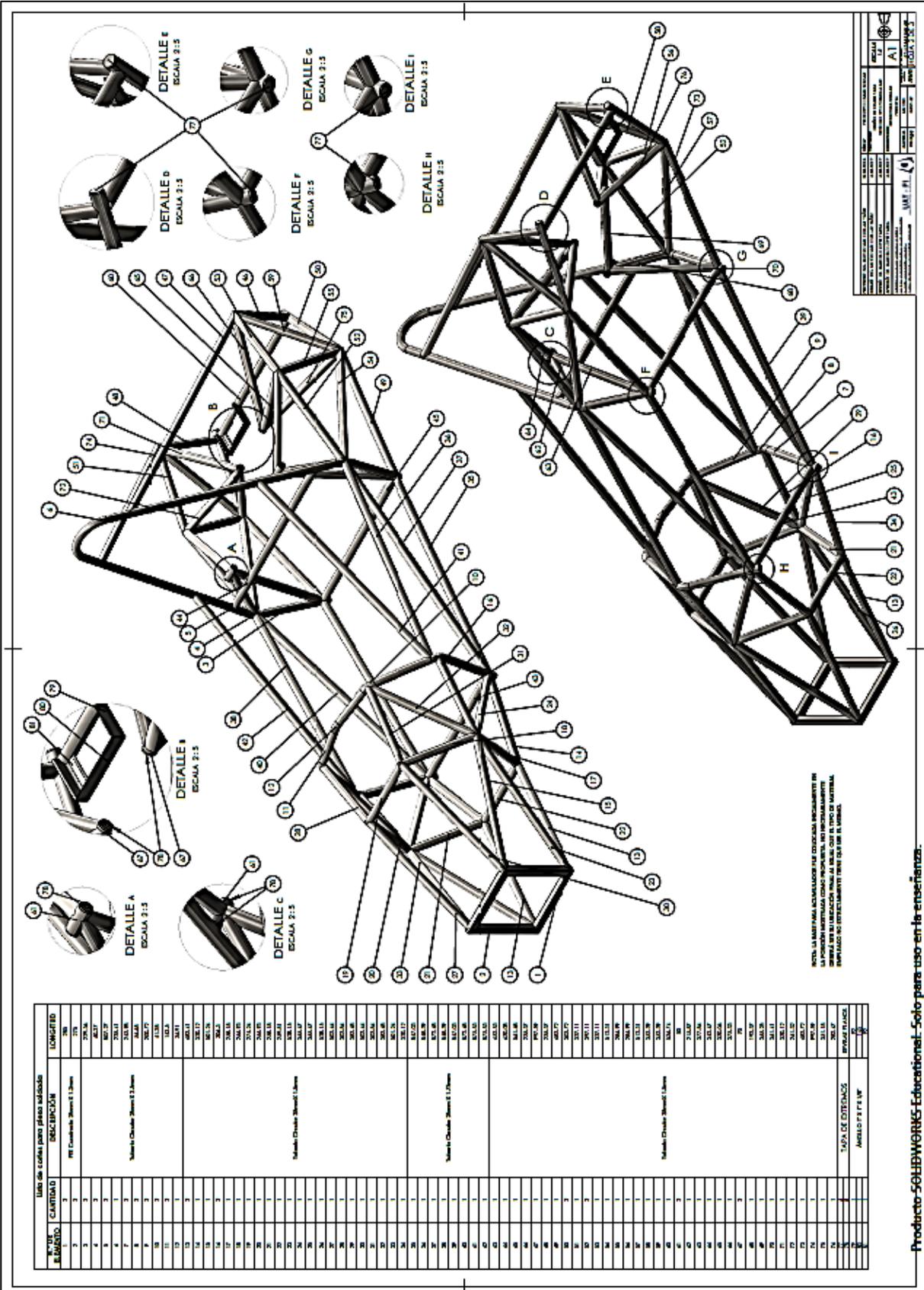
Estas ideas podrían ser el punto de partida a nuevos proyectos y conocer más acerca de las configuraciones geométricas de las uniones de un chasis tubular:

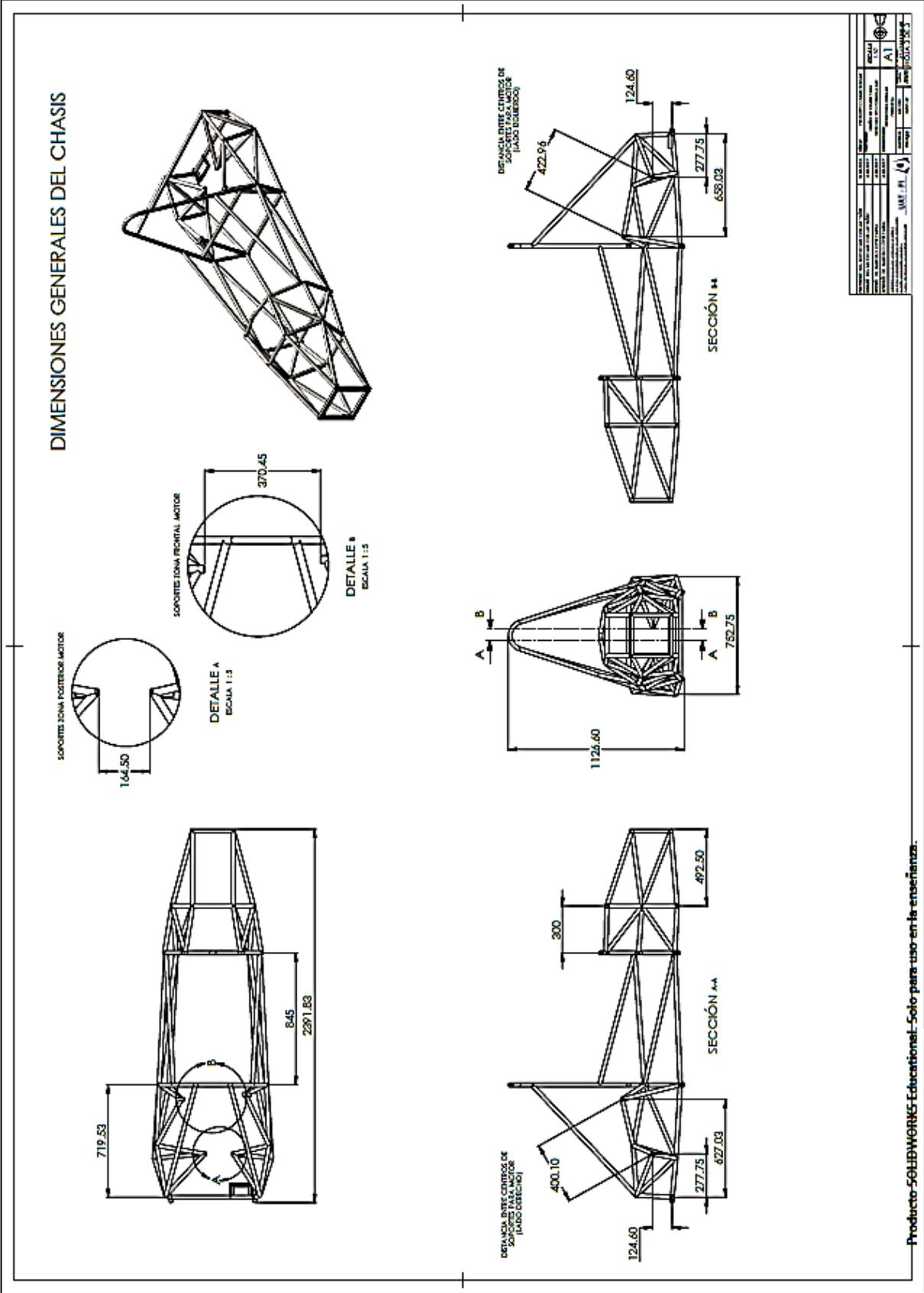
- *Desarrollo de ecuaciones que definan el contorno de un corte a un perfil tubular a partir de las variables de dimensión.*
 - *Desarrollo de un equipo que pueda trazar y cortar perfiles tubulares con acabados cóncavos (tipo boca de pescado).*
 - *Creación de un módulo en un software CAD que permita la generación de plantillas de corte.*
 - *Determinación del ángulo de corte para un mejor contacto entre perfiles.*
-
-

