

E.T.S. de Ingeniería Industrial,  
Informática y de Telecomunicación

# DISEÑO DE UN CHASIS TUBULAR PARA UN CARCROSS



Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico

Trabajo Fin de Grado

Igor Martínez Fernández

Juan Ignacio Latorre

Tudela, Junio 2017





## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar agradecer a mis padres la confianza y el apoyo constante que han depositado en mí, todos esos ``empujones`` que hacen que una vez te caes te vuelvas a levantar. Sin vosotros y vuestra ayuda nada habría sido posible.

A mi tutor Juan Ignacio Latorre por toda la ayuda y atención prestada a lo largo del proyecto, siempre buscando solución a los problemas y sacando el lado positivo.

A Luis Miguel Calvo, por el compromiso que ha depositado en el proyecto, siempre intentando ayudar a pesar de no tener por qué hacerlo.

A mis compañeros de clase, por todas las aportaciones que han hecho al proyecto y las ayudas recibidas por parte de ellos, siempre dispuestos a echar una mano al compañero.

Y por último gracias a ti Maddi, por todo el apoyo recibido en los momentos que realmente he necesitado, tantas horas escuchando mis problemas, el aguantar mis agobios todos los días y siempre sacándome una sonrisa. Tú también eres parte de este proyecto.

## **RESUMEN**

El presente TFG tiene por objetivo el diseño de un chasis tubular para un vehículo de Carcross de competición. La Real Federación de Automovilismo ha aprobado una normativa que deben cumplir todos los vehículos que participen en competiciones de la categoría Carcross. Estos vehículos monoplazas presentan una potencia limitada y están diseñados para circuitos de tierra sin grandes desniveles. Experimentan una conducción exigente y el riesgo de colisión es elevado.

Bajo estos condicionantes, el diseño a realizar pasará por diversas etapas, empezando por la definición de las especificaciones que debe cumplir, el análisis de alternativas y la selección de la alternativa que mejor se ajuste a los requisitos de la competición y del piloto.

El diseño consistirá en el desarrollo de un chasis formado por barras tubulares que sea capaz de soportar las cargas potenciales aplicadas en una competición de Carcross, así como de proporcionar protección al piloto, a los elementos del vehículo y deberá presentar una favorable relación entre la rigidez y la ligereza que permitirán ahorrar combustible y mayores prestaciones.

## **ABSTRACT**

The main objective of this project is to design a tubular chassis for Carcross competition vehicle. The Royal Spanish Racing Federation has approved a rules for all the participants of Carcross category. These single-seating vehicles have a limited power and they are designed to land circuit without large slopes. They need to have a demanding driving having a high risk of collision.

Under this conditions, the design to make will go through different stages. On one hand, they have to define the specification that they have to achieve. Then, they have to do the analysis of the alternatives and finally they have to make the best selection of the alternative depending on the requirement of the competition and the pilot.

The design will consist in the development of a chassis made by tubular bars that is able to support potential load applied in a Carcross competition. Also, they have to provide protection to the pilot, to the vehicle's elements and a favourable relationship between rigidity and lightness that will save fuel and further benefits.

## **PALABRAS CLAVE**

Chasis tubular, Carcross, diseño, elementos finitos.

# ÍNDICE

CAPÍTULO 1: OBJETIVOS Y MOTIVACIÓN DEL PROYECTO .....	1
CAPÍTULO 2: INTRODUCCIÓN .....	2
2.1 HISTORIA.....	2
2.2 DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE VEHÍCULO.....	2
2.2.1 Tipos de buggy.....	4
2.2 SEGURIDAD EN LA COMPETICIÓN CARCROSS.....	9
2.2.1 Chasis .....	9
2.2.1.1 Tipos de chasis .....	9
2.2.2 Casco .....	12
2.2.3 Sotocasco .....	13
2.2.4 Hans .....	13
2.2.5 Ropa ignífuga.....	15
2.2.6 Asiento baquet .....	16
2.2.6 Arnés .....	17
2.3 COMPETICIÓN DE AUTOCROSS .....	17
CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL CHASIS .....	21
3.1 CRITERIOS DE DISEÑO.....	21
3.1.1 Funcionalidad/ dimensiones .....	21
3.1.2 Rigidez .....	23
3.1.3 Ancho de vía .....	26
3.1.4 Espacio .....	26
3.1.5 El peso y su distribución .....	28
3.1.6 Coste de producción .....	30
3.1.7 Ingeniería inversa.....	30
3.2 SELECCIÓN DE DIFERENTES TIPOS DISEÑOS DE CHASIS PARA CARCROSS.....	31
3.3 MODELADO DEL CHASIS .....	38
3.3.1 Boceto del piloto.....	39
3.3.2 Arco delantero .....	40
3.3.3 Arco central y barras longitudinales .....	42
3.3.4 Barras de unión del arco delantero con el arco central .....	42
3.3.5 Semiarcos traseros.....	43
3.3.6 Barras laterales .....	44
3.3.7 Barras diagonales del arco central y semiarcos traseros .....	44
3.3.8 Semiarco delantero y refuerzos frontales.....	45
3.3.9 Refuerzo de protección lateral y parte inferior del chasis .....	46
3.3.10 Refuerzo inferior semiarcos traseros .....	47

3.4	FABRICABILIDAD DEL DISEÑO PROPUESTO Y PROCESO DE FABRICACIÓN .....	49
3.4.1	Método de fabricación .....	53
CAPÍTULO 4: ANALISIS Y RESULTADOS .....		57
4.1	ENSAYOS ESTABLECIDOS POR LA NORMA .....	58
4.2	FASE DEL ANALISIS DEL CHASIS .....	59
4.3	RESULTADOS DEL ANÁLISIS .....	60
CAPÍTULO 5: PRESUPUESTO .....		64
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES .....		66
6.1	TRABAJOS FUTUROS .....	66
CAPÍTULO 7: BIBLIOGRAFÍA .....		68
ANEXOS .....		70

## **CAPÍTULO 1: OBJETIVOS Y MOTIVACIÓN DEL PROYECTO**

El presente trabajo de fin de grado se enfocó en el diseño y construcción de un chasis tubular para un vehículo de competición de Car Cross siguiendo la normativa de la Real Federación Española De Automovilismo (RFEDA) en la que se dan a conocer las normas y disposiciones que debe cumplir el chasis y la seguridad del piloto. Por ello los objetivos que se persiguen con este estudio son:

Realizar un estudio de diferentes chasis fabricados obteniendo las partes positivas de cada uno y sus puntos donde se podría obtener una mejora. Una vez realizado el estudio y tomadas unas conclusiones se dibuja la geometría del chasis diseñado para la competición siendo modelado por el software SolidWorks. El diseño del nuevo chasis se basará en modelos de chasis anteriores pero incorporando nuevas mejoras. Una vez realizado el modelo se comprobará que el chasis diseñado puede ser fabricado, cumpliendo la normativa dictada por la RFEDA para la homologación de estructuras. El chasis será analizado mediante elementos finitos observando su comportamiento a la hora de aplicar ciertas cargas sobre él.

## **CAPÍTULO 2: INTRODUCCIÓN**

### **2.1 HISTORIA**

Los primeros datos existentes sobre buggies, provienen del estado de California, Estados Unidos, a mediados de los años 50. Inicialmente los vehículos eran fabricados a nivel personal como "hobby" durante el fin de semana en garajes particulares, sobre un modelo de coche ya comercializado en el mercado.

En 1964 Bruce Meyer, un californiano, tras varios intentos con prototipos con motores V8 eligió una base más ligera, la de un Vw Beetle, a la que le acortó la batalla y le sustituyó la carrocería por una fibra de vidrio.

A partir de 1970, se forman los primeros clubes para competir en las playas y siempre sobre superficies planas y blandas. Surgió una nueva modalidad que consistía en subir montañas arenosas, y fue entonces cuando empezaron a aparecer los primeros chasis tubulares completos, por su excelente seguridad ante volcadas ocasionales. Adicionalmente, se emplearon filtros de aire sobrealimentado y amortiguadores más robustos y de largo recorrido. Cinco años más tarde aparecieron los modelos más conocidos en Europa, con motor Volkswagen Beetle y carrocería en fibra de vidrio.

Fue importada a Europa por Francia en la década de los 80, aunque hasta los años 90 no fue instalada en España. En la actualidad, es una de las competiciones del automovilismo más espectaculares debido a que llevan incorporados motores de 600cc de motocicletas, los cuales superan los 100cv de potencia que unido a los 300kg de peso hace que sufra grandes aceleraciones y derrapes.

### **2.2 DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE VEHÍCULO**

Un car cross forma parte de la familia de los vehículos tipo buggies. Estos vehículos tienen un uso recreacional o de competición y son usados en pistas no asfaltadas como por terrenos arenosos, de tierra o barro, ya que fueron diseñados para moverse sobre arena y saltar dunas, donde pueden demostrar su capacidad para desenvolverse gracias a su chasis ligero y extraordinaria relación potencia/peso. Además de uso principal de disfrutar de la conducción también pueden ser empleados para trabajar en el campo, cuando se les proporciona una suspensión reforzada o incluso se ha extendido entre unidades especiales de distintos cuerpos militares en determinados terrenos.



De la familia de buggies se pueden hacer dos grandes diferencias para su construcción, los Dune Buggies que toman como base el chasis de un coche, normalmente un VW Beetle, al que se le acortaba la plataforma y se le sustituía la carrocería de acero por una de fibra de vidrio, la cual es mucho más ligera.



**Figura 1:** Dune Buggy

La versión estándar no tenía puertas. Dependiendo de la carrocería y de si se aumenta la potencia del motor, se añade una estructura tubular para aumentar la rigidez del chasis. A veces se sustituía el motor por uno del fabricante Porsche de 2.4L el cual proporcionaba más potencia. Este se sitúa colgado del eje posterior y es un bóxer refrigerado por aire, fiable y sencillo de mantener. Tenía una caja de cambios de 4 velocidades y la tracción era trasera. El usar la base del Beetle implica emplear un esquema de suspensiones independientes por barras de torsión transversales en el eje delantero y un eje oscilante para el trasero.

Los Sand buggies o Sandrails evolucionaron de los Dune Buggies y se empleaban mecánicas de Beetle, lo que implicaba que también montaban el motor, y por razones de montaje se colocaba en posición trasera. Lo normal es que monten suspensiones independientes tipo McPherson o doble trapecio más evolucionadas.

Emplean un bastidor tubular rodeado de una jaula de seguridad que se fabrica partiendo de cero. Carecen de carrocería o equipan unos paneles sencillos, de aluminio o fibra de vidrio.



**Figura 2:** Sand buggy o Sandrail

En cuanto al uso recreativo existen múltiples evoluciones de tipologías de buggies. Su diseño y fabricación es relativamente sencilla y económica para cualquier persona interesada y con ciertos conocimientos de mecánica automovilística. Es por ello que mucha gente los construye en su propia casa de forma artesanal.

En la actualidad se pueden describir el siguiente tipo de buggies:

#### 2.2.1 Tipos de buggy

- *Tipo monocasco*

Este tipo de chasis es utilizado desde hace décadas por prácticamente todos los vehículos, ya que ofrece un coste muy reducido de producción y una gran facilidad de automatización del proceso de fabricación. El monocasco también es conocido con el nombre de carrocería auto portante, ya que la chapa externa del vehículo soporta algo o toda la carga estructural del vehículo, y también puede ser de estructura tubular con recubrimiento en fibra de vidrio.

Tiene una estructura compacta y resistente a los choques, debido a la incorporación de zonas deformables. A su vez tiene un buen comportamiento dinámico y mayor habitabilidad del vehículo. En cambio, este tipo de chasis es bastante pesado, e inviable para la fabricación en pequeñas cantidades. Otro de sus inconvenientes es que sufre un deterioro más rápido de la carrocería debido a la aparición de la herrumbre.



**Figura 3:** Buggy tipo monocasco

Los primeros vehículos fabricados fueron a nivel personal, a mediados de los años 50 en Estados Unidos, y eran utilizados como hobby para pasear por las largas playas del Pacífico, apareciendo también el concepto de Beach Buggy.

Estos primeros buggies utilizaban la tecnología del chasis auto portante que había adquirido gran protagonismo durante la Segunda Guerra Mundial, donde la primera marca en comercializarlos fue Volkswagen.

Su utilización está limitada únicamente para terrenos con superficies planas, debido que está diseñado como vehículo de turismo y aunque se siguen fabricando buggies con chasis auto portante, ya no predominan.

- *Tipo monoplaça*

Los buggies tipo monoplaça todoterreno están preparados para la competición por terrenos de montaña con muchas dificultades técnicas o son creados simplemente con el fin de disfrutar al máximo en terrenos naturales. Son fabricados en estructura tubular debido que su chasis es más seguro teniendo alta relación rigidez-peso. Sus dimensiones son menores, lo cual provoca ser un vehículo relativamente liviano, produciendo una conducción más agresiva y cómoda.



**Figura 4:** Buggy tipo monoplace

Estos buggies cuentan con un equipamiento competitivo, y de mayor rendimiento, ya que quien compra o fabrica este tipo de vehículo es porque quiere poner a prueba en terrenos con muchas dificultades técnicas como antes se ha comentado. El proceso de fabricación (estructura tubular) es relativamente económico teniendo en cuenta la calidad que se obtiene. A la hora de diseñar un chasis competitivo, tiene el inconveniente de que se cuenta con poco espacio a la hora de ubicar los componentes mecánicos. Además la producción en serie es inviable dada la dificultad del proceso de fabricación, ya que es complejo y laborioso.

- *Tipo biplaza*

Los primeros modelos fabricados completamente con chasis tubulares por excelente seguridad ante volcadas ocasionales surgieron a principios de los años 70, donde familiares y amigos competían por terrenos blandos y arenosos. De ahí fue donde surgió una nueva variante llamada ``Dune Buggy´´, la que consistía en subir montañas arenosas tipo dunas.

Como estos vehículos todoterreno con chasis tubulares se seguían utilizando como hobby en actividades familiares, se decidió hacerlos biplaza, lo que cuenta con más espacio y permite más flexibilidad a la hora de personalizar el vehículo.



**Figura 5:** Buggy tipo biplaza

El proceso de fabricación también es relativamente económico teniendo en cuenta la calidad que se obtiene. Además estas estructuras obtienen muy buena relación rigidez/peso, con capacidad para circular por todo tipo de terrenos. Es por ello que en la actualidad, este tipo de buggy sea el más comercializado en todos los niveles.

- *Tipo carcross*

Esta especialidad tiene sus orígenes en Estados Unidos en la década de los 80 importada por Francia. Son vehículos monoplazas, fabricados mediante estructuras tubulares diseñado exclusivamente para la competencia en terrenos planos de arena y asfalto, y con una zona de pilotaje dotado de los comandos habituales a los de un coche.



**Figura 6:** Buggy tipo carcross

Su fabricación es económica teniendo en cuenta las prestaciones que nos ofrece. El pilotaje de este tipo de vehículos es un gran espectáculo tanto para el piloto como para el

público, ya que son propulsados por motores de motocicletas produciendo grandes aceleraciones y derrapes en consecuencia de la tracción trasera.

Las dimensiones de este tipo de vehículos son menores a las anteriormente mencionadas, es por ello que es de mejor maniobrabilidad. Tiene muy buena relación rigidez/peso debido a su estructura tubular, y nos permite alcanzar grandes velocidades. Sin embargo, la altura de este chasis respecto del suelo es mínima por lo que no se podría hacer uso de él en terrenos forestales, etc.

- *Tipo anfibio*

Este tipo de vehículos también considerados como buggy tienen la capacidad de circular tanto por agua como por tierra, a diferencia del resto de los mostrados anteriormente.



**Figura 7:** Buggy tipo anfibio

El material utilizado para que este tipo de vehículos puedan flotar es el polietileno de alta densidad (HDPE). Sin embargo su velocidad es muy limitada, alcanzando los 4Km/h en agua y los 40Km/h por tierra. Por lo que no resulta muy práctico si no es para hacer uso de él en el agua, ya que no es útil en terrenos de montaña donde tiene muchas dificultades técnicas, y una velocidad muy limitada. Además, su fabricación es muy complicada.

## **2.2 SEGURIDAD EN LA COMPETICIÓN CARCROSS**

### 2.2.1 Chasis

El chasis de un auto está construido para soportar el cuerpo del vehículo. Dentro del chasis se incluye el bastidor, las ruedas y los componentes de trabajo del vehículo. El chasis es una estructura rígida, más que la carrocería, que proporciona una protección durante un accidente. En el momento de un choque, que la carrocería se deforme todo lo que se pueda para no transmitir la energía de colisión al piloto y por otra parte interesa que el chasis se deforme poco para no alterar las características de la conducción.

Los sistemas de chasis han cambiado con los años para aligerar su peso, pero mantener o aumentar la resistencia de la estructura. Los diferentes tipos de autos necesitan enormes cantidades de estabilidad, y los chasis están contruidos para ajustarse a la finalidad del vehículo.

#### 2.2.1.1 Tipos de chasis

- Chasis columna vertebral

Este tipo de estructura fue inventada por Colin Chapman. Él utilizó una celosía en forma de ``columna vertebral`` para conectar el eje delantero al trasero, de ahí su nombre. Proporciona la estructura para todos los componentes de trabajo del vehículo.



**Figura 8:** Chasis columna vertebral

Este chasis se utiliza sobre todo en los roadsters (Convertibles) y en los coches eléctricos en los que se usan las baterías como parte estructural del chasis que suelen ir en el medio.

Tienen como desventaja que son muy pesados para ser usados en autos deportivos y demasiado caros para ser producidos en masa.

- Chasis escalera

El chasis de escalera es el más antiguo y más común. Este tipo se ha convertido en el estándar para la mayoría de los tipos de automóviles de los ochenta noventa. Su diseño es básico, se parece a una escalera ya que tiene dos carriles longitudinales interconectados por varios tirantes laterales y transversales. Los miembros de la longitud son el elemento principal de presión, se ocupan de soportar la carga y también las fuerzas longitudinales causadas por la aceleración y el frenado. Como ventaja puede ser producido en masa ya que es bastante barato de fabricar. La mayor desventaja es que hay poca profundidad estructural general dándole un centro de gravedad muy bajo.



**Figura 9:** Chasis escalera

Es pesado, falto de rigidez torsional especialmente cuando se trata de carga vertical o golpes. Los componentes mecánicos son de fácil acceso, una vez se ubican el motor, la caja y el asiento del pasajero es fácil determinar la posición de los tubos. La rigidez en torsión no varía mucho con estos tubos y depende principalmente de la sección de los mismos. A la vez es importante que los soportes de la suspensión delantera sean muy rígidos y alimenten las cargas al chasis de manera adecuada.

- Chasis tubular

Su construcción se compone de tubos de acero o de aluminio colocados en un formato triangular, soportando la carga de la suspensión, motor, piloto y aerodinámica. Una estructura espacial verdadera tiene pequeños tubos que sólo están en tensión o compresión, es decir cada punto de carga debe estar apoyado en tres dimensiones.



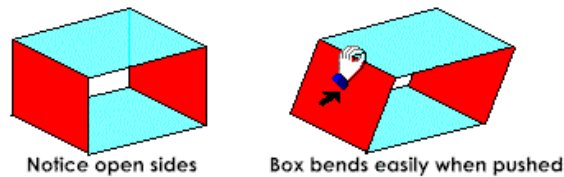


**Figura 10:** Chasis tubular

El chasis de espacio tubular emplea docenas de tubos de sección circular en posiciones con diferentes direcciones proporcionando resistencia mecánica contra fuerzas provenientes de cualquier lugar.

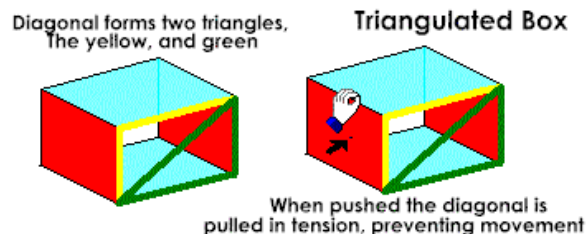
La función de una disposición triangular es simple. Al empujar una disposición cuadrada, se deforma con facilidad debido a que no hay apoyo frontal trasero.

**Box which is not triangulated**



**Figura 11:** Caja no triangularizada

Por este motivo, en los coches de competición requieren de este apoyo para trabajar correctamente, por lo que el soporte debe ir en diagonal formando un triángulo. La caja triangular importa fuerza por estrés a la barra diagonal en tensión. En este caso, la tensión se definiría como la fuerza que empuja ambos extremos en la diagonal.



**Figura 12:** Caja triangularizada

La ventaja del chasis tridimensional es que le hace muy fuerte en cualquier dirección respecto al chasis en escalera y al monocasco de metal del mismo peso. La desventaja de la estructura tubular es que es muy cara de fabricar debido a la complejidad de su diseño y fabricación. Además no es rentable para la producción en masa.

Aunque ya se ha dicho que el chasis es el elemento más importante en cuanto a protección del piloto se refiere, este debe ir acompañado del equipamiento adecuado. El uso de casco, traje, guantes, etc. Resulta de vital importancia para asegurar que el piloto no sufrirá heridas graves en caso de accidente. La normativa exige la utilización de los siguientes componentes:

### 2.2.2 Casco

Regido por varios estándares de calidad:

- Snell 2000/2005
- Snell 2000
- BSI 6658-1985
- FIA 8860-2004

Es la única protección de la que disponen los pilotos para la cabeza. Su normativa de fabricación es muy estricta ya que tiene que garantizar que no se producirá ningún tipo de fisura ni rotura al recibir un impacto. Han de estar forrados de tejido ignífugo NOMEX.