ANEXOS (PLANOS GENERALES)









PROYECTO	DESIGNACIÓN	FECHA	ESCALA
CHASIS	AL		
PROYECTADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR	
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO			

Producto SOLIDWORKS Educativo. Solo para uso en la enseñanza.



2. MOTOR CANVASATI

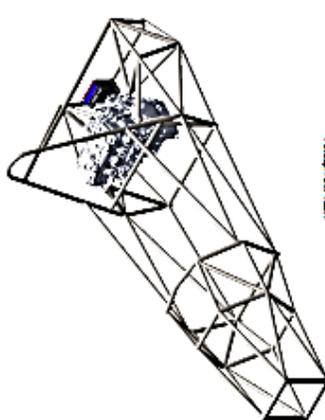


3. BATERIA

Tabla de BOM					
Nº DE ELEMENTO	Nº DE PIEZA	TÍTULO	DESCRIPCIÓN	PRECIO	CANTIDAD
1	01-01-000001-04	PROYECTO CHASIS PRINCIPAL	ASSEMBLY TUBULAR PRINCIPAL	3257.25	1
2	MOTOR CANVASATI	MOTOR CANVASATI ZUM 7500	MOTOR CANVASATI ZUM 7500 PARA EL VEHICULO PUL	6030.00	1
3	ACUMULADOR	BATERIA 6V	BATERIA DE 6 VOLTS EMPAQUADA PARA INICIACION EN MOTOR	1306.67	1