**Figura 13:** Casco de competición

Deben llevar incorporados un sistema de amarre para instalar el Hans. La diferenciación con los convencionales es un interlocutor instalado para recibir las instrucciones a lo largo

de la carrera, tanto por el copiloto o por el equipo, según la competición. Pueden ser abiertos o cerrados, ya que la normativa no dice nada al respecto.

Los cascos más modernos están fabricados de fibra de carbono. Este material es un tipo de materiales compuestos que se caracterizan por ser ligeros, con altas prestaciones mecánicas, alta resistencia térmica y muy inertes ante la mayoría de agentes químicos. Su principal desventaja es su elevado precio.



**Figura 14:** Casco de fibra de carbono

### 2.2.3 Sotocasco

Se sostiene a la normativa de la FIA se trata de un componente muy importante. Se coloca encima del rostro y por debajo del casco y debe ponerse por debajo del mono. Es ignífugo, fabricado con NOMEX®, su función es la de proteger el rostro del piloto en caso de incendio, a la vez que su cuello donde permanecerá correctamente sujeto por el mono.



**Figura 15:** Sotocasco Omp

### 2.2.4 Hans

El dispositivo Hans responde a las siglas en inglés de Head And Neck Support, es decir soporte para cuello y cabeza, es uno de los accesorios de competición de coche más importante. Está regido por la normativa. El collarín comenzó a exigirse a los pilotos de las principales competiciones a partir de principios de la década de 2000, en la fórmula

CART americana. En España comenzó a hacerse oficial y obligatorio en competiciones de turismo en el año 2008.



**Figura 16:** Dispositivo de seguridad Hans

Está fabricado enteramente de carbono. Este componente va anclado al casco con unos tirantes que poseen clips de ajuste rápido y cae por los hombros desde el cuello hasta la parte delantera del piloto, donde tiene su caída y por la que pasa el arnés del vehículo.



**Figura 17:** Componentes del Hans

Está diseñado para reducir considerablemente el riesgo de lesiones en la cabeza y el cuello provocadas por la enorme desaceleración que sufren al colisionar bruscamente. También es útil en golpes laterales, ya que impide que la cabeza se golpee contra los bordes del habitáculo del piloto.

Sin el HANS, el cuello recibe una fuerza de 553Kg por tensión y 703Kg por movimiento en un accidente a 130Km/h. Esto provocaría lesiones en el cuello del conductor. Ahora bien, con el HANS el peso a soportar en el accidente sería solo de 95 y 133Kg,

respectivamente, manteniendo la cabeza prácticamente estática, ya que no recibe ni fuerza ni peso. Este accidente no produciría ninguna lesión.

Diversos pilotos han sufrido accidentes muy graves a largo de la historia, como Kubica (GP Cánada 2007) o Ralf Shumacher (GP EEUU), en el que el Hans les salvó la vida.

Antes de comprar un dispositivo de seguridad HANS es necesario tener en cuenta:

- Talla del Hans: lo primero que hay que tener en cuenta
- Inclinación del Hans: vendrá determinada por el destino que vaya a tener el vehículo (turismos de mercado, monoplazas, Fórmula 1,..)
- Peso del Hans: Dependiendo del material con el que se haya hecho tendrá un peso mayor o menor, en consecuencia será más o menos cómoda su utilización en pruebas de competición FIA.

### 2.2.5 Ropa ignífuga

La ropa ignífuga que debe llevar un piloto se compone de ropa interior, medias, mono, guantes (opcionales para el copiloto) y calzado. Esta ropa ignífuga está regida por la normativa y fue obligatoria en todas las competiciones de motor a partir de 1994.



**Figura 18:** Ropa ignífuga

Como su nombre indica su función principal es proteger a los pilotos frente al fuego y evitar quemaduras en caso de incendio, además de minimizar los efectos de rozaduras e impactos de objetos exteriores.

Deben estar fabricados con NOMEX y KEVLAR. Estos dos compuestos son capaces de soportar una temperatura de 800 grados durante 18 segundos. En cambio, los buzos que sólo simulan ser antiplama están hechos de algodón en su interior y, en caso de incendio, se queman en menos de 8 segundos.

Para su homologación la FIA realiza las siguientes pruebas:

- Estabilidad dimensional
- Calor convectivo
- Resistencia a la tracción de las osturas
- Llama en posición horizontal

### 2.2.6 Asiento baquet

El asiento baquet es un elemento esencial para para el bienestar y la seguridad del piloto, el cual está regido por la normativa. Un asiento debe ser ligero y cómodo, para no atenuar el rendimiento del vehículo, pero también para permitir al piloto explotar todo su potencial.



**Figura 19:** Asiento baquet

Su función es proteger al ocupante y junto a los arneses de seguridad, sujetarlo firmemente al asiento, proporcionándole comodidad y seguridad, para impedir que se mueva debido a las fuerzas centrífugas a las que se ve sometido en el paso por curva y en caso de vuelco. Posee acero en su interior, así como materiales compuestos tipo KEVLAR®. Carecen de regulación e inclinación, por lo que es fundamental su posición exacta en el vehículo. Tiene una caducidad de 5 años desde su fabricación y deben estar homologados por la FIA.

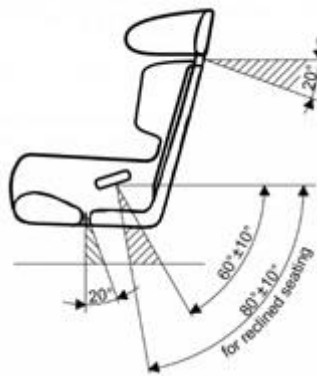
### 2.2.6 Arnés

Regido por la normativa FIA 8853-98, se trata de cinturones de seguridad acoplados en vehículos de competición que impiden la salida del vehículo por parte del piloto en caso de accidente o colisión. Pueden tener 4 o 6 puntos de amarre. El cierre que disponen es del denominado ``aeronáutico´´, es decir, de apertura rápida.



**Figura 20:** Arnés de 6 puntos

Los arneses centrales van sujetos a las barras traseras extras que se añaden al arco antivuelco, mientras que los laterales van anclados a la carrocería.



**Figura 21:** Posición ideal de colocación para un arnés de 6 puntos

En caso de accidente, los comisarios deberán cortar los arneses para asegurarse de que no vuelven a ser usados.

## 2.3 COMPETICIÓN DE AUTOCROSS

Se denomina autocross a un campeonato de velocidad realizado en circuito de tierra disputado con turismos y monoplazas. Los circuitos por los que compiten suelen ser de 8

a 12 metros de ancho de pista y no superan el kilómetro. Al competir sobre tierra dura y no sobre asfalto, su coeficiente de fricción es menor.

El siguiente listado recoge las especificaciones de la RFEDA para las diferentes divisiones:

- Campeonato de España de Turismos
- Campeonato de España de Car Cross
- Campeonato de España de Fórmula Junior de Car Cross
- Copa de España de Conductores de División I
- Copa de España de Conductores de División II
- Copa de España de Conductores de División II-A
- Copa de España de División III

Estos son los tipos de vehículos de los que se compone cada categoría:

➤ **División I:**

- **Vehículos de Turismo** (Grupo A, World Rallye Car y Kit Car) de 2 a 4 ruedas motrices y con homologación en vigor. Se permite la modificación a cuatro ruedas motrices.

Excepcionalmente podrán ser admitidos vehículos de Grupo B mediante una solicitud previa a la R.F.E. de A. a través del Delegado Técnico, el cual verificará la conformidad de la documentación presentada.

Se admiten los vehículos que hayan perdido su homologación a partir de 1994.

- **Vehículos prototipo E-1** construidos siguiendo las especificaciones de los Art. 282 y 283 del Anexo J y concebidos para la práctica del Autocross; con chasis multitubular, las cuatro ruedas motrices y aspecto exterior de un vehículo de turismo de venta comercial en los concesionarios de la Unión Europea.
- **Vehículos prototipo E-2** construidos siguiendo las especificaciones de los Art. 282 y 283 del Anexo J y concebidos para la práctica del Autocross; con chasis multitubular, dos ruedas motrices y aspecto exterior de un vehículo de turismo de venta comercial en los concesionarios de la Unión Europea. Con motor de moto, de propulsión y de una cilindrada máxima 1400 cc situado en la parte trasera y con motor de coche de una cilindrada máxima de 2000 cc.



La cilindrada máxima será de  $4000\text{cm}^3$ . Para vehículos equipados con dos motores de moto su cilindrada máxima total será de  $2.600\text{cm}^3$ . En todos los casos está incluido el factor corrector 1,7 para vehículos sobrealimentados. Los vehículos deben ser modelos cerrados con techo rígido y no descapotable.

En casos excepcionales se admitirán, a criterio de los Comisarios Deportivos, vehículos procedentes de Campeonatos de otros países de la Unión Europea, aun cuando su reglamentación sea diferente.

Estos vehículos, precisarán de una aceptación previa y expresa de la R.F.E.D.A previo informe del Delegado Técnico de Autocross.

➤ **División II**

Vehículos de producción (Grupo N), con su homologación en vigor. Deben ser atmosféricos y de dos ruedas motrices, con una cilindrada máxima de  $2.000\text{cm}^3$ .

Se admiten los vehículos que hayan perdido su homologación

Los vehículos deben ser modelos cerrados con techo rígido y no descapotables.

➤ **Vehículos de División IIA**

Vehículos de producción (Grupo N), con su homologación en vigor. Deben ser atmosféricos y de dos ruedas motrices, con una cilindrada máxima de  $1600\text{cm}^3$ .

Se admiten vehículos que hayan perdido su homologación

➤ **Vehículos admitidos en CarCross**

Vehículos monoplasas de motor trasero, construidos y concebidos para la práctica de Autocross, de 2 ruedas motrices, y propulsados por motores atmosféricos, de cuatro cilindros y cuatro tiempos, con una cilindrada máxima de  $600\text{cm}^3$ .

➤ **Vehículos admitidos en Fórmula Junior de CarCross**

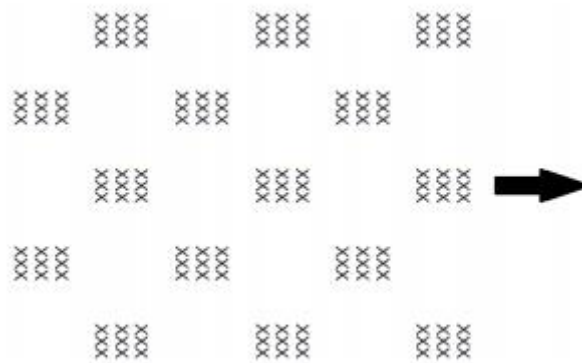
Vehículos monoplasas de motor trasero, construidos y concebidos para la práctica del Autocross, de 2 ruedas motrices, y propulsados por motores atmosféricos, de un cilindro y cuatro tiempos, con una cilindrada máxima de  $450\text{cm}^3$ .

➤ **Vehículos de División III**

Vehículos monoplasas contruidos y concebidos para la práctica del Autocross y cuyas especificaciones estén de acuerdo con el Reglamento Técnico FIA, artículo 279 del Anexo J.

Todos los vehículos deberán cumplir con el reglamento técnico del campeonato de España de Autocross.

Los circuitos del campeonato de España deben tener una longitud mínima de 800m y una anchura mínima de 13m. Las parrillas de salida permiten posicionar un máximo de 15 vehículos en la categoría de CarCross, que se dispondrán de la siguiente forma:



**Figura 22:** Parrilla de salida de competición autocross

La separación entre filas es de 8 y la distancia lateral entre 2,5m y 3m. Es el piloto mejor clasificado el que escoge la "Pole Position", y el segundo también tiene opción a elegir entre los otros dos puestos de la primera fila.

Cada prueba consta de 1 ronda de entrenamientos oficiales, 2 mangas clasificatorias y las finales C, B y A, en función del número de participantes. Las de carcross son unas carreras de las más populares de las competiciones de Autocross. Además de ser muy espectaculares para los aficionados de los deportes del motor debido a su gran potencia en relación al peso y a lo característico de su conducción.

## CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL CHASIS

A continuación se detallan algunos conceptos sobre los vehículos para posteriormente dar lugar a los criterios utilizados para diseñar el chasis.

- *Ancho de vía*: distancia medida entre el centro del neumático del lado derecho al centro del neumático del lado izquierdo. El ancho de vía delantero y trasero no tienen por qué coincidir.
- *Ancho total*: con el coche en una vista frontal, se refiere a la anchura máxima de toda la geometría del coche. Existen dos modos de medirlo, con los espejos retrovisores desplegados o bien sin ellos. Si no sobresalen más de 50mm del máximo por cada lado, no se contabilizan.
- *Batalla*: es la distancia que existe entre el eje delantero y el eje trasero en un vehículo. Se mide desde el centro de las ruedas y es de gran importancia tanto para la habitabilidad como para la estabilidad en diferentes tipos de vía.
- *Longitud total*: visto el vehículo desde el perfil, es la distancia medida desde la parte delantera más pronunciada del vehículo hasta la parte trasera más pronunciada.

### 3.1 CRITERIOS DE DISEÑO

#### 3.1.1 Funcionalidad/ dimensiones

- Dimensiones de longitud y altura mínimas, que haga posible tanto la conducción de este por terrenos naturales como la instalación de todos los elementos mecánicos y eléctricos que harán que el vehículo funcione correctamente.
- Dimensiones de anchura que hagan posible la dirección de éste sin problemas, a la vez de proporcionar la estabilidad necesaria y sea posible la instalación de los elementos mecánicos necesarios.

Para construir nuestro chasis se ha investigado acerca de las medidas homologadas en las carreras regidas por la RFEDA (Real Federación Española de Automovilismo) y que afectan al chasis a las cuales hay que ceñirse para que el carcross sea homologado para estas competiciones.

Las especificaciones técnicas que afectan al chasis son las siguientes:

### **3) Chasis y carrocería**

**3.1.** *Todos los vehículos contruidos a partir del 1/01/2010, deben tener su estructura diseñada para permitir el anclaje de los cinturones arnés de acuerdo a las especificaciones necesarias para el uso del sistema de retención para la cabeza (HANS) por parte del piloto, así como para poder ser equipados con asientos homologados FIA.*

*Además, deberán tener una homologación de la RFEDA, basada en el Reglamento de Homologaciones de Estructuras de Seguridad de la RFEDA.*

*El competidor deberá estar en posesión de la documentación necesaria que acredite la homologación por parte de la RFEDA de su vehículo. A partir del 01.01.2018 se deberá presentar, bajo petición de los Comisarios Técnicos, una copia original del Certificado de Homologación expedido por la RFEDA.*

**3.2.** *Las dimensiones máximas de los vehículos, incluida la carrocería, serán las siguientes:*

- ✓ *Longitud: 2600 mm. Sin contar las faldillas.*
- ✓ *Anchura: 1600 mm. Sin contar las faldillas.*
- ✓ *Altura: 1400 mm. Sin contar la altura del número.*

**3.3.** *El chasis del vehículo estará constituido por una estructura tubular que acoja los elementos mecánicos y proporcione al piloto la protección necesaria en caso de vuelco o accidente. Este chasis debe ser homologado por el Departamento Técnico de la RFEDA según el Reglamento de Homologación específico.*

**3.4.** *La carrocería debe...estar firmemente sujeta al chasis mediante un mínimo de 4 anclajes, dos en la parte delantera y dos en la parte trasera situados en lugares de difícil contacto con la tierra, protegidos de posibles golpes con otros vehículos.*

*3.5. Los radiadores de agua NO podrán sobresalir del perímetro del chasis...y estarán situados por detrás del habitáculo del piloto, sin que puedan estar en contacto con él. Los situados fuera del habitáculo del piloto no podrán sobrepasar 450mm del eje longitudinal el vehículo y en todo caso del perímetro del chasis.*

## **8) Suspensiones**

*8.1. Los ejes estarán suspendidos, no estando permitido el montaje de topes rígidos entre los ejes y cualquier parte del chasis. Se permite el montaje de barras estabilizadoras. ``*

### 3.1.2 Rigidez

Se define como rigidez a la capacidad que tiene un elemento estructural para oponerse a las deformaciones. En términos matemáticos se define de la siguiente manera:

$$K = \frac{P}{\delta}$$

Siendo: P, la carga aplicada  
 $\delta$ , la deformación

Tener una rigidez adecuada en nuestra estructura nos ofrecerá una transferencia óptima de los pesos en la dinámica del vehículo. A su vez nos dará una mayor sensibilidad del piloto debido a la precisa transferencia de fuerzas y una deformación elástica mínima para garantizar un funcionamiento óptimo del vehículo.

Para empezar hay que distinguir dos tipos de rigidez que tenemos que tener en cuenta a la hora de diseñar la estructura tubular con la que contará el modelo.

#### Rigidez a flexión:

En nuestro caso, la rigidez a flexión se refiere a la posibilidad de que la estructura se flexione a causa del propio peso de los elementos que conforman el buggy. Aun así, se sabe que esta situación no conllevará problemas al diseño del chasis.

La rigidez flexional de una barra recta viene definida por la siguiente ecuación:

$$K_{flex,y} = \frac{M_y}{\theta_y} = \frac{EI_y}{L} \qquad K_{flex,z} = \frac{M_z}{\theta_z} = \frac{EI_z}{L}$$

-Rigidez a torsión:

La rigidez a torsión define el comportamiento y la deformación de la estructura delante de solicitaciones asimétricas, como por ejemplo cuando una de las ruedas no está en contacto con el suelo y el resto sí.

La rigidez torsional de una barra recta es la relación entre el momento torsor aplicado en uno de sus extremos y el ángulo girado por este extremo y viene definido por la siguiente ecuación:

$$K_{tors} = \frac{M_x}{\theta_x} = \frac{GJ}{L}$$

Donde:       **G:** Módulo de elasticidad transversal

**J:** Momento de inercia transversal

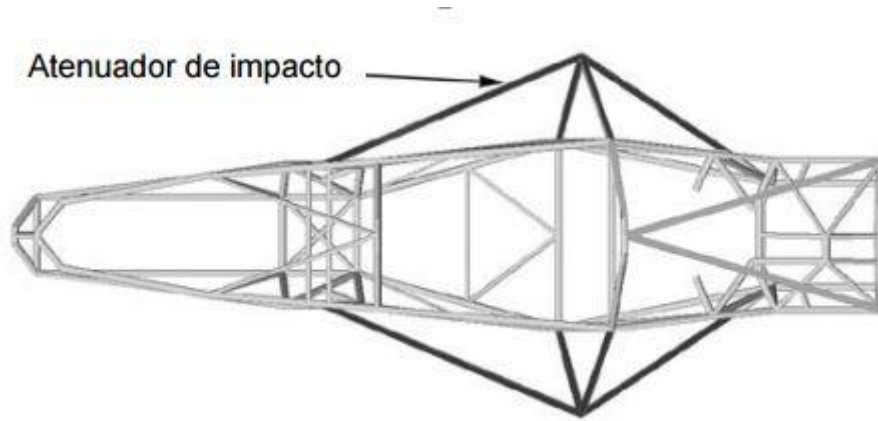
El método más utilizado para crear rigidez en estructuras tubulares es la triangulación. Mediante triangulación de subestructuras se consigue reducir notablemente la deformación máxima sufrida por el chasis, ya que la deformación producida por esfuerzos axiales es bastante menor que la producida por momentos torsores y flectores, es decir, cuando no se tiene la estructura arriostrada mediante elementos diagonales gran parte de los esfuerzos son absorbidos por los nudos en forma de momentos flexores, al arriostrarla conseguimos que este nuevo elemento de fijación esté sometido a esfuerzos axiales de manera que los nudos trabajan con un momento flexor más reducido.

En cuanto a los esfuerzos axiales hay que añadir que son preferibles a tracción que a compresión, ya que así se evita el pandeo.

El ejemplo más claro de triangulación en la estructura tubular de nuestro vehículo se puede observar en la parte delantera de éste, aplicando la técnica de triangulación en esta zona dota al carcass de una gran rigidez pero a la vez permitiendo la deformación en la parte delantera en caso de impacto frontal (los resultados se pueden observar en los

análisis de impacto frontal). Otros ejemplos de triangulación (aunque no estructural) se pueden observar en las zonas de anclajes de las suspensiones.

- Si bajamos el módulo elástico  $E$ , por ejemplo, elegimos titanio o aluminio frente al acero, para que no baje la rigidez total hay que aumentar el momento de inercia  $I$  o el área de la sección  $A$  incrementando los diámetros de los tubos.
- Los elementos que producen mucha carga (motor, suspensión,...) deberían ir fijados al chasis en puntos triangularizados.
- Deben instalarse dos tirantes longitudinales fijados al arco central y que se desplacen hacia atrás lo máximo posible.
- Las barras con una distancia entre apoyos mayores necesitan un momento de inercia mayor para aumentar la rigidez.
- Obligatorio el uso de protecciones laterales cuyas dimensiones mínimas serán de 30 mm de diámetro y 2 mm de espesor, soldadas al chasis a ambos lados del vehículo, a la altura del eje de las ruedas, y ocupando, al menos, el 60 % de la batalla. Estas estructuras se extenderán como máximo hasta la línea imaginaria que une las dos ruedas de un mismo lado.
- El chasis debe ser especialmente rígido en su parte delantera, donde se sitúan los pies del piloto.
- Los controles de la conducción deberán ser fijados lo mejor posible para que el chasis no se deforme durante la conducción.
- Para aumentar la rigidez torsional se le pueden añadir a la estructura básica los llamados sidepod que dan un mayor momento de inercia.



**Figura 23:** Sidepod, atenuadores de impacto

### 3.1.3 Ancho de vía

El diseñar unas dimensiones de ancho de vía tiene que estar justificadas mediante cálculos previos y han de aproximarse lo más posible a las dimensiones propuestas por los organismos que homologan este tipo de vehículos.

Un mayor ancho de vías nos proporcionará una mayor estabilidad que puede traducirse en un paso por curva más seguro y efectivo. Sin embargo, el aumentar el ancho de vías de nuestro vehículo, también supone que aumentemos las tensiones, cargas, y en definitiva los esfuerzos que deberá soportar el chasis, el conjunto de suspensiones y hasta la dirección, que en algunos casos puede no haber sido concebidos para ello.

El vehículo tiene que permitir un radio de giro de 4m, para que así tenga la máxima maniobrabilidad posible. Con tres vueltas de volante el piloto tiene que poder llevar las ruedas de un ángulo de giro máximo al ángulo de giro máximo opuesto para poder obtener así un cambio de dirección rápido y directo.

### 3.1.4 Espacio

Para que la estructura del habitáculo ofrezca una ergonomía válida y una seguridad suficiente para el piloto, se han tenido en cuenta los siguientes aspectos, entre los cuales el más importante es la evacuación del piloto en caso de accidente, así como la previa evaluación de su estado dentro del vehículo:



- En el diseño de la estructura en los alrededores del motor y del diferencial (si lo tiene), si hay transmisión por cadena, se debe dejar suficiente espacio para poder colocar un rango de tamaños de piñones aceptable
- Debe considerarse la facilidad de acceso para el mantenimiento de los elementos de propulsión.
- El hombre de percentil 95% debe poder entrar con comodidad en el coche con el casco puesto. La estructura no debe interferir con el conductor en los movimientos que éste realice para la conducción. Un problema particular en este aspecto son los brazos del conductor.



La línea trazada entre la parte superior de los arcos central y delantero debe superar, como mínimo, en 5 cm el casco del piloto.

Establecidas estas medidas se distribuye en la cabina de la siguiente manera basado en el modelo ``Percentil95``, que engloba al 95% de las personas de menos estatura que limita a la altura marcada por el 5% restante;

**Tabla 1:** Medidas del piloto percentil 95°

Nombre	Valor	Esquema
Longitud del pie.	30cm	
Angulo del pie con la pierna.	90°	
Longitud de la pierna.	53cm	
Longitud del muslo.	51cm	
Altura del piso a la cadera.	20cm	
Longitud del torso.	55cm	
Inclinación del torso respecto a la vertical.	15°	
Longitud del antebrazo.	35cm	
Inclinación del antebrazo con respecto a la vertical.	10°	
Longitud del brazo.	30cm	
Diámetro del casco.	35cm	

- El piloto sentado normalmente y con los arneses abrochados ha de poder tener facilidad de acceso a los elementos que forman parte de los sistemas de pilotaje, así como a todos los elementos que hacen posible el corte de los circuitos eléctricos y poder detener el motor.
- Las medidas de los pedales, la longitud y el ángulo de los pies determinan la altura de la parte frontal (delantera) y también longitud del chasis.
- El ángulo de las piernas y las dimensiones del cuerpo determinan la longitud del asiento.
- La línea de visión se utiliza para determinar la altura del arco frontal (altura del volante)
- Es muy importante una rápida evacuación del conductor si hay accidente. Por ejemplo, en la competición de Formula (FAU) es de un mínimo de diez segundos, mientras que en la competición de la Formula SAE/Student debe ser menor que 5 segundos.

### 3.1.5 El peso y su distribución

El reparto de pesos en este tipo de vehículos viene determinada por la posición del piloto y del motor, siendo una de las deficiencias más notables en este tipo de vehículos ya que debido a las reducidas dimensiones de éste, resulta complicada la ubicación de elementos básicos como puede ser el motor, batería depósitos de gasolina, etc, en la parte posterior del chasis. Es por ello que la geometría propuesta en este proyecto se ha diseñado teniendo en cuenta la importancia de avanzar el mínimo la posición del piloto.

El hecho de tener ubicados los principales elementos pesados en una misma zona hacen que el centro de gravedad del vehículo quede desplazado a la zona posterior del vehículo, por lo que el pilotaje quedará afectado en momentos grandes de aceleraciones. En un análisis de aceleración se puede comprobar que se genera poca carga en el eje delantero, por lo que la dirección quedará limitada. Para reducir el efecto anteriormente comentado

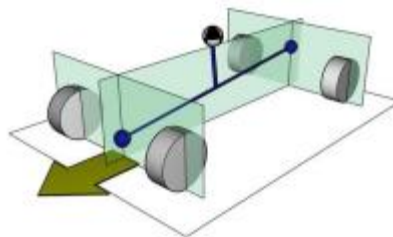
se opta por bajar el centro de gravedad lo máximo posible, cosa que disminuirá el balanceo y aumentará la estabilidad del vehículo.

Para ello, se utiliza la ubicación de elementos como depósito de gasolina y el motor estando situado lo más próximo posible al arco principal de la estructura tubular y lo más pegado al suelo del vehículo para bajar también el centro de gravedad.

- Para disminuir el balanceo, se intentará que el centro de gravedad del vehículo quede lo más bajo posible, ya que el brazo de palanca donde actuará la fuerza centrífuga al tomar una curva será menor.



Para conseguir esto, se aumentará en lo posible el ancho de vía (siempre que no se sobrepasen los 1400 mm que marca la normativa) y se situarán todos los anclajes de los elementos lo más bajo posible.



**Figura 24:** Eje de balanceo

- Cuanto menor sea el peso del chasis, respetando la resistencia y rigidez, mejor se aprovechará la potencia del motor.



En ningún momento el peso mínimo del vehículo podrá ser inferior a 310 kg sin piloto, sin combustible, sin agua en el pulverizador y en orden de marcha.

### 3.1.6 Coste de producción

Para que el costo final no sea demasiado elevado y hacer un buen diseño de un chasis se deben de tener en cuenta varios aspectos relacionados con los costos de producción y para ello hay que fijarse en los siguientes requerimientos:

- La normativa expone que las barras de los arcos delantero y central sean de 40 mm de diámetro y 2 mm de espesor como mínimo y el resto de barras de 35 mm de diámetro y 1,5 mm de espesor.
  - ✓ La selección de barras debe ser lo menos varada posible en cuanto a diámetros.
- Se intentará disminuir en lo posible el número de barras curvadas, así como el número de uniones.
- El número de soldaduras ``a tope`` debe ser el mínimo posible. Ello se consigue pidiendo perfiles tubulares extra largos (barras lo más largas posibles).
- Otro elemento que puede variar los costes de fabricación es el tipo de equipamiento que utiliza el calderero.

### 3.1.7 Ingeniería inversa

En cualquier proceso de diseño, cuando se habla de ingeniería inversa nos referimos al conjunto de procesos que se llevan a cabo para analizar y estudiar un elemento real y llegar a las conclusiones pertinentes.

Para diseñar el chasis se ha seguido el siguiente proceso de ingeniería inversa:

1. Obtención de fotografías de varios chasis de buggies de acuerdo a la competición destinada.
2. Selección de los modelos que más se ajustan a nuestras hipótesis de diseño considerando las ventajas y desventajas de cada uno.

3. Obtención del mayor número de medidas y datos de los modelos a considerar, junto con los criterios de diseño y normas RFEDA.
4. Con la idea de nuestro diseño preliminar procedemos al diseño con el programa Solid Works.
5. Una vez dibujado el diseño preliminar se buscan los errores de diseño y se proponen mejoras para optimizar el modelo al máximo, siempre teniendo en cuenta la normativa de seguridad.
6. Una vez validado el diseño se procede a la aplicación de las propiedades del material elegido, tipo de soldadura,.. para continuar con el análisis.
7. Se procede al análisis y a la posterior validación final.

### **3.2 SELECCIÓN DE DIFERENTES TIPOS DISEÑOS DE CHASIS PARA CARCROSS**

En relación a estos criterios se han seleccionado diferentes diseños de chasis de Carcross que pueden asociarse a esta competición, con las ventajas y desventajas que puede aportar cada uno de ellos en base a estos criterios, con el fin de conseguir una base para la realización de nuestro diseño y mejorar los defectos que otros chasis pueden tener ofreciendo una estructura tubular completa en cuanto a la relación rigidez, peso y coste de producción.

A continuación se muestran los diferentes tipos de chasis seleccionados:



**Figura 25:** Chasis tipo 1

#### **Características:**

- Dos arcos principales.
- Zona de los pies del piloto protegida pero poco triangularizada.

- Protección lateral del piloto reforzada con una barra en diagonal que une los dos arcos principales. Sin embargo, la disposición triangular no es correcta.
- Dos tubos pequeños en la parte superior del arco trasero protegiendo al piloto de posibles cargas en el eje Z.
- Espacio para la cómoda conducción del piloto adecuada.
- Zona de elementos del vehículo (motor, etc) protegida con dos barras a media altura que unen el arco central trasero.
- Carencia de sidepod.
- Pocas barras extra largas.
- Visión del piloto un poco escasa.



**Figura 26:** Chasis tipo 2

### **Características:**

- La zona lateral del habitáculo del piloto muy reforzada y con disposición triangular adecuada.
- Los pies del piloto protegidos ante impactos frontales. Sin embargo, ante los impactos laterales se ve reducido.
- El espacio reducido entre la protección lateral y las barras de unión superiores de los semiarcos puede dificultar su evacuación del habitáculo del piloto en el tiempo requerido.
- La parte de los elementos principales mecánicos así como el motor, etc no están lo suficientemente protegidas.
- Poca visibilidad del piloto.
- Carencia sidepod
- No tiene dos semiarcos totales principales

- Exceso de curvaturas
- Este chasis es bastante característico ya que se diferencia en muchos aspectos del resto de diseños.



**Figura 27:** Chasis tipo 3

### **Características:**

- La zona delantera de los pies del piloto está bien protegida
- La zona de evacuación del piloto es amplia.
- Mucha visibilidad para la conducción del piloto.
- Protección del piloto frente a impactos en el eje Z escasa.
- El motor y demás elementos mecánicos sin ningún tipo de protección ante impactos de otros vehículos.
- No presenta base para sujetar los amortiguadores en la parte trasera, ni tampoco el sistema de suspensión posterior.
- Los estribos laterales excesivos pudiendo exceder la anchura marcada por la normativa. Tiene un aspecto visual contradictorio.
- Ingreso del habitáculo con problemas de ergonomía.
- La estructura se encuentra prácticamente sin triangularizar.
- Diferentes tipos de barra, no sería homologable para la competición.



**Figura 28:** Chasis tipo 4

**Características:**

- Parte frontal con 3 planos diferentes.
- Protección lateral cubriendo el 60% de la batalla.
- El habitáculo del conductor es amplio y la zona de evacuación del piloto es muy grande, no tendría inconveniente en cumplir la normativa.
- Alguna barra extra larga.
- Exceso de curvaturas.
- Estructura con muy poca disposición triangular.
- Los pies del piloto protegidos ante impactos frontales.
- Visibilidad de conducción adecuada.
- Largura del chasis parece excesiva para cumplir la normativa de la RFEDA.



**Figura 29:** Chasis tipo 5

**Características:**

- Un solo arco principal.
- Zona delantera con tres planos diferentes.



- Los elementos que se ubican en la zona trasera del vehículo se encuentran bien protegidos ante los golpes traseros de los otros participantes.
- Zona de habitáculo de evacuación del piloto amplia y sin problemas para la evacuación.
- Pocas uniones entre barras.
- Protección lateral del habitáculo del piloto muy escasa.
- La zona de los pies del piloto se encuentra sin apenas rigidez.
- Carencia en el semiarco delantero del habitáculo del piloto de barras que refuercen los impactos en el eje Z.
- Mucho mayor peso atrás que en la parte delantera del vehículo permitiendo la pérdida de adherencia en las curvas al acelerar.
- La parte inferior del chasis con una chapa metálica pero sin refuerzos.
- Carencia sidepod.



**Figura 30:** Chasis tipo 6

### **Características:**

- Un arco central principal.
- Parte delantera con un único plano.
- Estructura con disposición triangular adecuada.
- Arco central triangularizado con barra en diagonal.
- El piloto se ve bien protegido frente a los impactos laterales.
- La zona de los pies del piloto rígida.
- Habitáculo del piloto con ergonomía adecuada, con espacio suficiente para la cómoda conducción del piloto y su evacuación en caso de accidente.

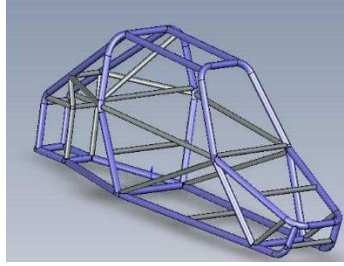
- Visibilidad del piloto adecuada.
- Semiarco frontal sin ninguna barra en horizontal que la refuerce.
- Carencia de sidepod
- Zona trasera de los elementos mecánicos como el motor reforzada en la parte superior con unas barras que unen el semiarco trasero con el central.
- La zona trasera inferior no se aprecia.



**Figura 31:** Chasis tipo 7

### **Características:**

- Doble plano en la parte frontal del vehículo.
- Habitáculo del piloto muy amplio sin problemas para la evacuación.
- Zona trasera protegida ante impacto de otros participantes.
- Refuerzos ante impactos en el eje Z con dos tubos pequeños en la parte superior del arco central.
- Pies del piloto suficientemente rigidez, pero sin disposición triangular.
- Protección lateral sin triangularizar.
- Los estribos laterales causan un efecto visual contradictorio, además de ser escasos.



**Figura 32:** Chasis tipo 8

**Características:**

- Dos arcos principales: arco central y el arco frontal.
- Estructura con disposición triangular adecuada.
- Arco central reforzado con dos barras horizontales en la parte media e inferior además de otra barra en diagonal en la parte superior.
- Los pies del piloto se encuentran perfectamente protegidos, esa zona es especialmente rígida.
- Los elementos del vehículo se encuentran a salvo de los impactos que pueden sufrir por la parte trasera. Perfectamente protegidos.
- El piloto se encuentra muy bien reforzado ante los impactos laterales que puede sufrir con una barra que unen los dos arcos principales y otra en diagonal.
- El piloto no tendría inconveniente en abandonar el vehículo en el tiempo requerido en caso de evacuación.
- Quizá se podría proteger algo más los impactos en el eje Z del arco delantero
- Carencia sidepod o estribos lateral que refuercen los impactos laterales.
- Parte inferior del chasis sin triangularizar.



**Figura 33:** Chasis tipo 9

### **Características:**

- Dos arcos principales: arco central y frontal.
- Parte trasera superior bien reforzada con disposición triangular.
- Habitáculo del piloto amplio sin problemas para su evacuación y su cómoda conducción.
- Peso en la parte delantera y trasera del chasis nivelado para un centro de gravedad más centrado y conseguir mayor adherencia en las curvas.
- Protección lateral que cumple el 60% de la batalla.
- La barra que refuerza el lateral del piloto muy escasa y sin triangularizar. Sin suficiente rigidez aparentemente ante impactos laterales.
- La zona donde se ubican los pies del piloto suficientemente rígida.

### **3.3 MODELADO DEL CHASIS**

En base a estos diferentes tipos de chasis observando los aspectos positivos y negativos en relación a los criterios de diseño antes mencionados se ha procedido al diseño del chasis. El diseño se basa en los diseños anteriormente mencionados obteniendo las características positivas de algunos de ellos y con ello crear el nuevo chasis.

En base a todo lo escrito hasta aquí, se va a explicar paso a paso todas y cada una de las fases de modelado del chasis, realizado con el software Solid Works 2016 x64 edition.

Con el programa abierto, se pincha en pieza sólida para comenzar a dibujar nuestra pieza, el chasis. A continuación en relación al siguiente algoritmo de diseño, se explicará cada una de las fases del modelado del chasis.

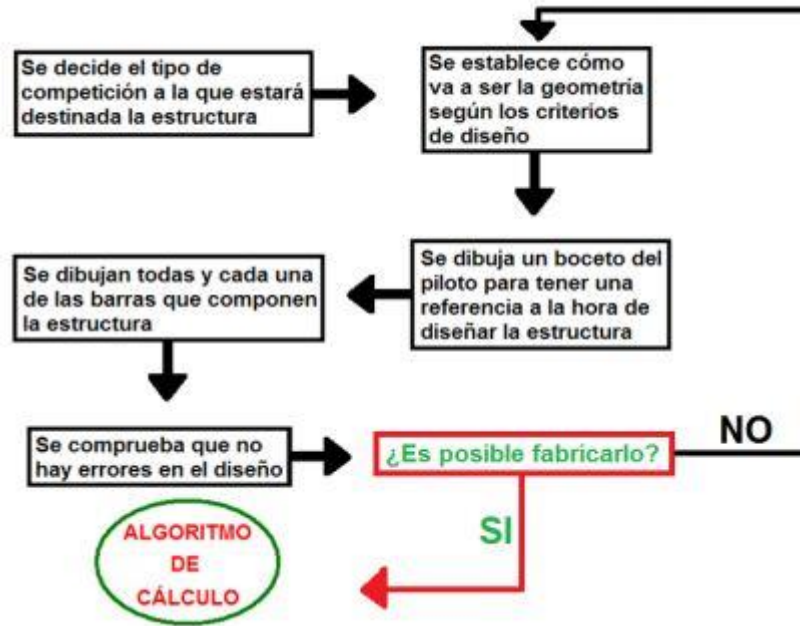


Figura 34: Algoritmo de diseño

### 3.3.1 Boceto del piloto

Lo más importante a la hora de diseñar el chasis es garantizar que el piloto no sufrirá daño alguno en caso de accidente, pudiendo ser evacuado con facilidad. Para ello, lo primero que se diseña es un boceto del piloto teniendo en cuenta las medidas del hombre percentil 95, anteriormente mencionadas, y todo lo demás será dibujado teniendo en cuenta su posición en el vehículo.

Para ello se selecciona el plano correspondiente y seleccionando en croquis se empieza a dibujar el boceto del piloto.

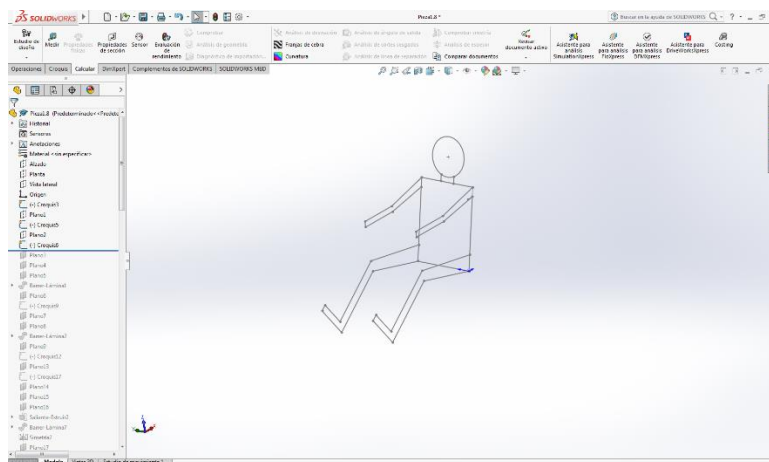


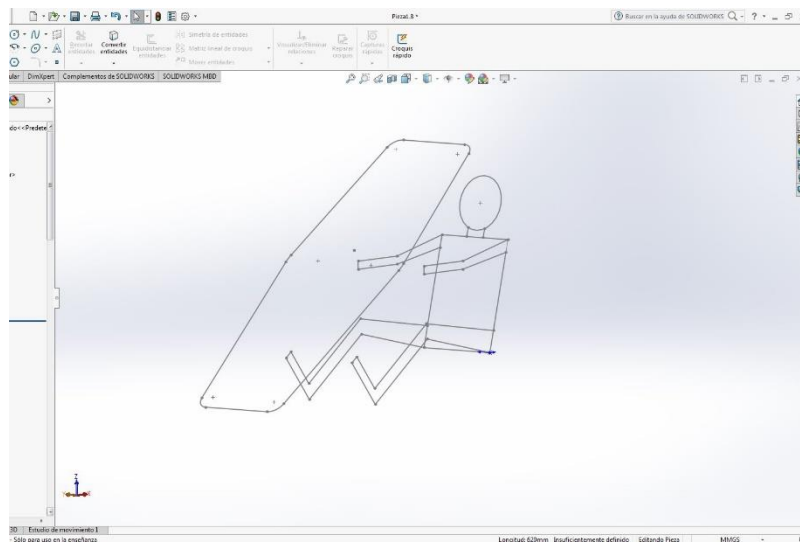
Figura 35: Boceto del piloto

Este dibujo está realizado a base de varios croquis con distintos planos ya que resulta imposible dibujar todo el piloto en un solo plano.

### 3.3.2 Arco delantero

Una vez dibujado el piloto, se va a diseñar el arco delantero, teniendo en cuenta los criterios de diseño iniciales. Para ello, se va a crear un nuevo plano en relación a tres puntos que se sacan del dibujo del piloto en relación a los pies, manos y visión, para que tenga la inclinación adecuada, donde se creará el croquis del arco delantero.

Una vez seleccionado el plano, se dibuja la trayectoria del arco delantero. Para ello, se usarán las herramientas que nos proporciona el croquis para crear líneas, radios de acuerdo, etc.



**Figura 36:** Trayectoria y boceto del modelo

Una vez realizados los pasos anteriores, se selecciona un punto de la trayectoria del arco delantero realizando un plano perpendicular a la trayectoria en ese punto, en el que se dibujará el croquis de la sección circular del tubo.