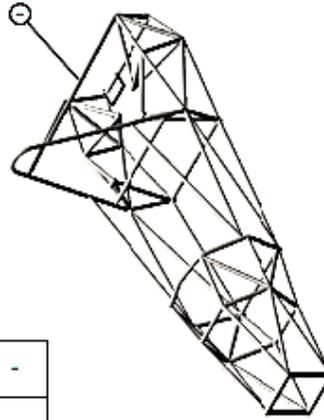
1. VISTA SUPERIOR



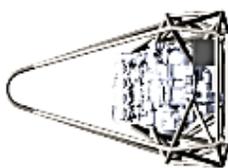
1. VISTA ISOMÉTRICA



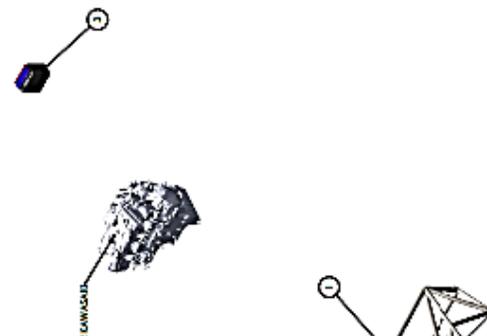
1. VISTA LATERAL DERECHA



1. VISTA ANTERIOR



1. VISTA POSTERIOR



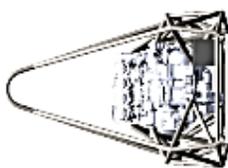
2. VISTA ISOMÉTRICA



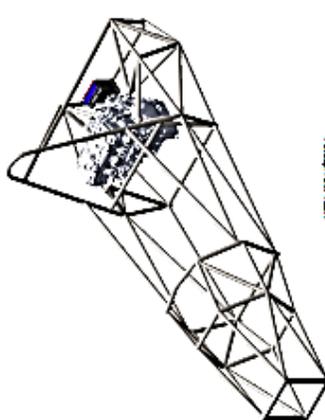
2. VISTA LATERAL DERECHA



2. VISTA SUPERIOR



2. VISTA POSTERIOR



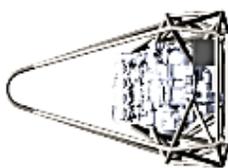
3. VISTA ISOMÉTRICA



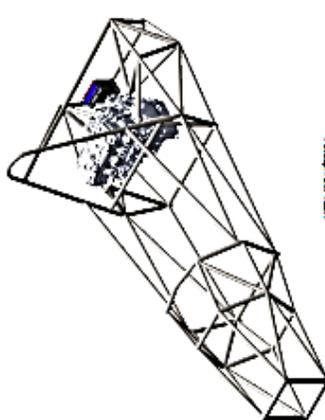
3. VISTA LATERAL DERECHA



3. VISTA SUPERIOR



3. VISTA POSTERIOR



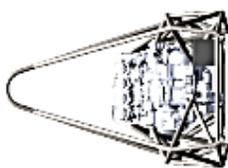
4. VISTA ISOMÉTRICA



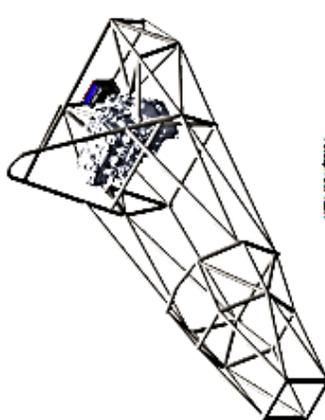
4. VISTA LATERAL DERECHA



4. VISTA SUPERIOR



4. VISTA POSTERIOR



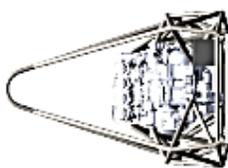
5. VISTA ISOMÉTRICA



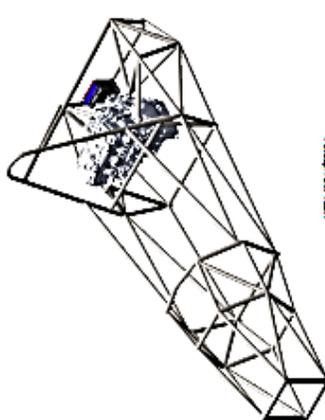
5. VISTA LATERAL DERECHA



5. VISTA SUPERIOR



5. VISTA POSTERIOR



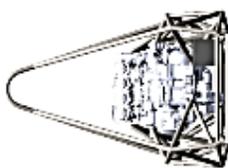
6. VISTA ISOMÉTRICA



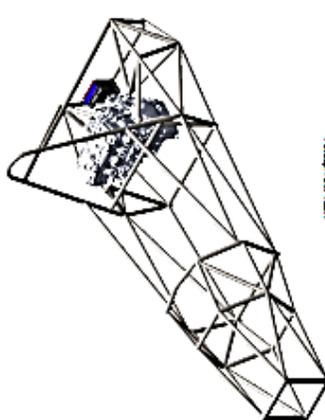
6. VISTA LATERAL DERECHA



6. VISTA SUPERIOR



6. VISTA POSTERIOR



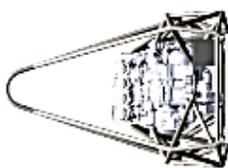
7. VISTA ISOMÉTRICA



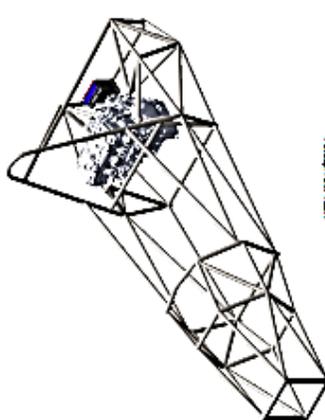
7. VISTA LATERAL DERECHA



7. VISTA SUPERIOR



7. VISTA POSTERIOR



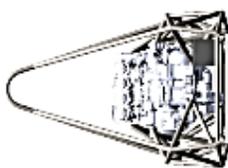
8. VISTA ISOMÉTRICA



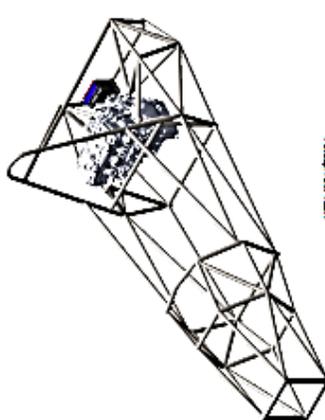
8. VISTA LATERAL DERECHA



8. VISTA SUPERIOR



8. VISTA POSTERIOR



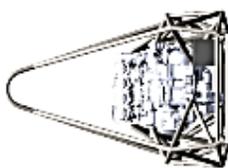
9. VISTA ISOMÉTRICA



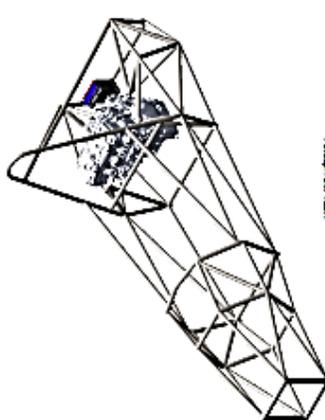
9. VISTA LATERAL DERECHA



9. VISTA SUPERIOR



9. VISTA POSTERIOR



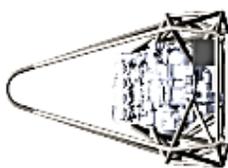
10. VISTA ISOMÉTRICA



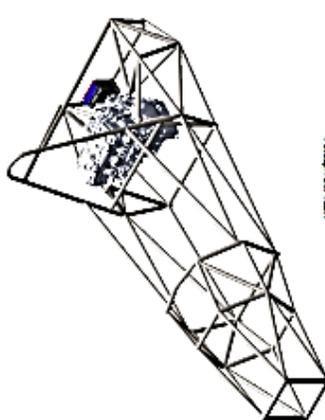
10. VISTA LATERAL DERECHA



10. VISTA SUPERIOR



10. VISTA POSTERIOR



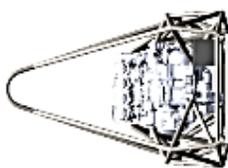
11. VISTA ISOMÉTRICA



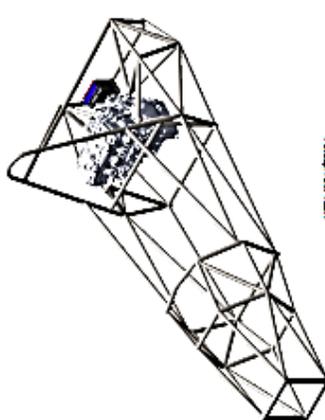
11. VISTA LATERAL DERECHA



11. VISTA SUPERIOR



11. VISTA POSTERIOR



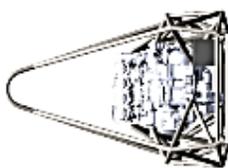
12. VISTA ISOMÉTRICA



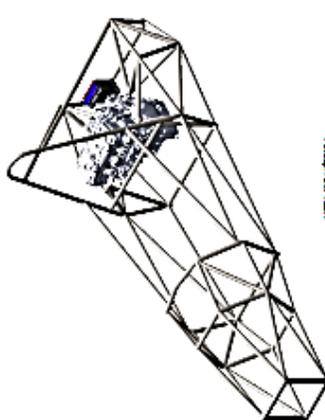
12. VISTA LATERAL DERECHA



12. VISTA SUPERIOR



12. VISTA POSTERIOR



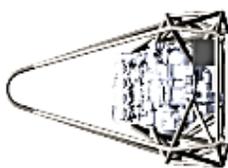
13. VISTA ISOMÉTRICA



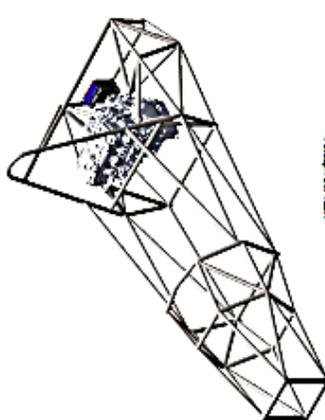
13. VISTA LATERAL DERECHA



13. VISTA SUPERIOR



13. VISTA POSTERIOR



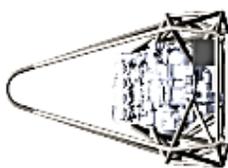
14. VISTA ISOMÉTRICA



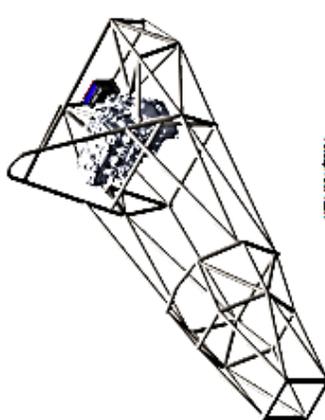
14. VISTA LATERAL DERECHA



14. VISTA SUPERIOR



14. VISTA POSTERIOR



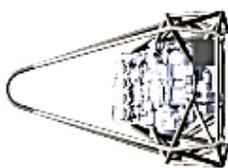
15. VISTA ISOMÉTRICA



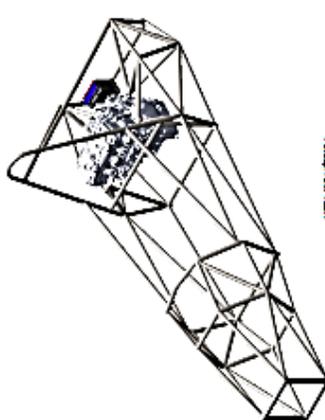
15. VISTA LATERAL DERECHA



15. VISTA SUPERIOR



15. VISTA POSTERIOR



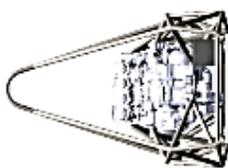
16. VISTA ISOMÉTRICA



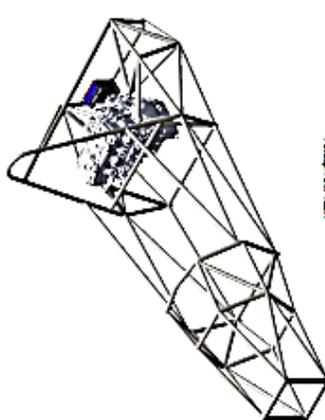
16. VISTA LATERAL DERECHA



16. VISTA SUPERIOR



16. VISTA POSTERIOR



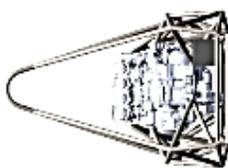
17. VISTA ISOMÉTRICA



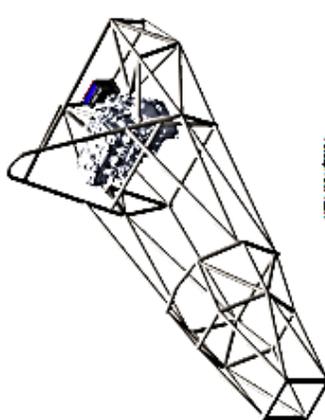
17. VISTA LATERAL DERECHA



17. VISTA SUPERIOR



17. VISTA POSTERIOR



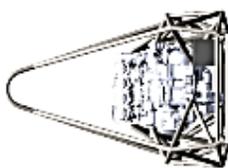
18. VISTA ISOMÉTRICA



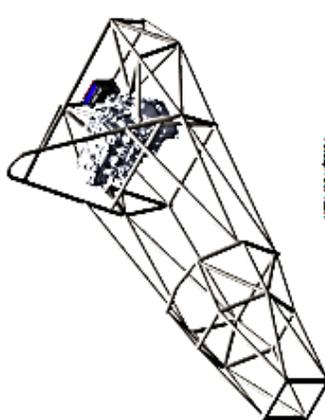
18. VISTA LATERAL DERECHA



18. VISTA SUPERIOR



18. VISTA POSTERIOR



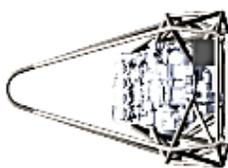
19. VISTA ISOMÉTRICA



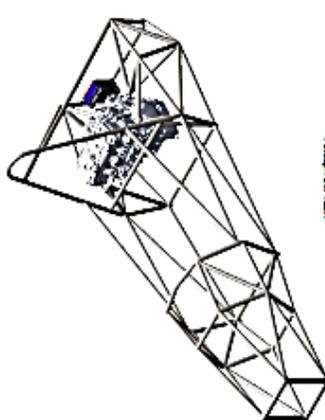