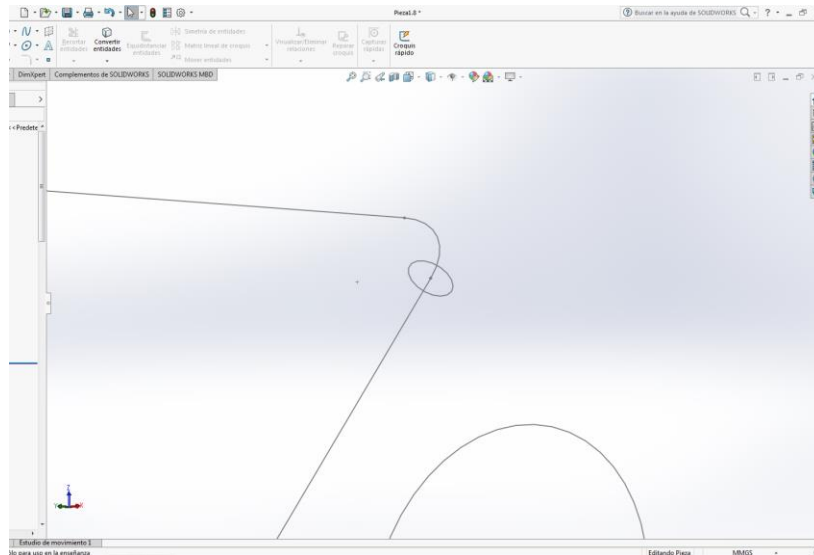


Figura 37: Sección circular del arco delantero

Se trata de una sección circular de 40 mm de diámetro con 2 mm de espesor. Para realizar el arco delantero se utiliza la herramienta barrer-lámina en la que seleccionamos el croquis circular y la trayectoria del arco delantero a cubrir. En dicha herramienta, utilizando la opción de operación lámina, le damos a la circunferencia un espesor de 2mm hacia el interior.

El resultado final del arco delantero se representa en la siguiente figura. Se deben realizar operaciones posteriores en dicho arco, como el dibujo del tubo central o el tubo inferior.

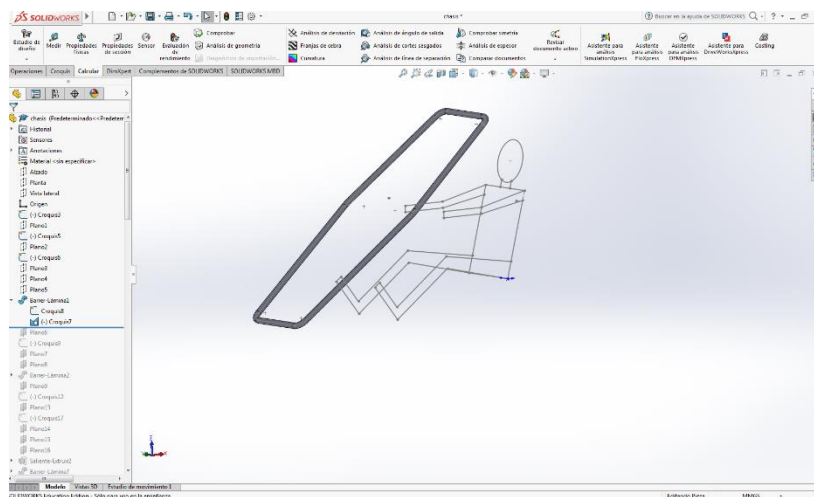


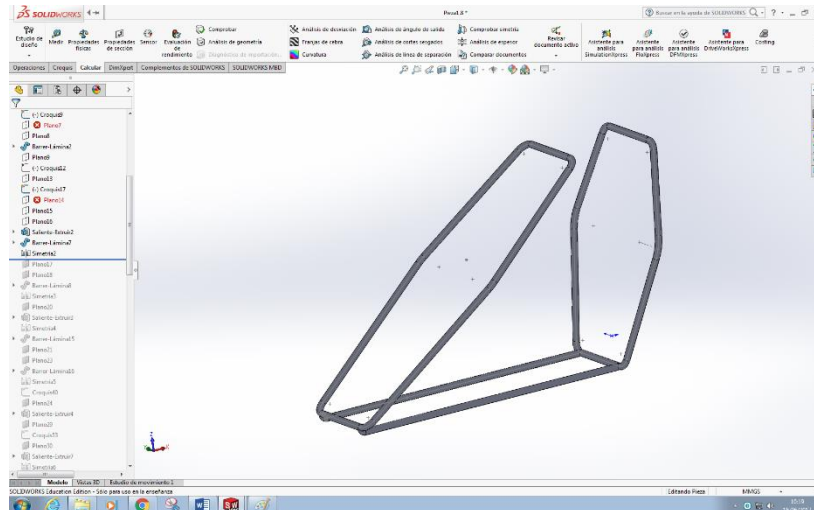
Figura 38: Arco delantero y boceto del piloto

Como se puede observar en la figura X, tanto los pies como la cabeza guardan la distancia necesaria que establece la normativa para garantizar que el piloto no sufra daños en caso de accidente.

### 3.3.3 Arco central y barras longitudinales

De forma similar a como se ha dibujado lo anterior, se realizan las barras longitudinales para unir el arco delantero con el arco central. Estas barras posteriormente se alargarán hasta la parte trasera del chasis donde se unirán los semiarcos traseros. Las dimensiones circulares de estas barras serán las mismas a las del arco delantero. Estas llevarán encima el asiento del piloto, el motor y parte de los componentes del mismo. La longitud total de estas barras, ya que comprenden la totalidad del vehículo, no debe superar los 2600mm.

Una vez diseñada la parte inferior del chasis es momento de crear el arco central, una pieza fundamental en el conjunto debido a que el cuerpo del piloto se encuentra cerca del mismo, lo que le protegerá en caso de accidente. Por ello, se debe diseñar con menos caída que el delantero para que vaya solidario al piloto. Se ve en la figura 39 junto con las barras longitudinales:



**Figura 39:** Barras longitudinales y arco central

### 3.3.4 Barras de unión del arco delantero con el arco central

Para dibujar estas dos barras de unión se crea un plano que una el arco delantero y el arco trasero en la parte superior en los puntos adecuados. En este plano realizaremos un croquis con la herramienta sidepod dibujando la línea de la trayectoria de las barras de unión con



la curvatura especificada. Después de la misma manera que hemos realizado las anteriores barras se crea un plano perpendicular a dicha trayectoria dibujando ahí la sección circular y utilizando próximamente la herramienta antes mencionada barrer-lámina.

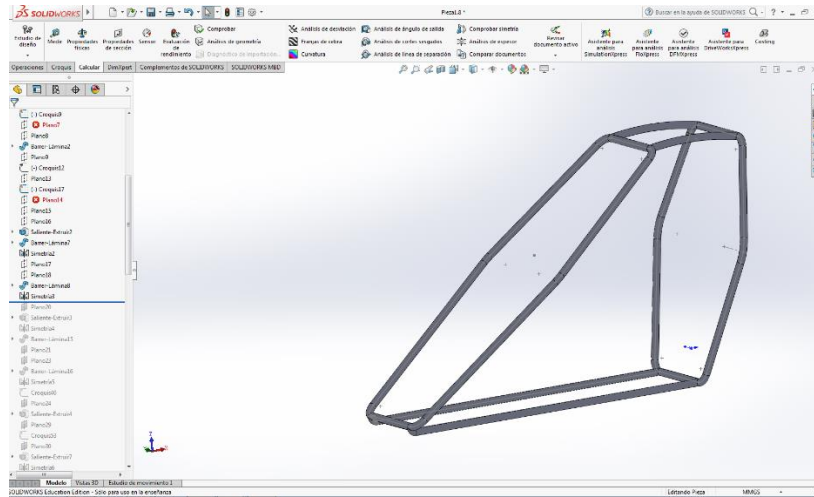


Figura 40: Barras de unión superiores

### 3.3.5 Semiarcos traseros

Se encargarán de unir el arco central con las barras longitudinales del suelo del vehículo, además de alojar en su interior toda la parte mecánica del vehículo: motor, puente de transmisión, electroventilador, depósito de combustible,...La normativa expone que todas las piezas unidas a estos semiarcos no pueden sobresalir de los mismos, debiendo quedar perfectamente fijadas en su interior. La figura 41 muestra el resultado:

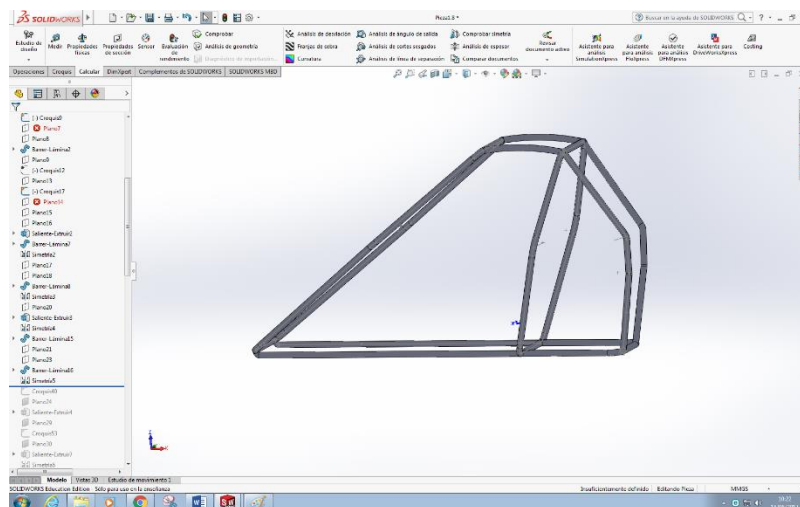


Figura 41: Semiarcos traseros

Una vez realizada la trayectoria y la operación de uno de los semiarcos traseros se utilizó la herramienta de simetría donde seleccionamos la operación a la que realizar la simetría y el plano sobre el que se quiere efectuar.

### 3.3.6 Barras laterales

Se unen los arcos creados con unas barras longitudinales, de la parte delantera a la trasera, para proteger al piloto de posibles golpes laterales, sobre todo en la parte central, donde está el cuerpo del mismo. Además estas barras proporcionan rigidez al conjunto.

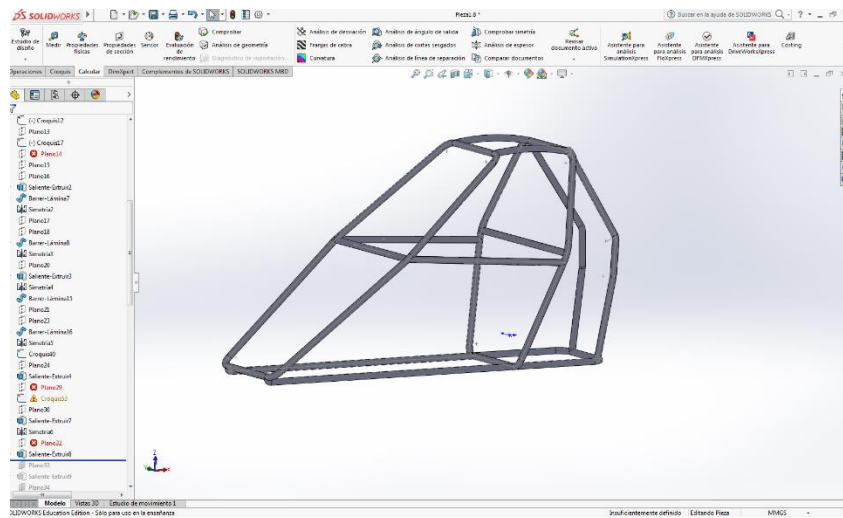


Figura 42: Barras laterales de unión entre arcos

En la figura se muestra la barra transversal creada a la espalda del piloto. Su función es la de disminuir las deformaciones laterales que se producen en caso de accidente, impidiendo alcanzar el cuerpo del piloto.

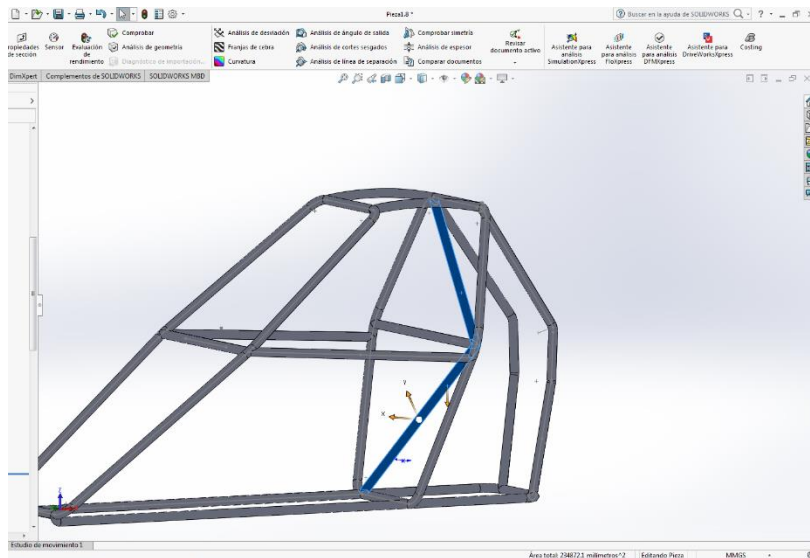
Las uniones de las barras laterales con el arco central irán más debajo de la unión de la barra transversal para facilitar su evacuación en caso de accidente.

Estas barras se realizarán mediante la operación de extruir, realizando un croquis de dos circunferencias de 20 y 18mm de radio, e indicando realice la operación hasta la siguiente superficie.

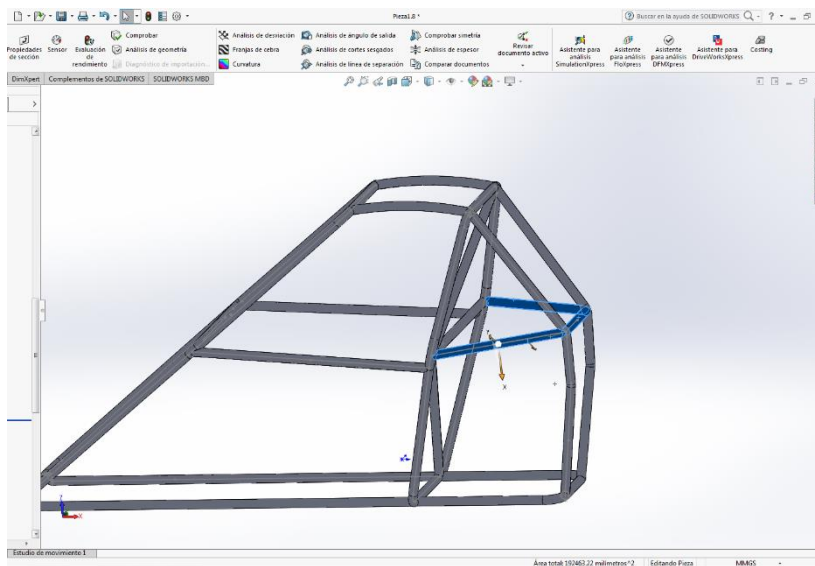
### 3.3.7 Barras diagonales del arco central y semiarcos traseros

Para reducir las deformaciones en caso de accidente y aportar mayor rigidez tanto al arco central como a los semiarcos traseros, donde irán alojados los elementos del vehículo, se añaden dos barras opuestas en diagonal en el arco trasero. Del lugar donde hace unión la

barra en horizontal ubicada en la espalda del piloto, será donde se hará la unión de las barras que van a los semiarcos traseros. En las dos próximas figuras podemos apreciarlas:



**Figura 43:** Barras diagonales arco central

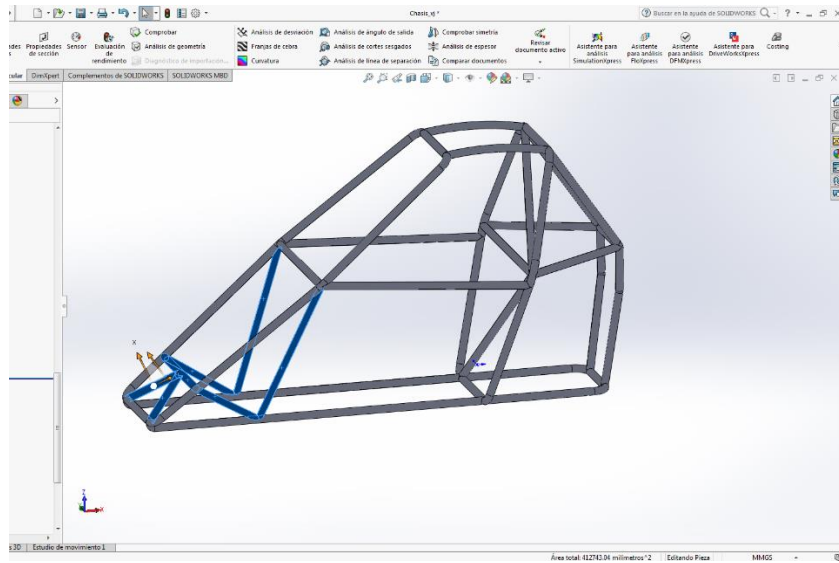


**Figura 44:** Barras refuerzo semiarcos trasero

### 3.3.8 Semiarco delantero y refuerzos frontales

En los criterios de diseño previamente expuestos se hace mención a que la parte frontal donde se ubican los pies del piloto debe ser especialmente rígida ante los impactos frontales en caso de accidente. Para ello, se le añade dos barras al diseño desde la unión de la barra de protección lateral con el arco delantero hasta la parte inferior del chasis. Posteriormente se le añaden otras cinco barras en la parte frontal con una disposición

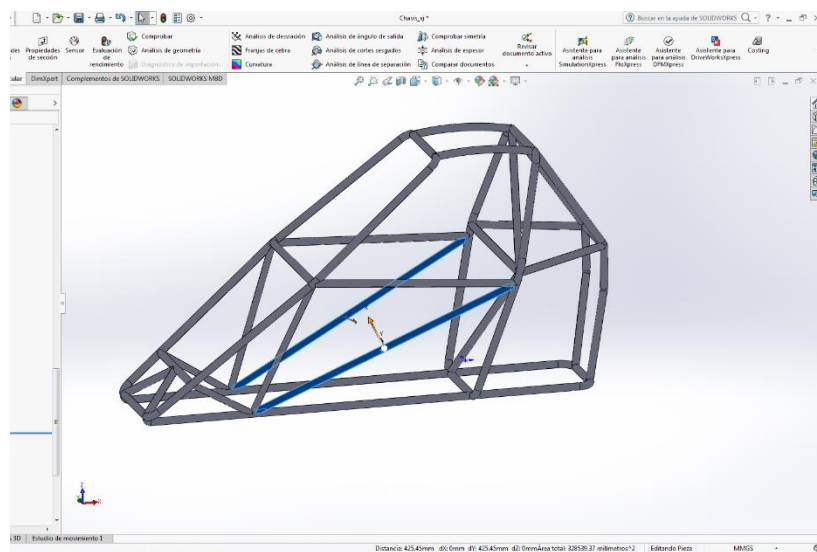
triangular, de manera que sea más rígido. En la siguiente figura se pueden observar estos refuerzos marcados en azul:



**Figura 45:** Semiarco delantero y refuerzos frontales

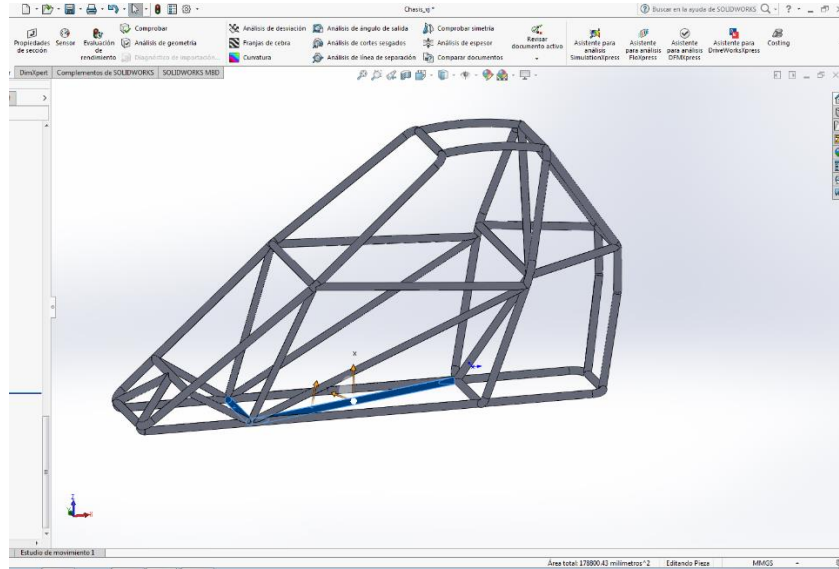
### 3.3.9 Refuerzo de protección lateral y parte inferior del chasis

Con el fin de reforzar los impactos laterales que puede sufrir el piloto se le añade a la estructura tubular una nueva barra en diagonal a cada lateral uniendo el semiarco delantero con el arco central triangularizando la estructura y haciéndola más resistente a posible fuerzas en ese eje.



**Figura 46:** Refuerzos de protección lateral

Para reforzar la base de toda la estructura, es decir, la base del chasis, se han colocado dos barras para conseguir suficiente rigidez. Una de manera transversal en la parte inferior del semiarco delantero y la otra uniendo esta última barra con el arco trasero.