19. VISTA LATERAL DERECHA



19. VISTA SUPERIOR



19. VISTA POSTERIOR



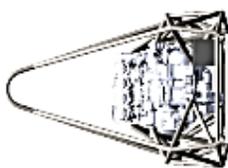
20. VISTA ISOMÉTRICA



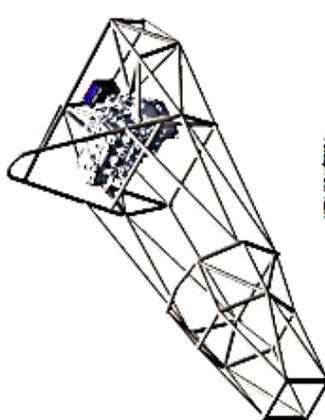
20. VISTA LATERAL DERECHA



20. VISTA SUPERIOR



20. VISTA POSTERIOR



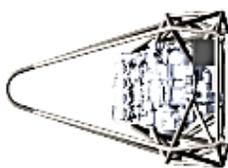
21. VISTA ISOMÉTRICA



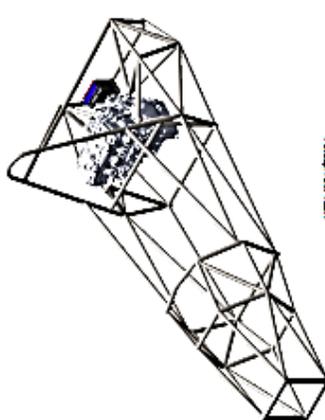
21. VISTA LATERAL DERECHA



21. VISTA SUPERIOR



21. VISTA POSTERIOR



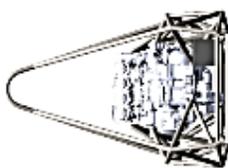
22. VISTA ISOMÉTRICA



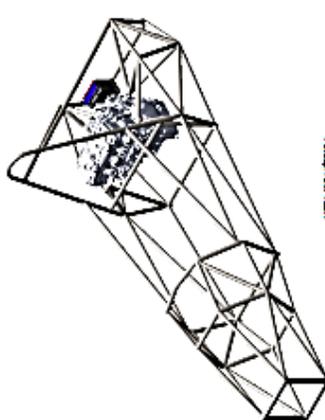
22. VISTA LATERAL DERECHA



22. VISTA SUPERIOR



22. VISTA POSTERIOR



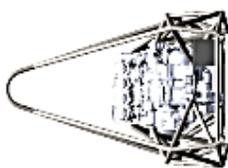
23. VISTA ISOMÉTRICA



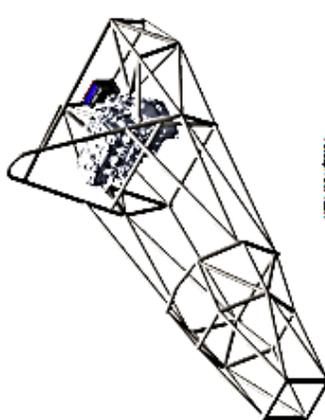
23. VISTA LATERAL DERECHA



23. VISTA SUPERIOR



23. VISTA POSTERIOR



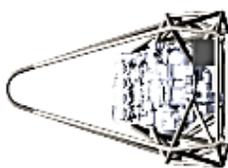
24. VISTA ISOMÉTRICA



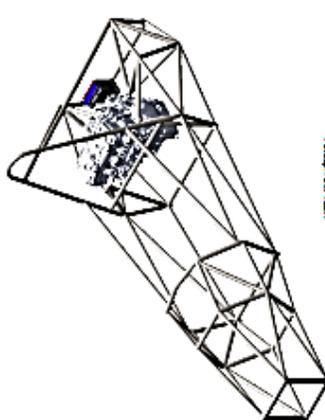
24. VISTA LATERAL DERECHA



24. VISTA SUPERIOR



24. VISTA POSTERIOR



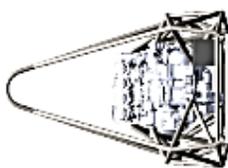
25. VISTA ISOMÉTRICA



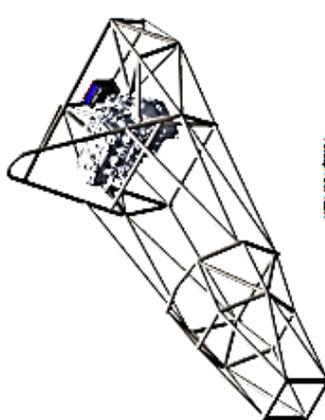
25. VISTA LATERAL DERECHA



25. VISTA SUPERIOR



25. VISTA POSTERIOR



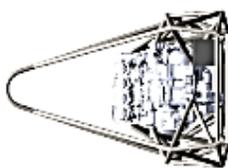
26. VISTA ISOMÉTRICA



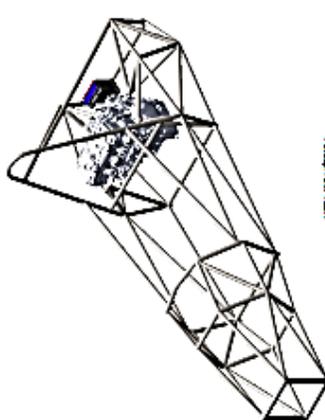
26. VISTA LATERAL DERECHA



26. VISTA SUPERIOR



26. VISTA POSTERIOR



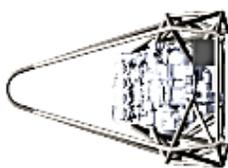
27. VISTA ISOMÉTRICA



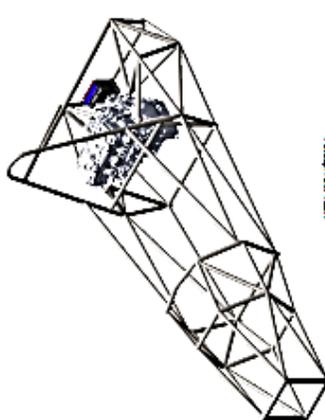
27. VISTA LATERAL DERECHA



27. VISTA SUPERIOR



27. VISTA POSTERIOR



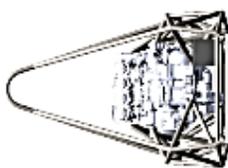
28. VISTA ISOMÉTRICA



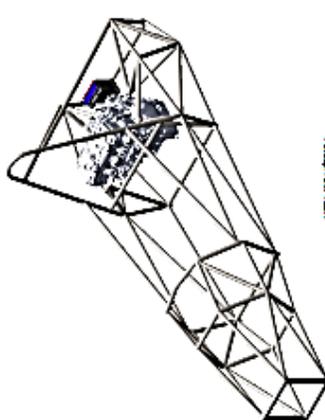
28. VISTA LATERAL DERECHA



28. VISTA SUPERIOR



28. VISTA POSTERIOR



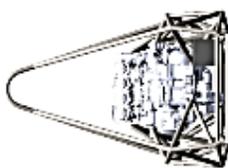
29. VISTA ISOMÉTRICA



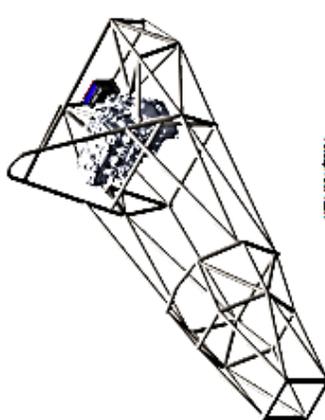
29. VISTA LATERAL DERECHA



29. VISTA SUPERIOR



29. VISTA POSTERIOR



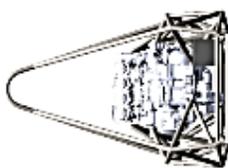
30. VISTA ISOMÉTRICA



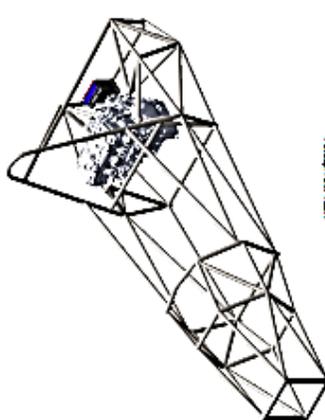
30. VISTA LATERAL DERECHA



30. VISTA SUPERIOR



30. VISTA POSTERIOR



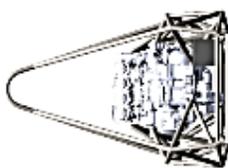
31. VISTA ISOMÉTRICA



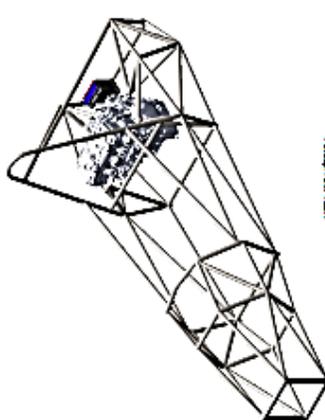
31. VISTA LATERAL DERECHA



31. VISTA SUPERIOR



31. VISTA POSTERIOR



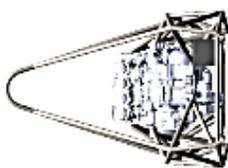
32. VISTA ISOMÉTRICA



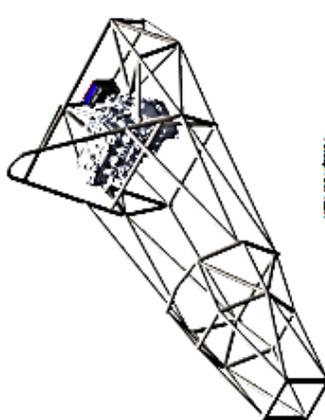
32. VISTA LATERAL DERECHA



32. VISTA SUPERIOR



32. VISTA POSTERIOR



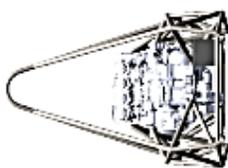
33. VISTA ISOMÉTRICA



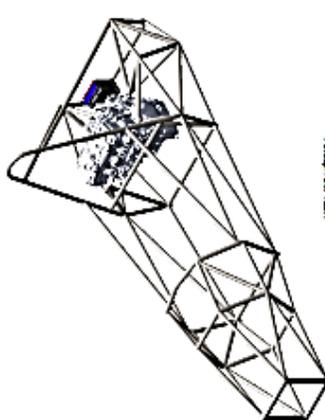
33. VISTA LATERAL DERECHA



33. VISTA SUPERIOR



33. VISTA POSTERIOR



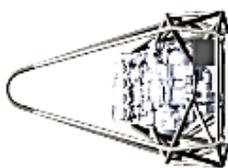
34. VISTA ISOMÉTRICA



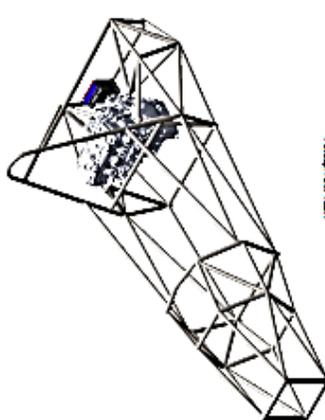
34. VISTA LATERAL DERECHA



34. VISTA SUPERIOR



34. VISTA POSTERIOR



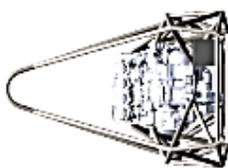
35. VISTA ISOMÉTRICA



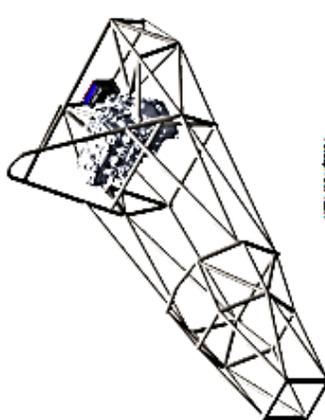
35. VISTA LATERAL DERECHA



35. VISTA SUPERIOR



35. VISTA POSTERIOR



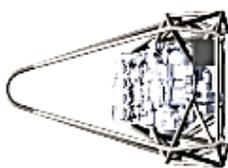
36. VISTA ISOMÉTRICA



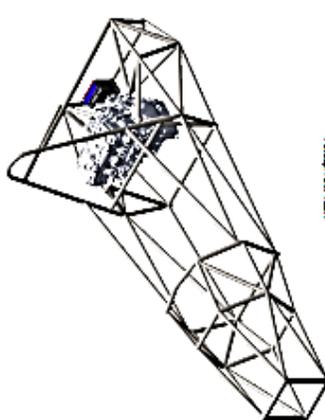
36. VISTA LATERAL DERECHA



36. VISTA SUPERIOR



36. VISTA POSTERIOR



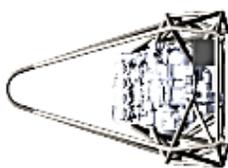
37. VISTA ISOMÉTRICA



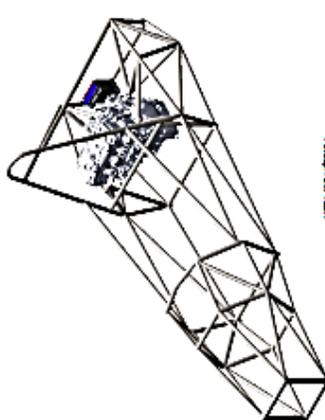
37. VISTA LATERAL DERECHA



37. VISTA SUPERIOR



37. VISTA POSTERIOR



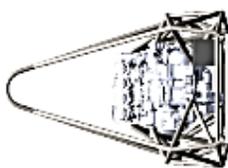
38. VISTA ISOMÉTRICA