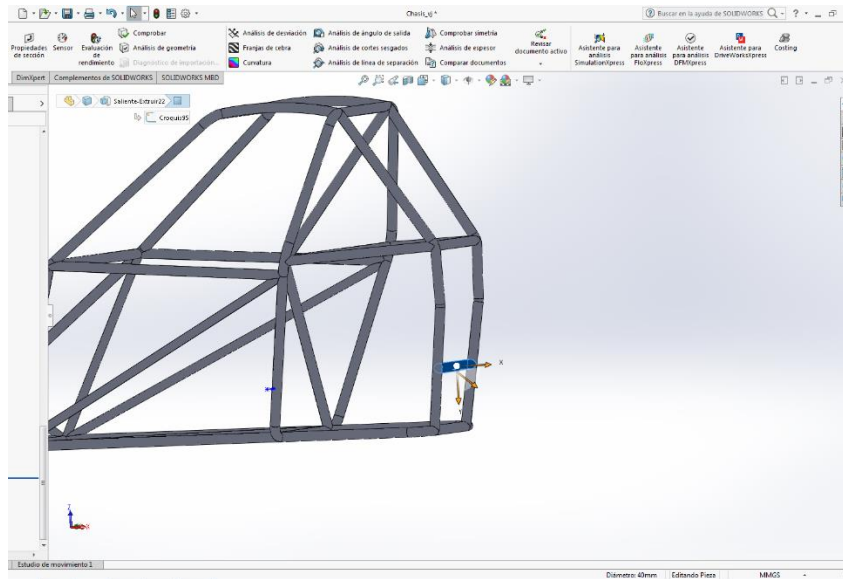


**Figura 47:** Refuerzos parte inferior del chasis

### 3.3.10 Refuerzo inferior semiarcos traseros

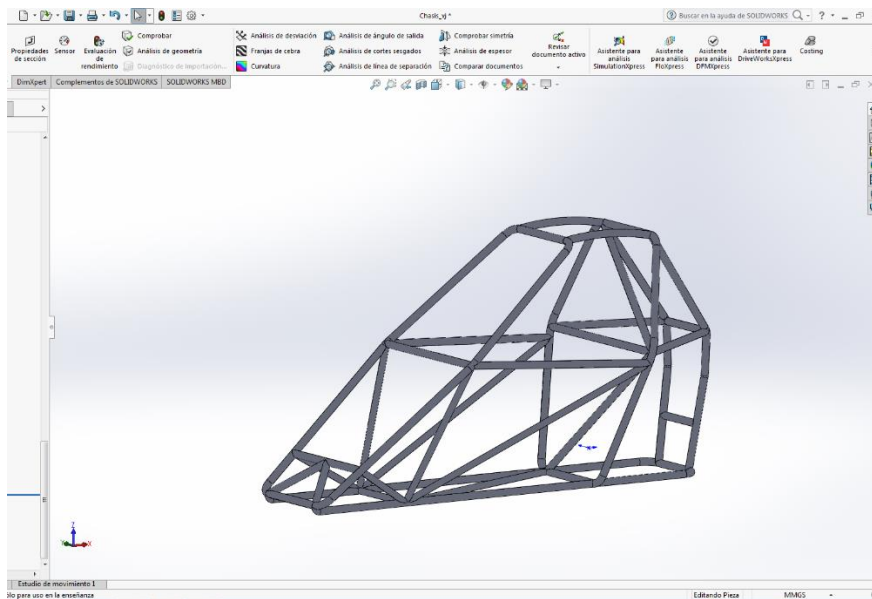
Con el objetivo de proteger los elementos del vehículo tales como motor, etc de los impactos que pueden sufrir por parte de otros participantes en la zona posterior del chasis, se le añade una última barra en horizontal entre los dos semiarcos traseros en la zona inferior. A continuación se observa en la figura 48:

## Diseño de un chasis tubular para un vehículo Carcross- UPNA



**Figura 48:** Refuerzo inferior semiarcos traseros

A continuación se muestra el resultado del diseño completo:



**Figura 49:** Diseño final

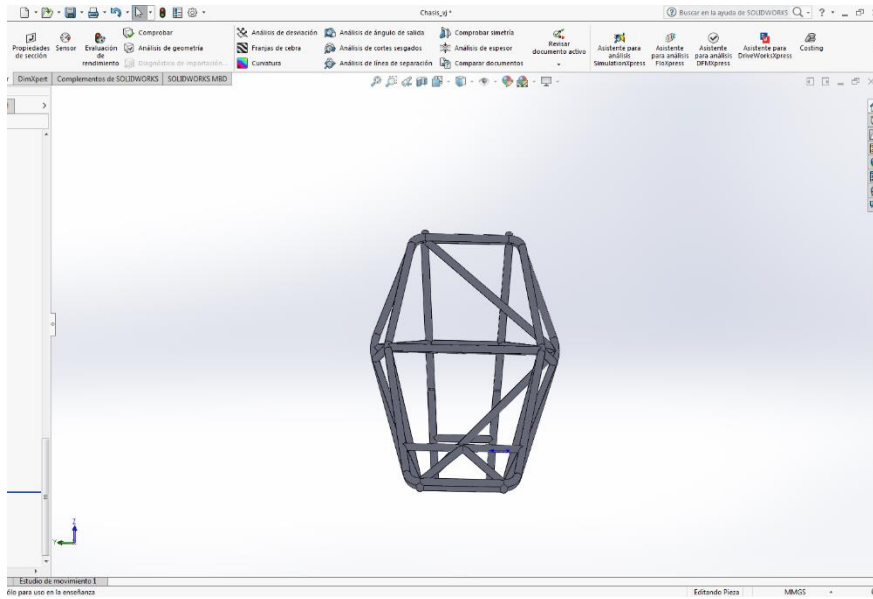


Figura 50: Vista frontal del diseño final

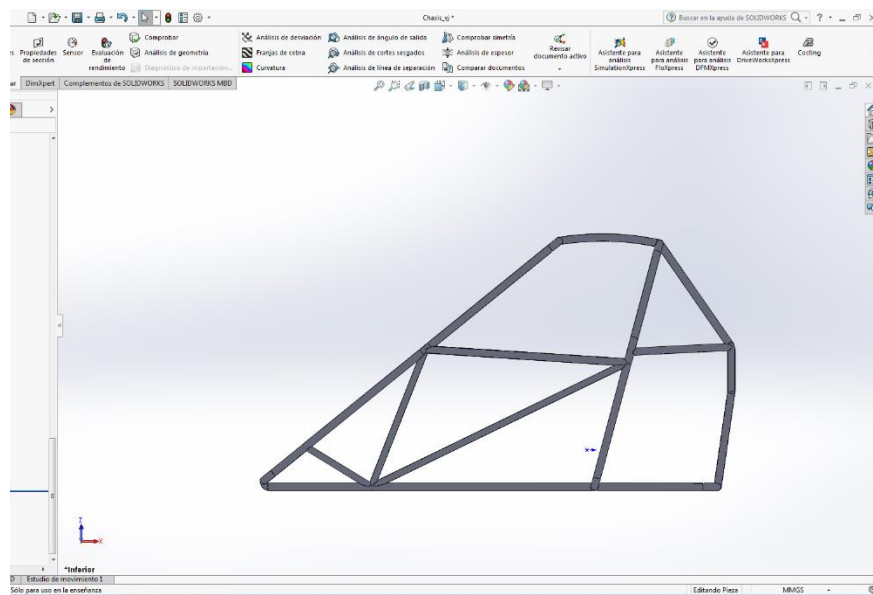


Figura 51: Vista de perfil del diseño final

### 3.4 FABRICABILIDAD DEL DISEÑO PROPUESTO Y PROCESO DE FABRICACIÓN

El diseño de un chasis tipo Carcross debe tener una relación entre buena resistencia poco peso y espacio, todo ello unido al menor precio final posible. En este tipo de estructuras hay que tener en cuenta múltiples y diversos factores a la hora de diseñarlas. Es necesario comprobar la posibilidad de que el chasis diseñado pueda ser fabricado. El ingeniero calculista debe de tener en cuenta las herramientas de las que dispone el calderero, el

coste de fabricación, los tipos de tubos que existen en el mercado, el coste de los mismos, los tipos de unión, la posibilidad de curvar los tubos, etc.

A continuación detallamos las características de los diferentes materiales elegidos para fabricar el chasis tubular, especificando las características mecánicas.

Primeramente cabe destacar las razones primordiales para la elección del material del cual va a ser construido el chasis del Carcross para el cual utilizaremos un perfil circular.

Según la normativa de la RFEDA para este tipo de competición, el chasis debe estar construido por acero al carbono, no aleado, estirado en frío, sin soldadura, es decir, que el perfil no debe estar fabricado a partir de una chapa curvada y soldada a lo largo de una línea, y con un contenido máximo en carbono del 0,3%.

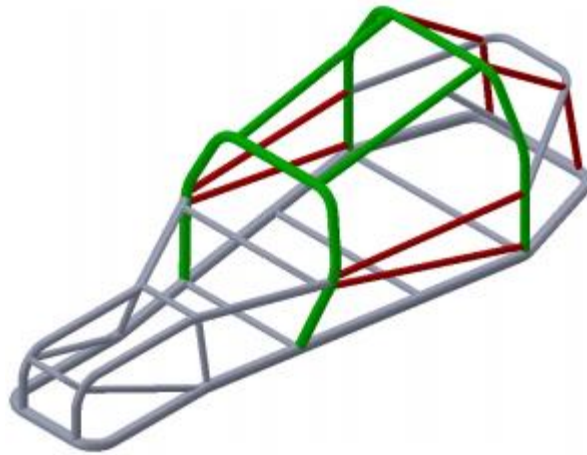
Se considera que un acero al carbono no aleado puede contener, como máximo, los siguientes porcentajes de componentes en su composición:

**Tabla 2:** Contenido máximo de elementos de aleación en un acero considerado no aleado

<b>Elemento</b>	<b>Contenido</b>
Aluminio	0,1
Bismuto	0,1
Boro	0,0008
Cobalto	0,1
Cobre	0,4
Cromo	0,3
Manganeso	1,6
Molibdeno	0,08
Novio	0,05
Niquel	0,3
Plomo	0,4
Silicio	0,6
Titanio	0,05
Vanadio	0,1
Volframio	0,1
Lantánidos	0,05
Otros excepto (P, C, N y O)	0,05

En cuanto a las dimensiones de los tubos que conforman la estructura de seguridad (barras resaltadas en verde y rojo en el diseño de la figura 52 deberán ser como mínimo las reflejadas en la tabla 3;





**Figura 52:** Diseño mínimo Carcross y Carcross Junior

**Tabla 3:** Dimensiones de tubo mínimas para Carcross y Carcross Junior

	Dimensiones mínimas [mm]
Tubo Verde	Ø40 x 2
Tubo Rojo	Ø35 x 1,5
Resto Tubos	Ø35 x 1,5

Para este diseño se ha utilizado un tubo de 40 mm de diámetro y 2 mm de espesor, variando lo menos posible el diámetro a lo largo de todo el diseño para economizar el proceso de fabricación. Los perfiles tubulares poseen una serie de características generales en cuanto a resistencia se refiere:

- Los perfiles tubulares admiten elementos más esbeltos que los perfiles abiertos para una misma carga de compresión centrada y bajo las mismas condiciones.
- La rigidez a torsión es la más elevada de todos los perfiles comerciales de acero. Su comportamiento es inmejorable frente al pandeo lateral o alabeo.
- Su comportamiento es próximo al de un IPN.
- El empleo de uniones soldadas en toda su sección hace que dicha sección se utilice al completo a tracción.
- Las estructuras de perfiles tubulares ofrecen mayor resistencia al fuego que las de perfiles abiertos debido a la menor superficie expuesta al fuego con relación a la masa (menos factor de forma/masividad).

Según el reglamento de estructuras de la RFEDA *“al fabricar un chasis tubular con la estructura de seguridad integrada, es muy recomendable usar un acero al carbono con un grado equivalente o superior al ST52/E355, dadas sus propiedades mecánicas”*. Por ello para este diseño, se va a escoger un acero de calidad S355 J2H ya que el chasis está diseñado a la competición con pruebas muy exigentes en las que la estructura debe aguantar todo tipo de sollicitaciones. Las características mecánicas y físicas de este tipo de material se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4:** Propiedades físicas y mecánicas del S 355 JOH

Densidad	7850kg/m <sup>3</sup>
Módulo de Young (E)	210000 MPa
Coefficiente de poisson (ν)	0,3
Coefficiente de dilatación térmica	1,2*10 <sup>-5</sup> (°C) <sup>-1</sup>
Límite de tracción ( $f_u$ )	510 ≤ ( $f_u$ ) ≤ 680 MPa
Límite elástico ( $f_y$ )	355 MPa
Resiliencia (a -20°)	27J

A continuación se exponen algunas de las ventajas de este acero:

- Atractivo económicamente, comparado con otros materiales como titanio o aluminio.
- Estado de la superficie lisa, resultante de la laminación.
- Estado de la superficie poco calaminada y bien adaptada a la pintura.
- Regularidad del espesor y tolerancias reducidas (inferiores a 5 mm).
- Modo de fabricación adaptado a las exigencias del elevado límite de elasticidad.
- Estructura granular fina.
- Buena soldabilidad.
- Material dúctil, por lo que puede ser curvado.
- Módulo de elasticidad superior al de muchos otros materiales como titanio o aluminio, lo cual aumenta la rigidez para un mismo tamaño de sección.

El perfil exigido por la normativa [6] presenta un contenido en carbono muy bajo y no contiene aleantes, teniendo muy buenas propiedades en cuanto a soldabilidad se refiere.

Es por ello que la unión entre barras será mediante soldadura pero antes los tubos deberán ser preparados en sus bordes para garantizar el perfecto acople con el resto de tubos y facilitar así la tarea de soldadura.

#### 3.4.1 Método de fabricación

Con todo el tipo de material y con todo el equipamiento listo, se procede a fabricar el chasis. Los costes del proceso de fabricación de la estructura tubular tiene una parte importante del coste total del vehículo, por este motivo se tienen que planificar y llevar a cabo con mucho cuidado.

Hay varias maneras de abaratar los costes de fabricación que encontramos en nuestro proyecto. Una de ellas es la diseñar previamente el chasis en el Software Solid Works donde se indica toda la estructura con medidas exactas, así no se pierde ni tiempo ni material. Otra de las maneras de reducir costes es optar por comprar tubos de dimensiones extra largas y del mismo diámetro y espesor, reduciendo de esta manera la cantidad de material y el número de uniones soldadas. El trabajo en el taller para la producción de la estructura tubular tiene que seguir un proceso unidireccional y una vez tengamos todos los materiales necesarios para la construcción seguimos los siguientes pasos:

- Corte de tubos y chapas
- Curvado de barras
- Soldadura
- Tratamiento superficial de la estructura

En el caso de las barras soldadas entre sí, el corte de los extremos tiene que incluir la preparación de las barras para la unión. Para obtener el corte necesario es fundamental una compensación automática de las tolerancias.


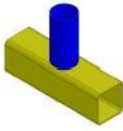

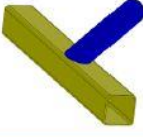

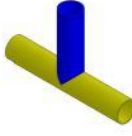

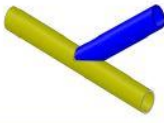
##### *3.4.1.1 Cortes de tubos*

El método más utilizado para el corte de los tubos es el corte por soplete y el corte por aserrado. Dado que se trata de una estructura tubular compleja es preferible el corte por aserrado, ya que el costo es más bajo y ofrece mayor sencillez de ejecución. Para realizar el corte se dispone de varias herramientas:

- Muela rectificadora: Corte rápido, impreciso y con rebabas considerables.
- Disco dentado de acero: Proceso rápido e impreciso
- Fresadora: Velocidad de corte baja, precisión de corte excelente y ausencia total de rebabas.

Al finalizar el proceso de corte es necesario preparar el borde del perfil para que asiente correctamente en otro, de manera que al momento del soldado no se utilice un exceso de soldadura y se obtenga un cordón adecuado. Los tipos de perfiles utilizados en las uniones en tubos redondos y cuadrados se muestran en la tabla 5:

**Tabla 5:** Perfiles utilizados en tubos redondos

Tubo redondo		
Tipo de borde	Imagen	Ensamble
Corte recto o escuadra		
Corte en ángulo		
Corte boca de pescado		
Corte tipo silla de montar		

Dado a que casi todas las uniones que se dan en la fabricación de la estructura tubular son inclinadas, la ausencia de chaflanes representa un ahorro considerable de horas de taller y por lo tanto de costes de fabricación.

### 3.4.1.2 Cortes de las barras

El curvado de barras en frío se puede realizar de varias maneras. Se deben de tener en cuenta algunos fenómenos colaterales que pueden aparecer como elongación del tubo, ovalización de la sección, pliegues en la zona interior y reducción de la zona alargada. Para evitar estos problemas son convenientes los siguientes acondicionamientos:

- Alta resistencia a la rotura
- Límite elástico bajo
- Alargamiento considerable a la rotura a tracción

Las máquinas que normalmente se usan para hacer este tipo de procesos son:

- **Curvadora de rodillos:** como el propio nombre indica, posee tres rodillos que curvan el perfil según convenga. Permite un radio de curvado en función del diámetro muy grande.



Figura 53: Curvadora de rodillos

- **Curvadora hidráulica:** se empuja al tubo contra unos bulones que hacen de tope y que se pueden regular para modificar el radio de curvatura y el ángulo. La fuerza es generada por un bombín hidráulico que generalmente oscila entre 12 y 16 toneladas.

Si no se realiza un buen curvado simplemente no va a dar la forma ni la medida correcta. El trazado se realizará al centro de la curva y en la máquina se verifica el ángulo del dobles, otra forma es realizando un molde del ángulo en varilla y luego copiando a la dobladora.

### *3.4.1.3 Soldadura*

El método de soldeo elegido para la fabricación del vehículo Carcross será por arco metálico con electrodo revestido en la cual, el material de aporte es un electrodo cubierto por un aislante que protegerá al proceso de formación de la soldadura y una vez fundido, se deposita en el cordón de soldadura. Aquí se formará una capa de escoria que una vez aplicado el cordón de soldadura deberá ser eliminada con un cincel u otra herramienta. También se puede aplicar la soldadura por puntos, la cual consiste en fijar el tubo provisionalmente mediante el punteo, para poder medir la posición y observar si es la correcta. Una vez se ha visto que la posición es correcta se aplica el cordón definitivo.

Para garantizar que una vez soldada la estructura no sufrirá rotura alguna, en la soldadura revestida por arco metálico se deben utilizar electrodos cuya resistencia a la tracción sea mayor que la resistencia a tracción de los tubos. Es decir, para el acero S 355 J2H que se utiliza para la fabricación de esta estructura tubular, su resistencia a la tracción es de 680MPa, por lo que la resistencia a tracción que debe tener el electrodo será mayor que ésta. Consultando la documentación sobre los electrodos que siguen la normativa AWS se ha decidido que el electrodo adecuado a utilizar para esta soldadura es el E110-18.

### *3.4.1.4 Tratamiento superficial de la estructura*

Una vez obtenido el chasis final y probado de manera que todas las piezas encajen a la perfección, se pinta la estructura, tanto por estética (un mejor aspecto visual) como por la protección a la corrosión. Para ello, previamente la superficie de la estructura debe ser lijada, y se le aplica un fondo adherente. El proceso de pintado se realiza en poliuretano la cual necesita diluyente y catalizador, obteniendo un acabado brillante y amplia duración: su aplicación es fácil debido que se utilizan pistolas con gravedad con aire a presión.

Por todo ello, se puede afirmar que es posible fabricar el chasis ya que el acero cumple con todos los requisitos expuestos anteriormente.

## CAPÍTULO 4: ANALISIS Y RESULTADOS

El Método de los Elementos Finitos es un método numérico de resolución de problemas de Mecánica de Sólidos que resulta de gran importancia por su utilidad práctica. Es una herramienta de cálculo muy potente que permite al ingeniero estructuralista resolver infinidad de problemas. Sin embargo, es un método que no proporciona la solución “exacta” a un problema dado, sino que, en realidad, posibilita obtener una solución aproximada que, con el juicio ingenieril que se le supone al calculista, puede ser más que suficiente para la resolución de un problema práctico.

El método de los elementos finitos es un método de aproximación de problemas continuos, de tal forma que la geometría de la pieza, sometida a cargas y restricciones, se subdivide en partes más pequeñas, conocidas como “elementos”, que representan el dominio continuo del problema. La división de la geometría en pequeños elementos resuelve un problema complejo, al subdividirlo en problemas más simples, lo que permite a la computadora hacer las tareas con eficiencia.

El método propone que un número infinito de variables desconocidas, sean sustituidas por un número limitado de elementos de comportamiento bien definido. Esas divisiones pueden tener diferentes formas, tales como triangular, cuadrangular, entre otros, dependiendo del tipo y tamaño del problema. Como el número de elementos es limitado, son llamados de “elementos finitos” palabra que da nombre al método.

Los elementos finitos están conectados entre sí por puntos, que se llaman nodos o puntos nodales. Al conjunto de todos estos ítems – elementos y nodos – se lo denomina malla. Debido a las subdivisiones de la geometría, las ecuaciones matemáticas que rigen el comportamiento físico no se resolverán de una manera exacta, sino aproximada por este método numérico. La precisión de los Métodos dos Elementos Finitos depende de la cantidad de nodos y elementos, del tamaño y de los tipos de elementos de la malla. Por lo tanto, cuanto menor sea el tamaño y mayor el número de elementos en una malla, más precisos serán los resultados de las análisis.

Con el método se puede obtener las tensiones, desplazamientos y deformaciones de la estructura a analizar. También permite representar diferentes escenarios y evaluar el

rendimiento de productos con aplicación de criterios de resistencia, rigidez o fatiga. A la vez se puede hacer análisis térmico, acústico, dinámico, electromagnético y de flujos de los casos más simples de comportamiento lineal al no lineal.

Como antes se ha comentado es un método aproximado, por lo tanto su utilización se debe tomar siempre con cierta precaución y comprobando que los resultados obtenidos son coherentes y similares a lo que cabría esperar.

#### **4.1 ENSAYOS ESTABLECIDOS POR LA NORMA**

La normativa de la Real Federación Española de Automovilismo expone en el Anexo I de homologación de estructuras antivuelco que para homologar un chasis de Carcross se deberá presentar un estudio de resistencia de materiales firmado por un técnico cualificado, en el que se demuestre que dicha estructura resiste las siguientes sollicitaciones:

- Para un carga vertical:  $7,5*P$
- Para una carga frontal:  $6,5*P$
- Para una carga lateral:  $3,5*P$

Siendo  $P= 75\text{kg} +$  el peso del vehículo en condiciones de carrera. Para que pueda ser homologable en ninguno de los tres casos la deformación no deberá ser superior a los siguientes valores que se exponen a continuación, de tal manera que si los superase debería ser rediseñada la estructura:

- 50mm a lo largo del eje vertical de aplicación de la carga.
- 100mm a lo largo del eje longitudinal de aplicación de la carga.
- 50mm a lo largo del eje lateral de aplicación de la carga.