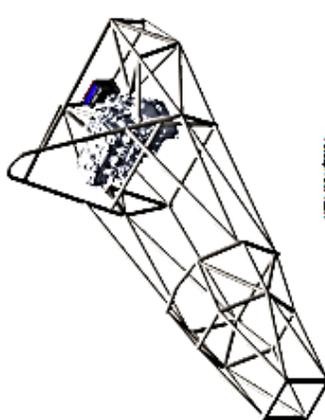
38. VISTA LATERAL DERECHA



38. VISTA SUPERIOR



38. VISTA POSTERIOR



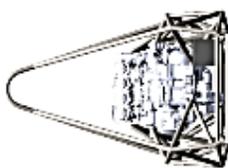
39. VISTA ISOMÉTRICA



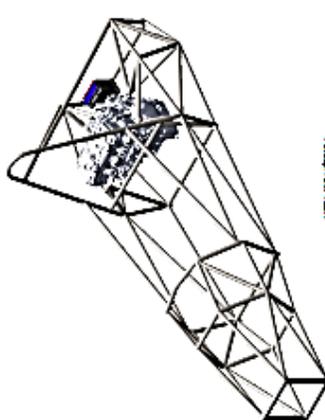
39. VISTA LATERAL DERECHA



39. VISTA SUPERIOR



39. VISTA POSTERIOR



40. VISTA ISOMÉTRICA



40. VISTA LATERAL DERECHA



40. VISTA SUPERIOR

The image displays a 3D CAD model of a mechanical assembly, likely a structural frame or support system. It includes several views: a perspective view at the top left, a top-down view at the bottom left, a side view at the bottom right, and a perspective view at the top right. Exploded views of the components are shown in the center. A table of parts is located in the middle-left area, and a title block is in the top right corner.

Tercer de LOM				
ORDEN	Nº DE PIEZA	TÍTULO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	01-IMPACTO 02	PLANTILLAS PARA PARTE FRONTAL	PLANTILLAS PARA COLOCACIÓN Y POSICIONAMIENTO DE PIEZAS	1
2	02-IMPACTO 02	PLANTILLAS PARA PARTE TRASERA	PLANTILLAS PARA COLOCACIÓN Y POSICIONAMIENTO DE PIEZAS	1
3	03-CISAJUNION	PROYECTO DE UNIÓN DE TUBERÍAS	EXTRACTORA DE TUBERÍAS PRINCIPAL	1

Producto SOLIDWORKS Educativo. Solo para uso en la enseñanza.

TABLA DE IDA			
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	TÍTULO	DESCRIPCIÓN
1	20-1100-01-004	PLANTILLA 1B	NOF
2	20-1100-01-005	PLANTILLA 1P	NOF
3	20-1100-01-006	PLANTILLA 2B	NOF
4	20-1100-01-007	PLANTILLA 2P	NOF
5	20-1100-01-008	PLANTILLA 3B	NOF
6	20-1100-01-009	PLANTILLA 3P	NOF
7	20-1100-01-010	PLANTILLA 3A	NOF
8	20-1100-01-011	PLANTILLA 2S	NOF
9	20-1100-01-012	PLANTILLA 3A	NOF
10	20-1100-01-013	PLANTILLA 2V	NOF