Para el peso del vehículo se tomará el peso mínimo marcado por la normativa en condiciones de carrera (310kg), ya que resulta muy difícil calcular el peso del vehículo porque no se dispone de la totalidad de sus partes. A este peso aproximado, se le aplicará un coeficiente de seguridad de 1,2.



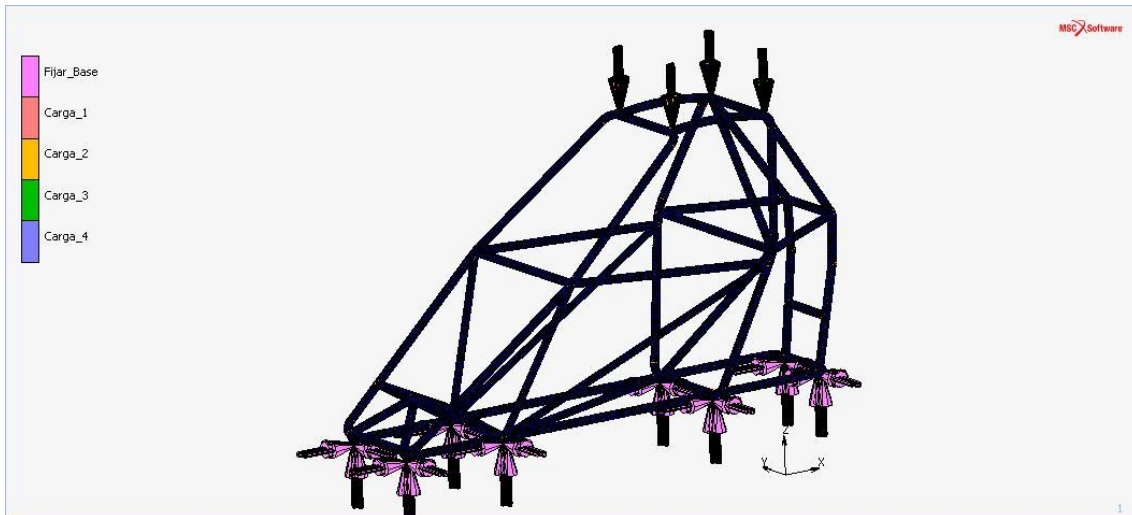
En este proyecto se va a estudiar la posibilidad de vuelco del vehículo, es decir, se estudia la carga vertical capaz de soportar por el chasis diseñado observando si sería homologable o no. Por lo tanto para una carga vertical el resultado de P es el siguiente:

- $P = 75\text{kg} + \text{Peso vehículo}$
- $P = 75\text{kg} + (\text{Coef.seguridad} * \text{Peso mínimo}) = 75\text{kg} + (1,2*310\text{kg}) = 447\text{kg}$
- $P = 447\text{kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 = 4380,6\text{N}$

## **4.2 FASE DEL ANALISIS DEL CHASIS**

Como antes se ha mencionado se va a analizar la posibilidad de vuelco del vehículo. Para ello se ha realizado en el programa Mark Mentat utilizando el método de los elementos finitos. Antes de ello se le aplicó a la estructura una soldadura de 4mm en todas las uniones para que a la hora de aplicar la carga el estudio se realizara correctamente.

Para empezar se introdujo en el programa el material asignado para la estructura, es decir el acero S 355 J2H, con cada una de sus propiedades. Una vez el material estaba asignado a la estructura se le asignan los puntos donde deben aplicarse las cargas introduciendo el valor de estas. En este caso se le introdujo una carga vertical de 36000N. En el cálculo realizado la carga aplicada debería ser de  $32854,5\text{N} = 7,5*P$ . Se ha supuesto una carga algo superior pensando en las peores condiciones de vuelco para ver cómo reaccionaría la estructura. Con el material y las cargas definidas, se restringe la geometría que debe mantenerse fija. En la siguiente figura se muestra la estructura con las partes de geometría restringidas y el lugar donde han sido aplicadas las fuerzas:

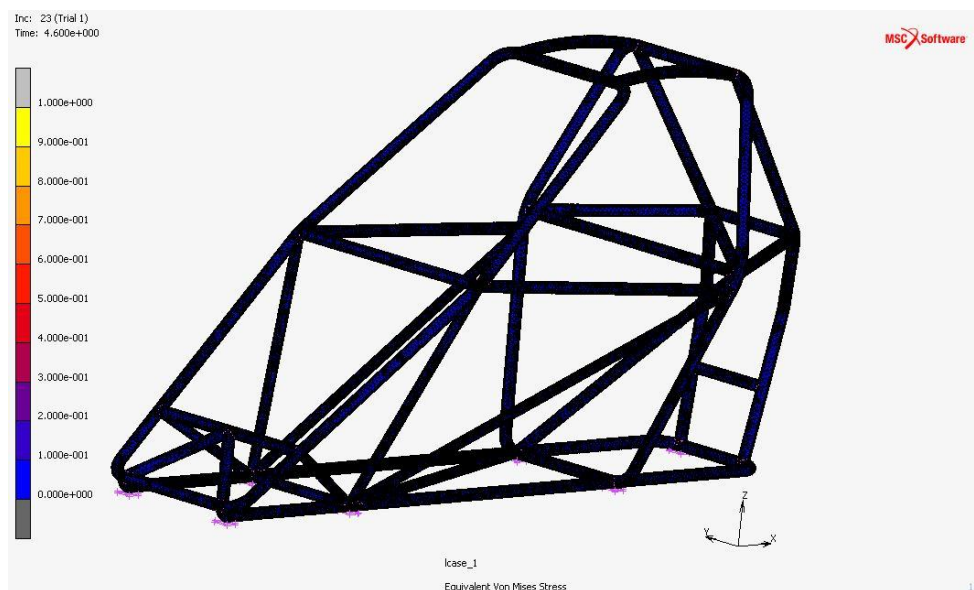


**Figura 54:** Chasis con fuerzas aplicadas y lugares de restricción

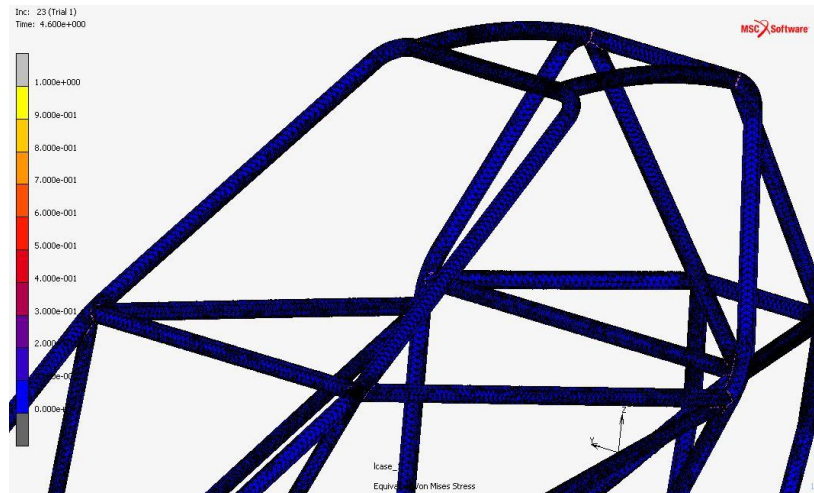
Después se dio lugar a la creación de la malla. En todos los programas de elementos finitos se debe crear una malla en el modelo a realizar, para poder aplicar todas las condiciones impuestas en cada uno de los elementos. Cuanto más pequeño sea el tamaño del elemento, más fina será la malla y más fiables serán los resultados, pero más tardará el ordenador en llegar a la solución. Una vez está todo preparado se procede al análisis estático.

### 4.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS

A continuación se muestran en las siguientes figuras los resultados del análisis estático:



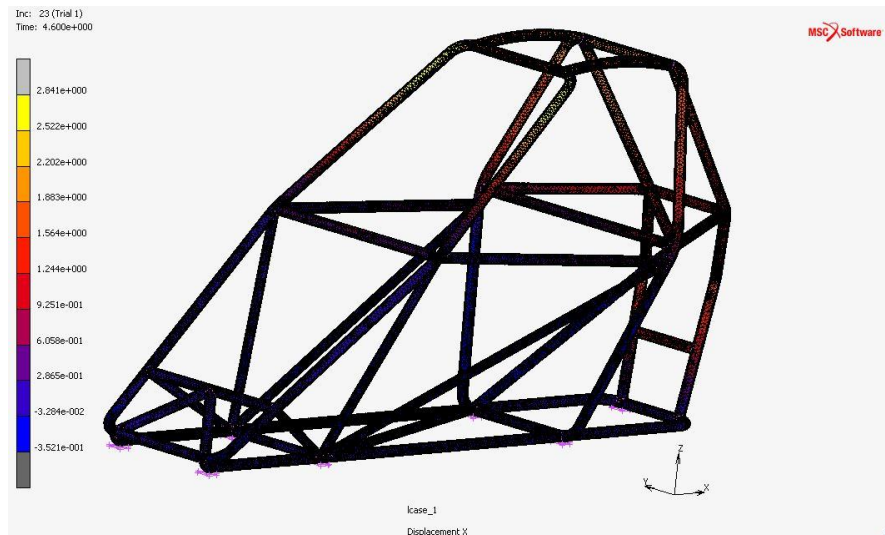
**FiguraX 55:** Equivalente tensión Von Mises



**Figura 56:** Equivalente tensión Von Mises

Los criterios de rotura para materiales frágiles generalmente se basan en comparar ciertas magnitudes que se producen en un ensayo de tracción (compresión) cuando se alcanza la rotura con estas mismas magnitudes para un estado cualquiera de tensiones. Como se puede observar en las figuras una vez aplicada la carga las tensiones en la estructura son mínimas por lo que no tendría ningún problema en superar las pruebas de homologación de la Real Federación Española de Automovilismo.

Para observar los desplazamientos que tiene la estructura en caso de vuelco con la carga aplicada en el lugar mostrado anteriormente se muestran las siguientes figuras:



**Figura 57:** Desplazamiento en el eje X una vez aplicada la carga

Diseño de un chasis tubular para un vehículo Carcross- UPNA

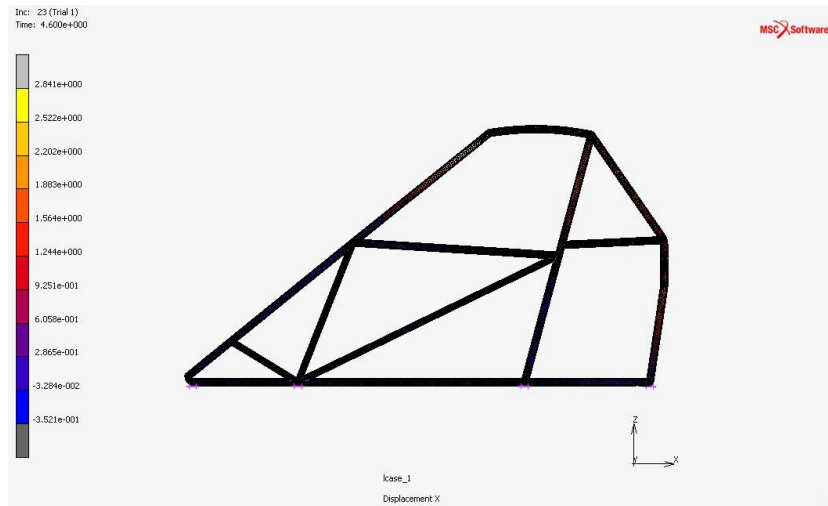


Figura 58: Desplazamiento en el eje X con la estructura de perfil

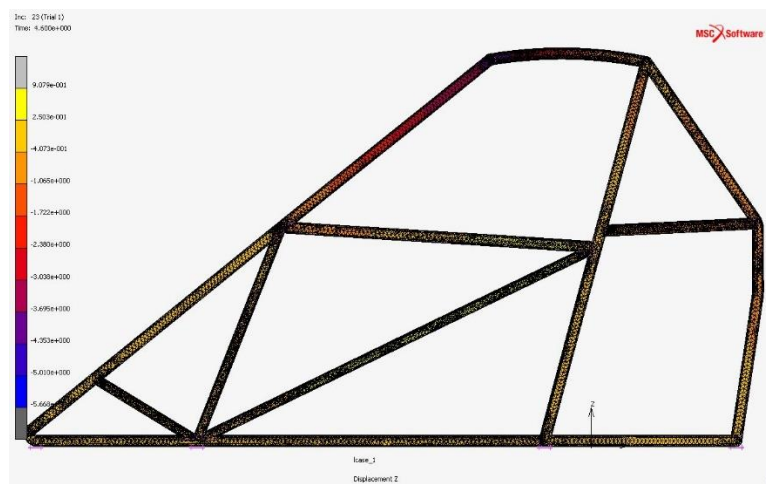


Figura 59: Desplazamiento en el eje Z en vista de perfil

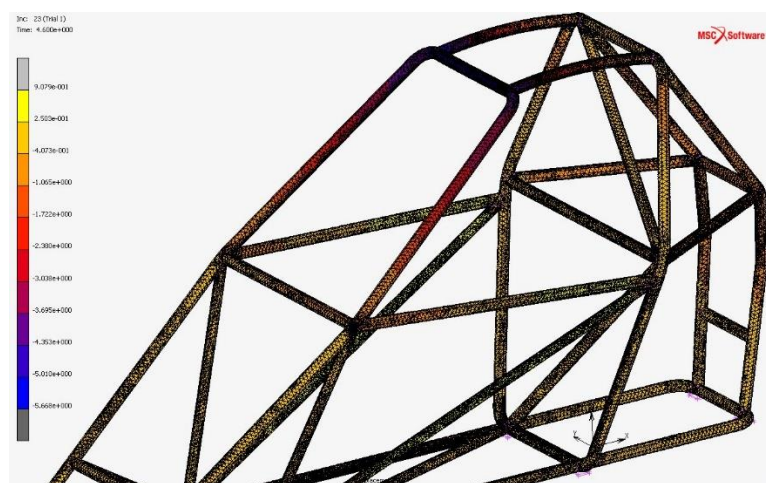
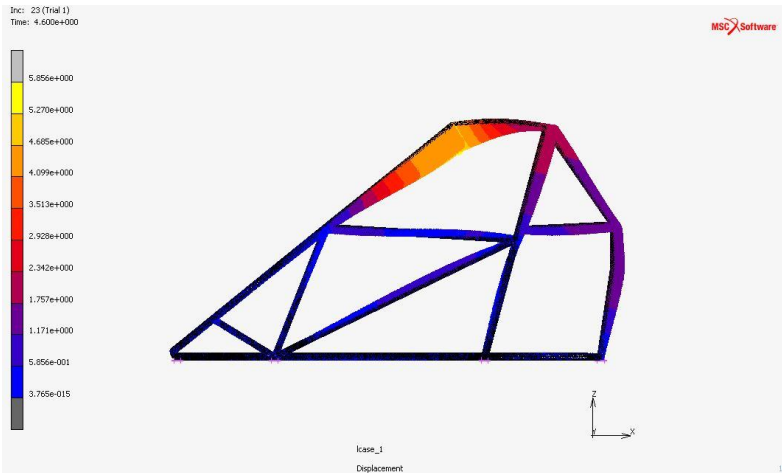
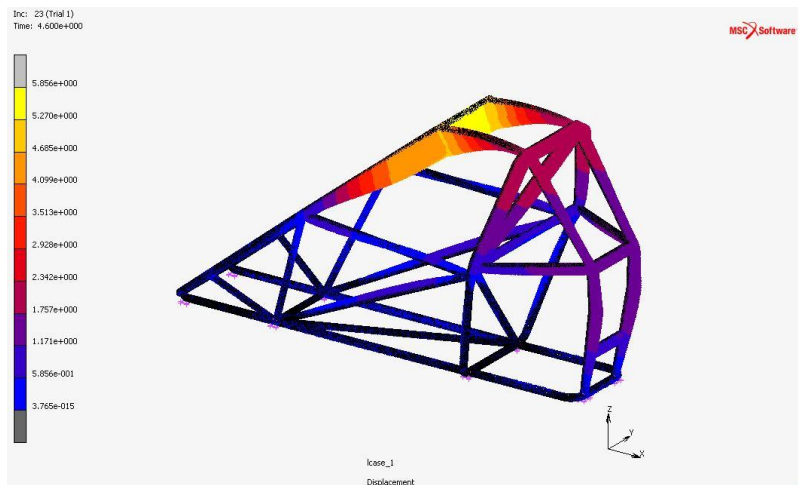


Figura 60: Desplazamiento en el eje Z vista isométrica



**Figura 61:** Desplazamiento mostrado en vectores vista de perfil



**Figura 62:** Desplazamiento en vectores vista tridimensional

Analizando las figuras del análisis estático se puede observar que a la hora de aplicar la carga el lugar donde más sufrirá la estructura en caso de vuelco será en la parte superior del arco delantero, donde toma contacto con las dos barras de unión. El desplazamiento que sufre la estructura es de casi 6mm en el punto más crítico por lo tanto cumpliría la normativa establecida por la RFEDA, que exige que para una carga vertical el desplazamiento vertical sea menor a 50mm. En caso de no cumplir la normativa, a la hora en caso de realizar un rediseño de la estructura se debería reforzar la parte superior del arco delantero añadiéndole otros refuerzos para así minimizar esos desplazamientos.

## CAPÍTULO 5: PRESUPUESTO

La siguiente tabla muestra los costes del chasis:

Presupuesto del chasis			
Descripción	Unidades	Precio Unitario	Importe
Presupuesto de Ingeniería			
Estudio del proyecto	70	25,00€	1750,00€
Tasa homologación del Carcross	1	80,00€	80,00€
Presupuesto de calderería			
Cortar perfiles a medida	3	36,00€	108,00€
Curvar perfiles	3	36,00€	108,00€
Soldar perfiles	12	36,00€	432,00€
Preparar superficie y pintar	3	36,00€	108,00€
Materiales			
Perfiles tubulares 40*2, calidad S355 J2H	36	3,04€	109,44€
Imprimación y pintura	2	60€	120€
Presupuesto TOTAL		2815,44€	
TOTAL con I.V.A		3406,69€	

A la vista de los costes de diseño y fabricación se fija un precio de venta de 3000 €. De la diferencia entre costes de materia prima y precio de venta es de donde se pretenden obtener los beneficios para hacer rentable el diseño ingenieril.

### Estudio de rentabilidad

- Precio de venta (PV) 2000€
- Coste de materiales y mano de obra (CM) 985,44€
- Coste de ingeniería (CI) 1830€

$$\frac{CI}{PV - CM}$$

Por lo tanto, en estudio de rentabilidad el diseño sería rentable a partir de 2 Unidades.

## **CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES**

- El uso de las herramientas del software Solid Works y Mark Mentat han permitido diseñar y analizar una estructura rígida y ligera, cómoda para el pilotaje de piloto, capaz de soportar los esfuerzos que exige la normativa de la Real Federación Española de Automovilismo. Estos programas permiten realizar los estudios de una estructura de manera muy próxima a la realidad, con resultados muy fiables, lo cual permite fabricar un diseño y sacarlo al mercado sin necesidad de hacer análisis experimentales ni prototipos, los cuales elevan notablemente los costes.
- El diseño realizado cumple con la mayoría de las especificaciones expuestas en los criterios de diseño, tanto las especificaciones técnicas exigidas por la RFEDA (altura mínima, anchura mínima, longitud,..) como las especificaciones aportadas por el diseñador.
- El estudio realizado de otros tipos de chasis anteriormente fabricados obteniendo los puntos positivos y negativos de cada uno de ellos ha sido de vital importancia para llegar al diseño final, justificando cada una de las medidas adoptadas para las prestaciones, mejoras, costes,.. que se han adoptado.
- La normativa de homologación de estructuras de la RFDEA tanto para vehículos Carcross como otro tipo de competiciones es imprescindible ya que sin ella sería muy difícil decidir si los resultados de un análisis son fiables o no. También destacar que la documentación técnica existente en cuanto a la competición Carcross es escasa, lo que requiere mayores esfuerzos a la hora de diseñar un vehículo de este tipo para competición. A pesar de que esta división tiene décadas, se trata de una competición desconocida para muchas personas.

### **6.1 TRABAJOS FUTUROS**

A continuación se exponen posibles trabajos futuros que pueden surgir a partir de este:

- Realizar un estudio más completo con análisis estático para una carga frontal y para una carga lateral, incorporando análisis de fatiga, de la aerodinámica, estudio del centro de gravedad, etc con el fin de obtener un vehículo más completo con



una mejor relación entre la rigidez y la ligereza, acercándonos más a la realidad y ver de manera casi real el comportamiento de una estructura semejante.

- Englobar todas y cada una de las partes importantes de un vehículo tipo Carcross, como la amortiguación trasera y delantera, dirección, frenos, motor y transmisión, etc para así obtener un documento general.