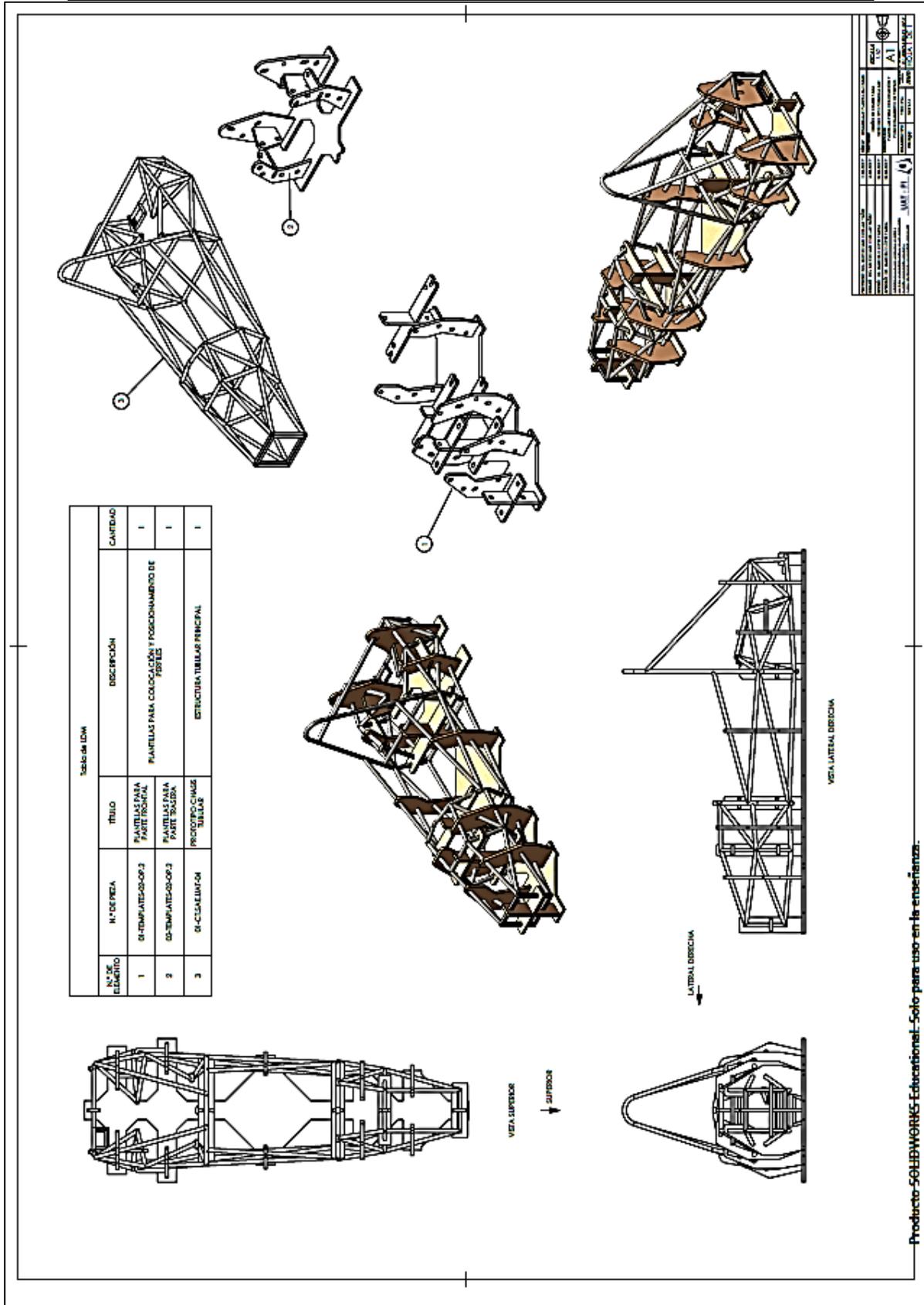
PLANTILLA PARA PLACAJE DE PERNOS TUBULARES DE LA PARTE FONOL DEL CINQUE

NOTA:

- LA COLOCACION DE CADA PLANTILLA VERTICAL DEBE SER EN LA MISMA DIRECCION.
- EL ANILLO DE CADA UNA DE LAS PLANTILLAS DEBE TENER UN ANILLO EN EL CENTRO DE LA PLANTILLA.
- EL ANILLO DE CADA UNA DE LAS PLANTILLAS DEBE TENER UN ANILLO EN EL CENTRO DE LA PLANTILLA.
- EL ANILLO DE CADA UNA DE LAS PLANTILLAS DEBE TENER UN ANILLO EN EL CENTRO DE LA PLANTILLA.
- EL ANILLO DE CADA UNA DE LAS PLANTILLAS DEBE TENER UN ANILLO EN EL CENTRO DE LA PLANTILLA.

PROYECTO	PROYECTO
FECHA	FECHA
PROFESOR	PROFESOR
ALUMNO	ALUMNO
GRUPO	GRUPO
UNIVERSIDAD	UNIVERSIDAD
FACULTAD	FACULTAD
PROGRAMA	PROGRAMA
CARRERA	CARRERA
SEMESTRE	SEMESTRE
UNIDAD	UNIDAD
ASIGNATURA	ASIGNATURA
PROFESOR	PROFESOR
ALUMNO	ALUMNO
GRUPO	GRUPO
UNIVERSIDAD	UNIVERSIDAD
FACULTAD	FACULTAD
PROGRAMA	PROGRAMA
CARRERA	CARRERA
SEMESTRE	SEMESTRE
UNIDAD	UNIDAD
ASIGNATURA	ASIGNATURA

Producto 50LIBWORKS-Educational- Solo para uso en la enseñanza.



Producto SOLIDWORKS Educativo. Solo para uso en la enseñanza.



REFERENCIAS

1. Budynas R., N. K. (2018). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. McGraw Hill.
2. Calvo Rodríguez, A. (2017). *Diseño y análisis de un chasis para un prototipo de Fórmula SAE (tesis de Licenciatura)*. Universidad pontificia de comillas, Madrid, España.
3. CYPE. (2019). *Uniones V. Celosías planas con perfiles tubulares*. Recuperado el 27 de enero de 2019, de CYPE: <http://www.cype.pe/uniones-v-celosias-planas-perfiles-tubulares/>
4. ESAB, C. D. (2019). *El Kerf en el corte*. Recuperado el 22 de febrero de 2019, de esabna.com: <https://www.esabna.com/us/en/education/blog/what-is-cutting-kerf.cfm>
5. *Escuderia ETSEIB Motorsport*. (8 de Agosto de 2016). Recuperado el 16 de Mayo de 2019, de prestigeelectriccar&bike.com: https://www.prestigeelectriccar.com/es/noticias/1929/Victoria_de_ETSEIB_Motorsport_en_la_Formula_Student
6. *Grupo USB F-SAE*. (2018). Recuperado el 17 de Mayo de 2019, de Fórmula SAE Grupo USB: <http://www.formulasae.grupos.usb.ve/>
7. Intelligy. (2019). *Chapa Metálica*. Recuperado el 30 de abril de 2019, de intelligy.com: <https://intelligy.com/solidworks/chapa-metalica/>
8. Pons Estruch, A. (2016). *Vehículo de competición Formula SAE: Diseño y optimización del chasis (Tesis de Licenciatura)*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
9. *Presentación de estrategia de Marketing*. (13 de Julio de 2015). Recuperado el 27 de Enero de 2018, de SlideShare: <https://pt.slideshare.net/TingHungYu/fsae-2015-business-presentation>
10. *Prueba de Autocross*. (s.f.). Recuperado el 17 de Mayo de 2019, de Firenze Race: <http://www.firenzerace.it/about-us/>
11. Quishpe, L., & Cepeda, C. (2019). *Investigación del comportamiento de un bastidor construido en aluminio en un prototipo Fórmula Studente*. Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador.
12. Redondo Martín, R. (2017). *Diseño y simulación de un chasis tubular para un vehículo tipo fórmula (Tesis de Licenciatura)*. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Madrid, España.
13. *Reglamento Formula SAE. Aclaraciones y ejemplos*. (29 de Enero de 2013). Obtenido de slideplayer.com: <https://slideplayer.com/slide/3392731/>



14. Sabio Escolano, M. (2014). *Desarrollo del Styling del vehículo Formula Student UPV (Tesis de Maestría)*. Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño, Valencia, España.
15. SAE. (2016). *2017-18 FSAE Reglas Preliminares*. Recuperado el 22 de Agosto de 2017
16. *Skidpad*. (19 de Marzo de 2010). Recuperado el 17 de Mayo de 2019, de manifo1dmx:
<https://sites.google.com/site/manifo1dmx/introduccion/capitulo-2-1>
17. Systemes, D. (2019). *Superficies*. Recuperado el 22 de abril de 2019, de help.solidworks.com:
http://help.solidworks.com/2018/spanish/SolidWorks/sldworks/c_Surfaces_Overview.htm
18. Vidal Torres, J. (Enero de 2017). *Análisis y modelado de la zona afectada por el calor en las uniones soldadas de un chasis para competencia Fórmula SAE bajo diferentes condiciones de soldadura (Tesis de Maestría)*. ESIME-IPN, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Ciudad de México.