## CAPÍTULO 7: BIBLIOGRAFÍA

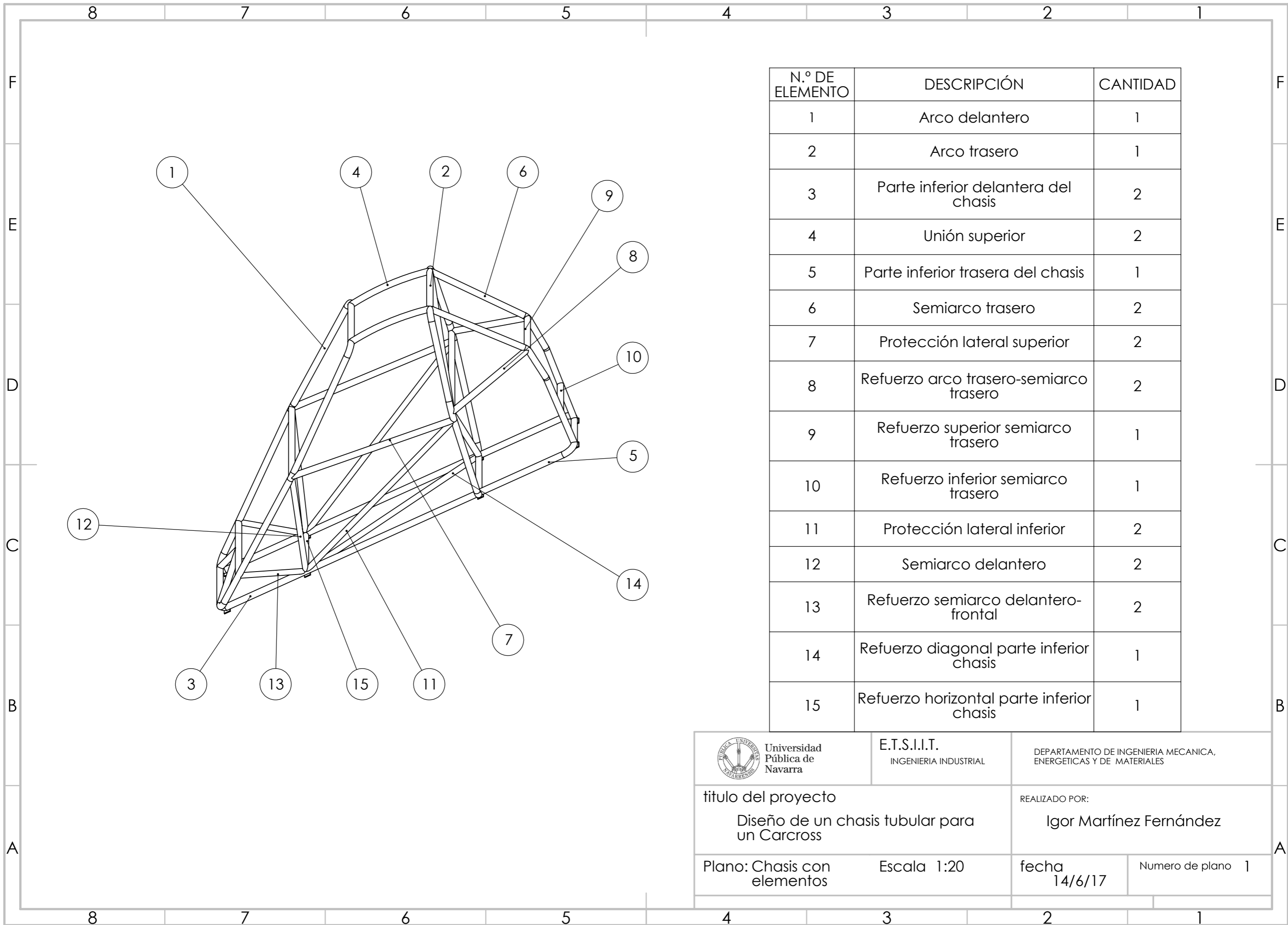
- Proyecto fin de carrera ``Diseño y construcción de un vehículo biplaza de estructura tubular con motor monocilíndrico Yamaha YFM 20`` **Autores:** Patricio Javier Pauta Morocho y Juan Pablo Villacís Avilés
- Proyecto fin de carrera ``Construcción de un vehículo monoplaza equipado con un motor mono cilíndrico`` **Autores:** Hugo Alejandro Acosta Díaz y Leonardo Xavier Muñoz Ordoñez
- Proyecto fin de carrera ``Diseño de un vehículo todoterreno`` **Autores:** Aarón Beltrán Díaz y Pablo Ejarque Martínez
- Proyecto fin de carrera ``Diseño, análisis dinámico y modelado del tren delantero de un car cross`` **Autores:** David Juberías Fernandez
- Proyecto fin de carrera ``Diseño y análisis de un arco de seguridad destinado a la competición`` **Autores:** Miguel Garcá Martín
- Proyecto fin de carrera ``Diseño y análisis de un chasis tipo carcross mediante el método de los elementos finitos`` **Autores:** Alberto Jimenez Ramirez
- Proyecto fin de carrera ``Diseño y construcción del bastidor y sistema de suspensión de un carcross monoplaza para servicio turístico`` **Autores:** Edwin Salomón Arroyo Terán y Renato Javier Ayala Rivadeneira
- Rodriguez, A. (2016). *albrodpulf1*. Obtenido de <https://albrodpulf1.wordpress.com/2014/10/16/analisis-tecnico-chasis/>
- DB-SE A: *Documento Básico de Seguridad Estructural – Acero*.
- *Catálogo perfiles tubulares y lista de precios de Condesa®, según la norma UNE-EN 10219*.
- Reglamento técnico de carcross de la RFEDA: *Estructuras Antivuelco. Requisitos para su homologación. Obtenido de [https://www.rfeda.es/documents/20185/43748/RH\\_estructuras\\_rfeda.pdf](https://www.rfeda.es/documents/20185/43748/RH_estructuras_rfeda.pdf)*
- LT12: *Lista técnica sobre Asientos homologados según la norma 8855-1999 (21/07/2010)*.
- LT24: *Lista técnica de Arnese homologados según la normativa FIA 8853-98 y 8854-98 (09/03/10)*.
- LT25: *Lista técnica de normas reconocidas para cascos (12/03/10)*.
- LT27: *Lista técnica de ropa de protección homologada según la norma FIA 8856-2000 (26/07/10)*.

- LT29: *Lista técnica de sistemas HANS aprobados según la norma FIA 8858-2002 (28/05/10).*
- Irurtia, L. U. (s.f.). *ceit.es*. Obtenido de <http://www1.ceit.es/automocion/proyectos/chasis/inicio.htm>
- *bmb3wikispaces.com*. (2017). Obtenido de <https://bmb3.wikispaces.com/Historia+del+Buggy>


## ANEXOS

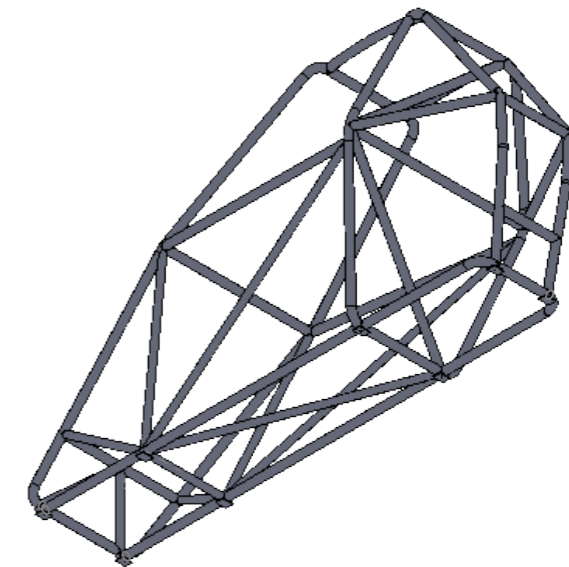
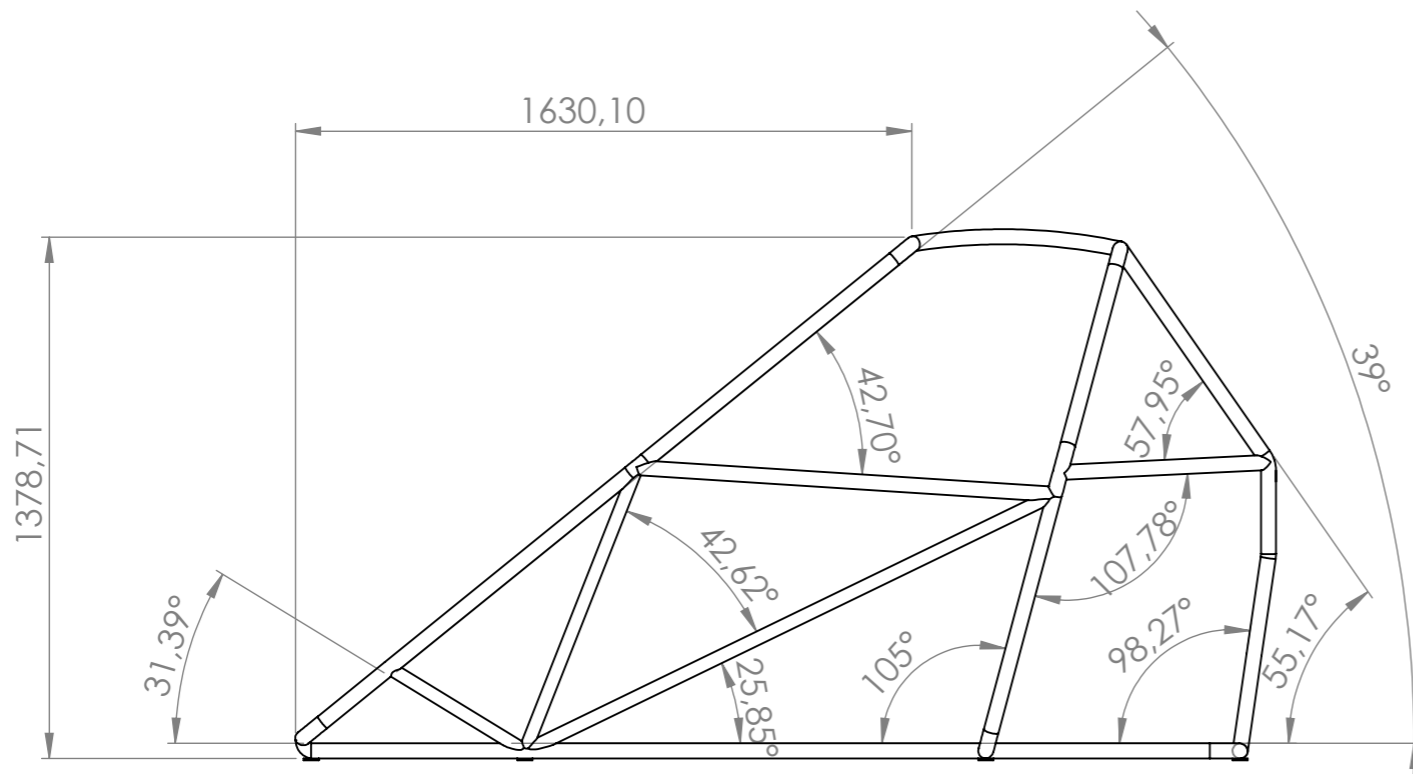
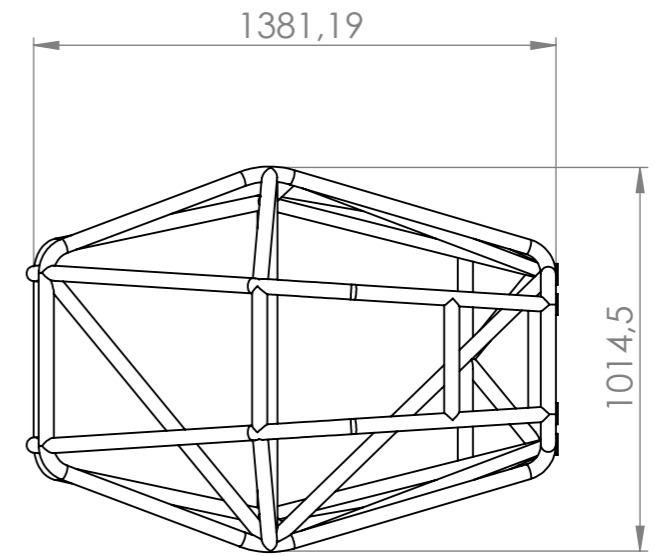
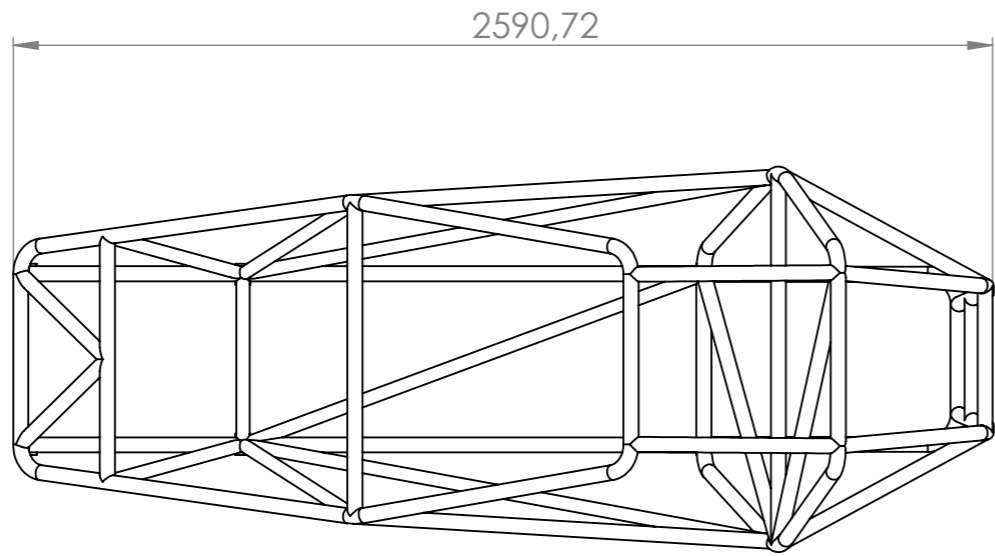
---

## PLANOS



N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Arco delantero	1
2	Arco trasero	1
3	Parte inferior delantera del chasis	2
4	Unión superior	2
5	Parte inferior trasera del chasis	1
6	Semiarco trasero	2
7	Protección lateral superior	2
8	Refuerzo arco trasero-semiarco trasero	2
9	Refuerzo superior semiarco trasero	1
10	Refuerzo inferior semiarco trasero	1
11	Protección lateral inferior	2
12	Semiarco delantero	2
13	Refuerzo semiarco delantero-frontal	2
14	Refuerzo diagonal parte inferior chasis	1
15	Refuerzo horizontal parte inferior chasis	1

 Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T. INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, ENERGETICAS Y DE MATERIALES	
		REALIZADO POR: Igor Martínez Fernández	
titulo del proyecto Diseño de un chasis tubular para un Carcross		fecha 14/6/17	Numero de plano 1
Plano: Chasis con elementos	Escala 1:20		



Universidad  
Pública de  
Navarra

E.T.S.I.I.T.  
INGENIERIA INDUSTRIAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA,  
ENERGETICAS Y DE MATERIALES

titulo del proyecto

Diseño de un chasis tubular para  
un Carcross

REALIZADO POR:

Igor Martínez Fernández

Plano: Chasis

Escala 1:20

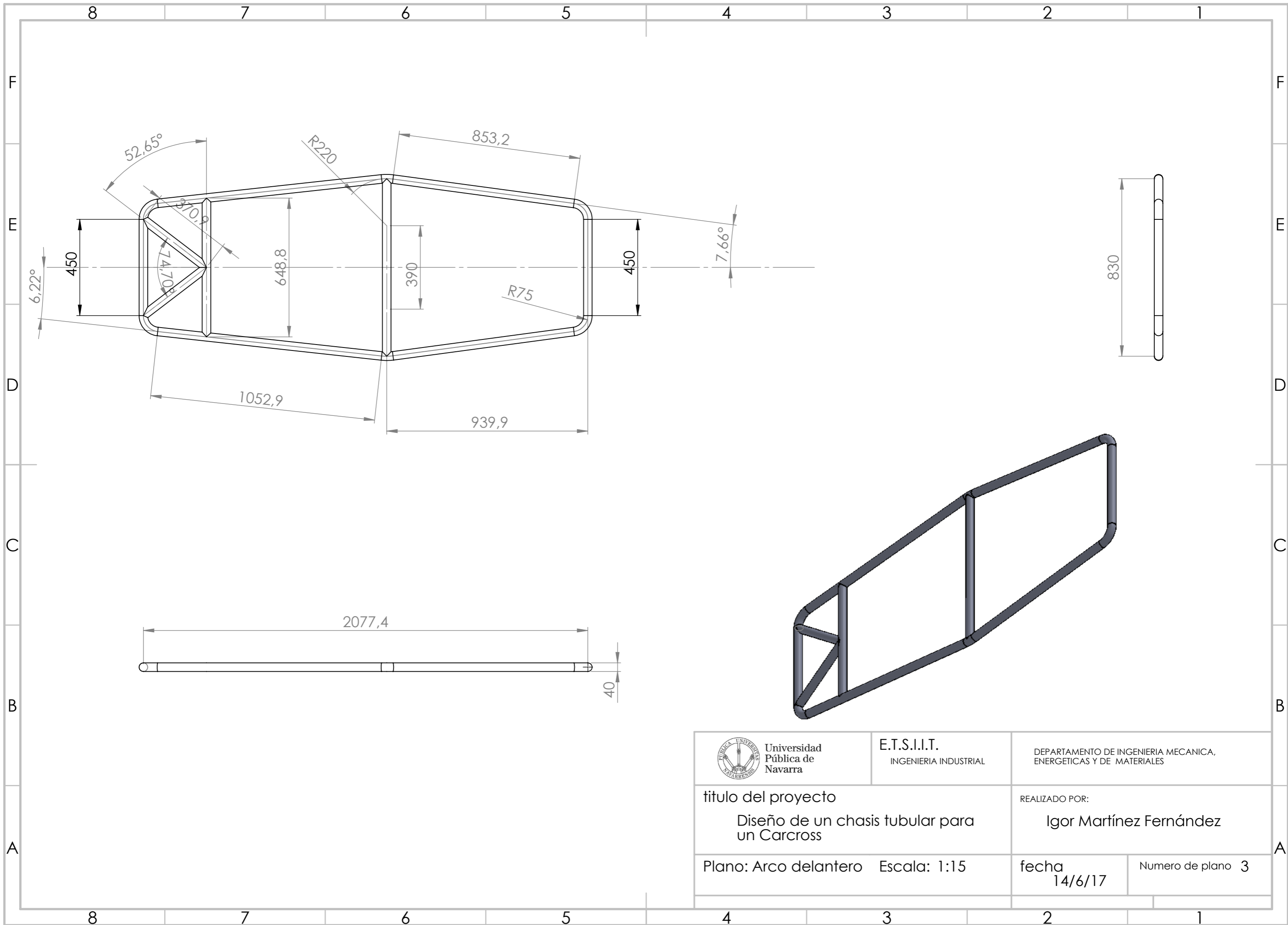
fecha  
14/6/17


Numero de plano 2

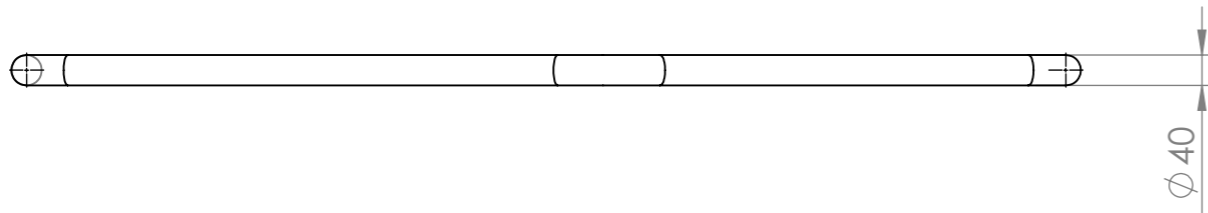
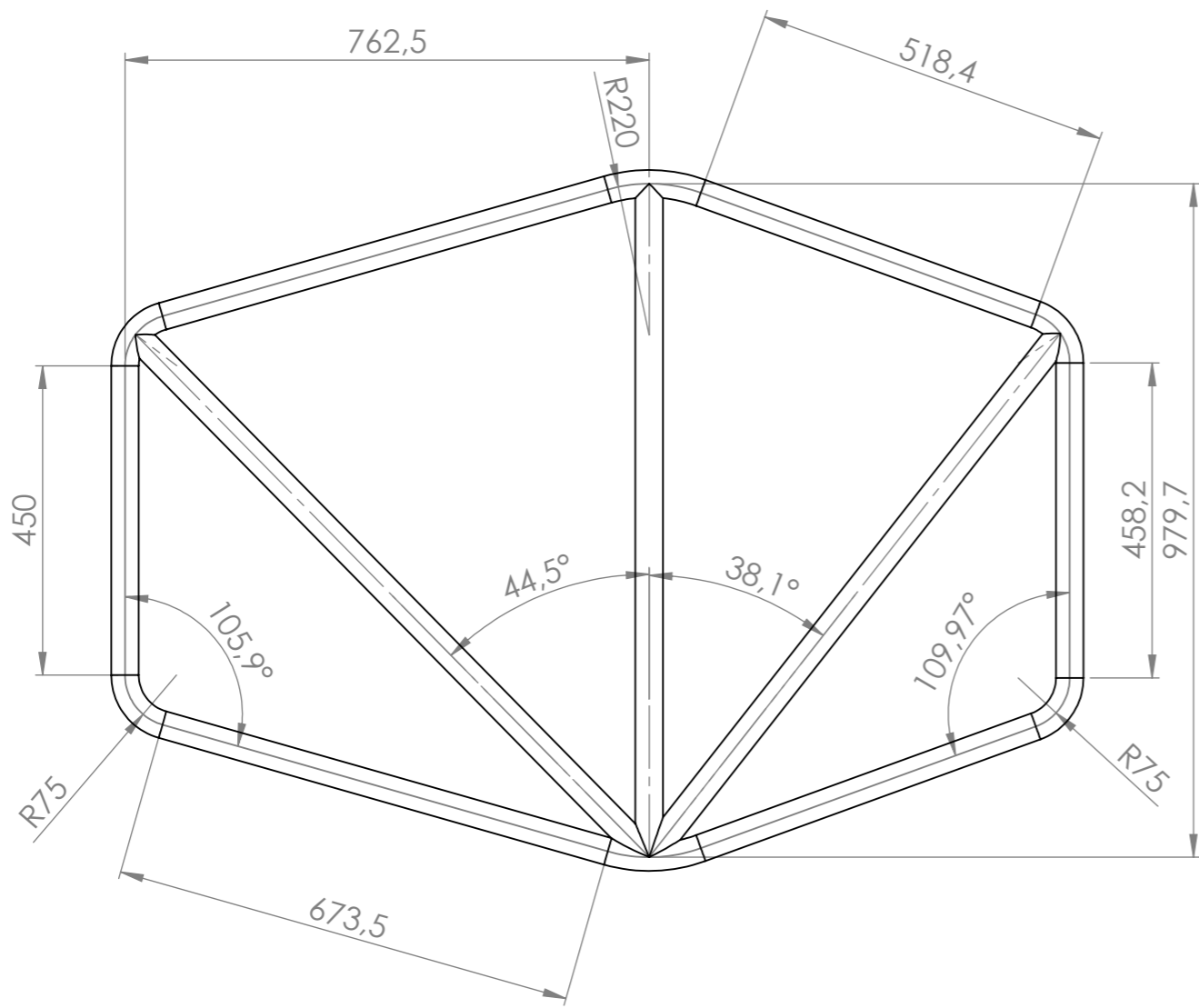
PESO:


ESCALA:2:1

HOJA 1 DE 1

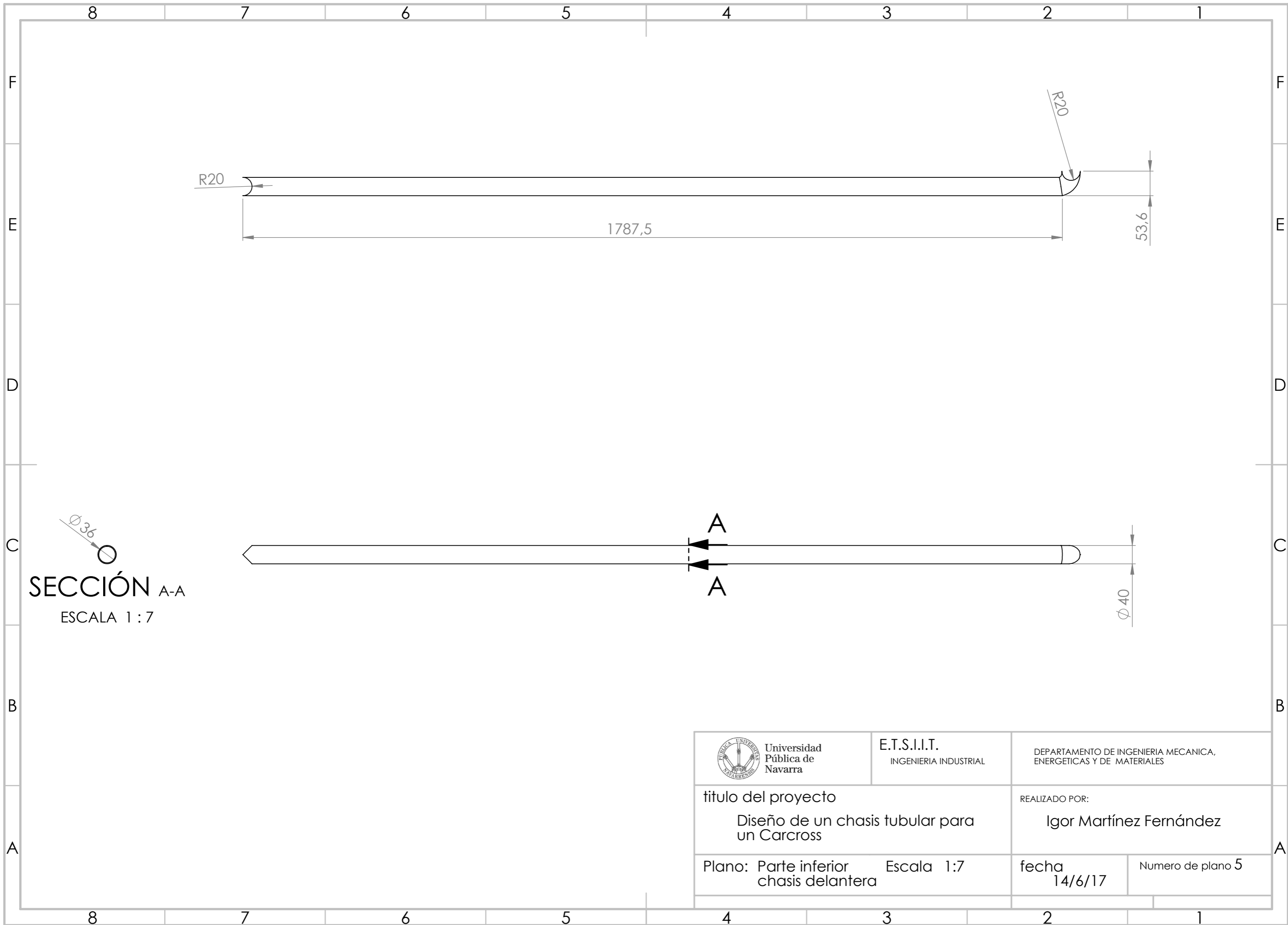


 Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T. INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, ENERGETICAS Y DE MATERIALES	
titulo del proyecto Diseño de un chasis tubular para un Carcross		REALIZADO POR: Igor Martínez Fernández	
Plano: Arco delantero	Escala: 1:15	fecha 14/6/17	Numero de plano 3



 Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T. INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, ENERGETICAS Y DE MATERIALES	
titulo del proyecto Diseño de un chasis tubular para un Carcross		REALIZADO POR: Igor Martínez Fernández	
Plano: Arco trasero	Escala 1:10	fecha 14/6/17	Numero de plano 4





R20

1787,5

53,6

R20

$\phi 36$


SECCIÓN A-A

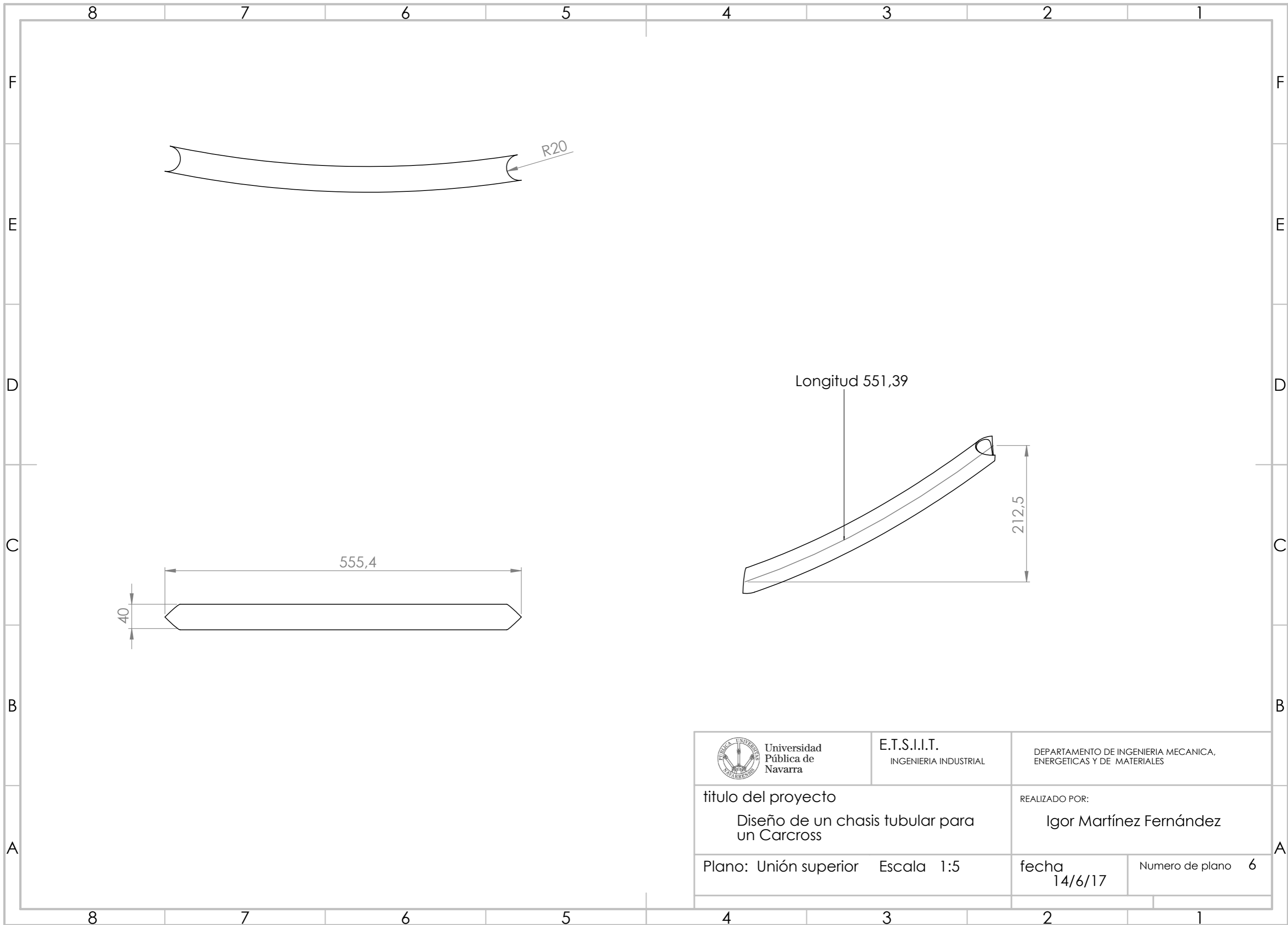
ESCALA 1 : 7


A

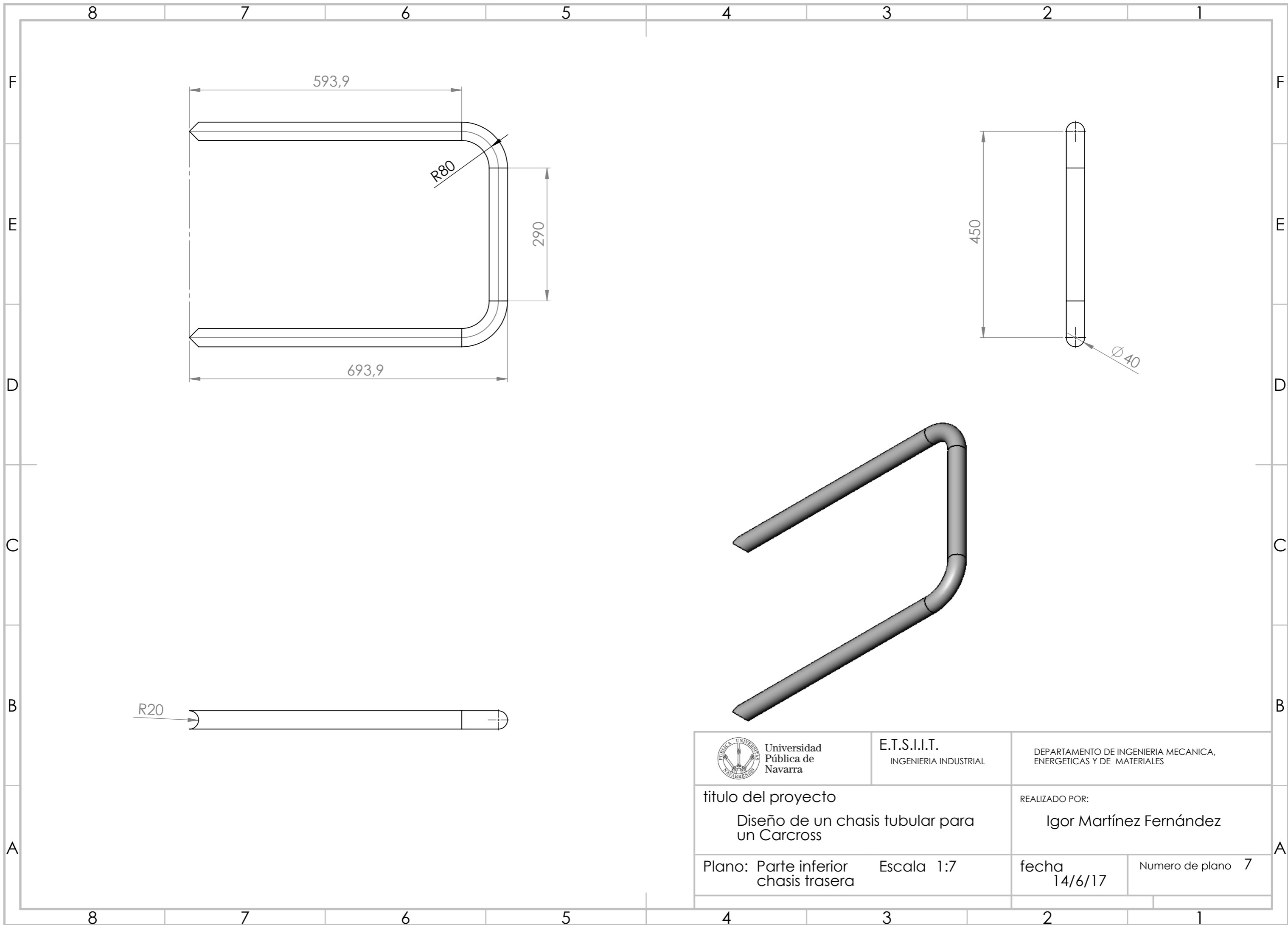
A


$\phi 40$

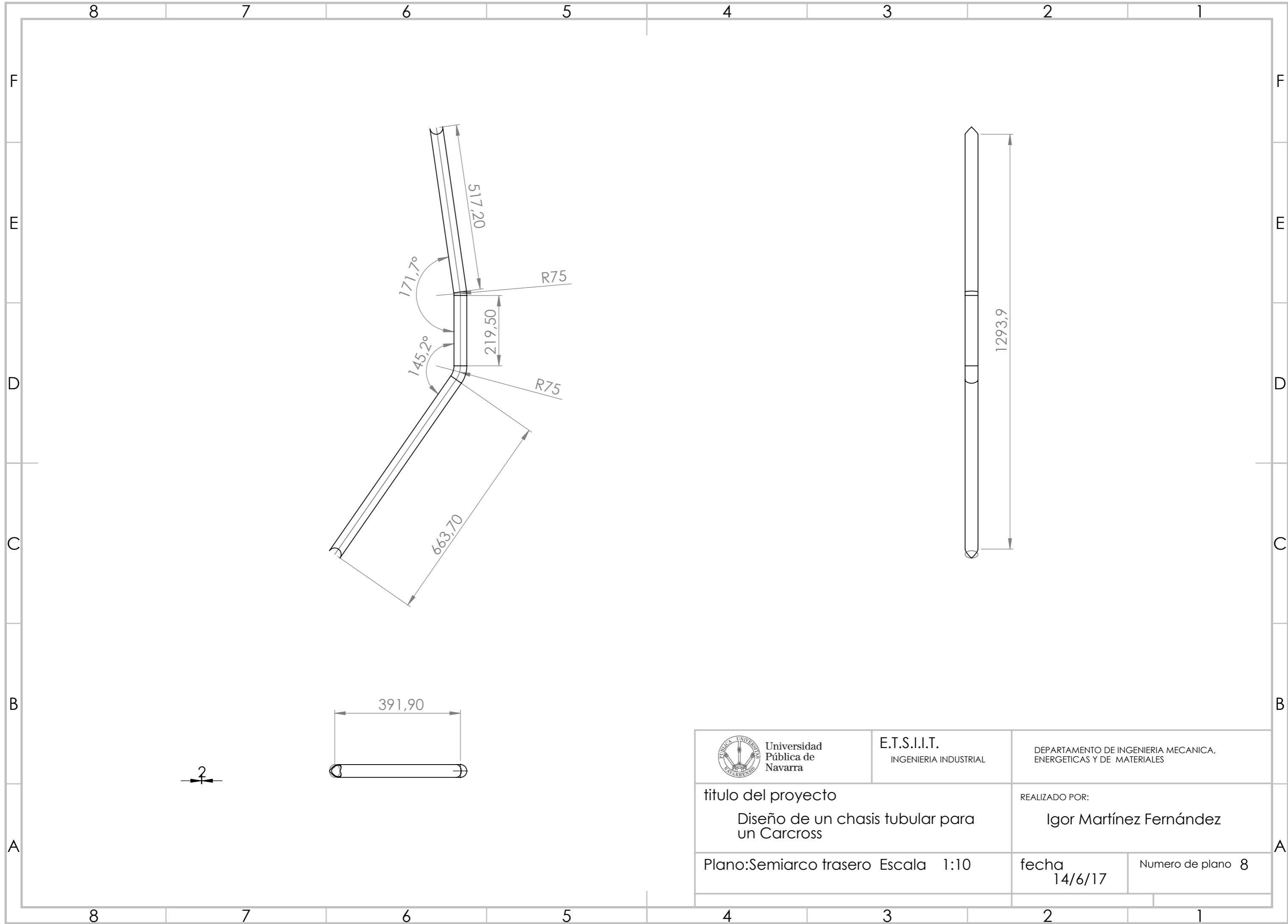
 Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T. INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, ENERGETICAS Y DE MATERIALES	
titulo del proyecto Diseño de un chasis tubular para un Carcross		REALIZADO POR: Igor Martínez Fernández	
Plano: Parte inferior chasis delantera	Escala 1:7	fecha 14/6/17	Numero de plano 5




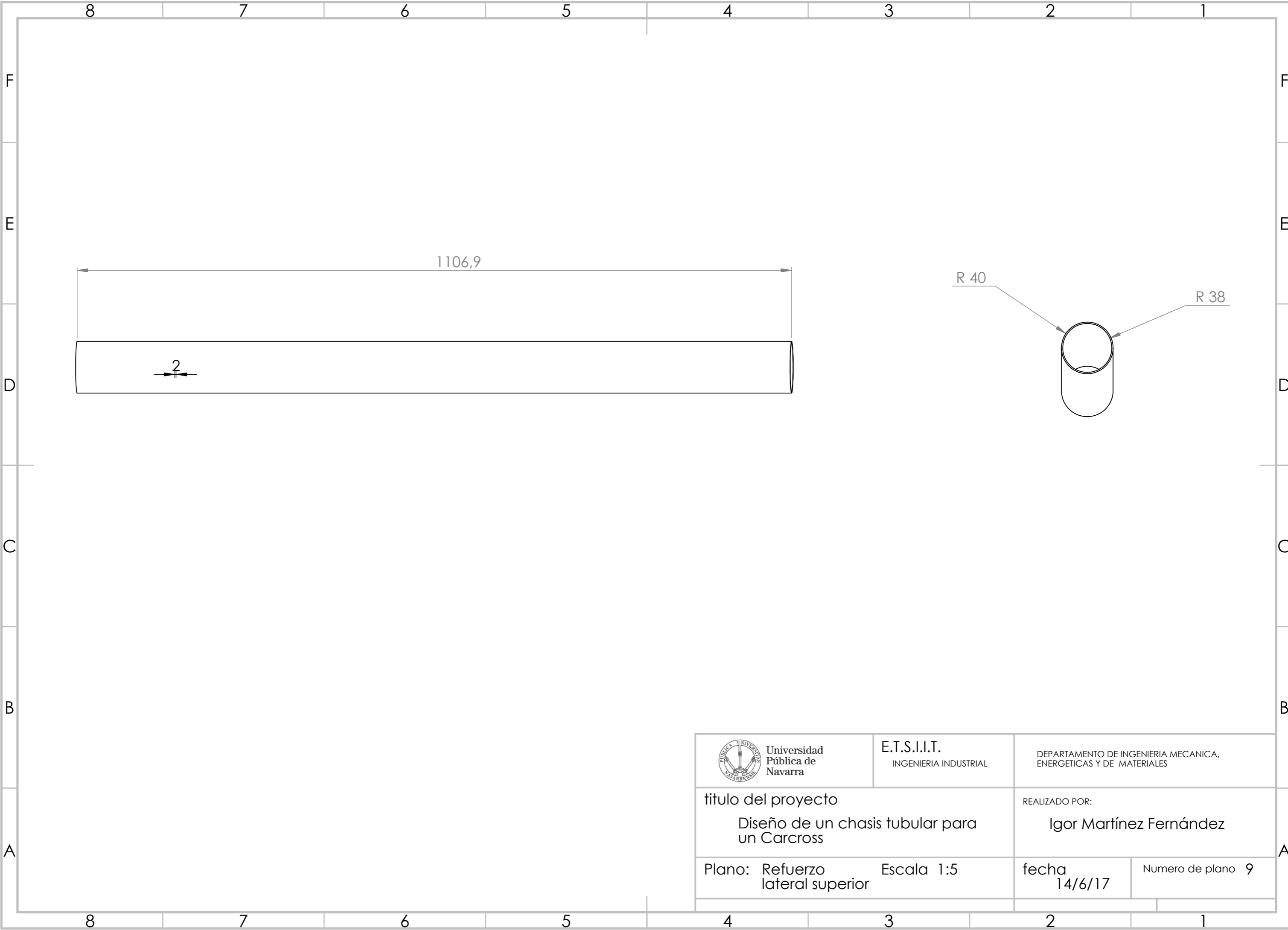
 Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T. INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, ENERGETICAS Y DE MATERIALES	
titulo del proyecto Diseño de un chasis tubular para un Carcross		REALIZADO POR: Igor Martínez Fernández	
Plano: Unión superior	Escala 1:5	fecha 14/6/17	Numero de plano 6




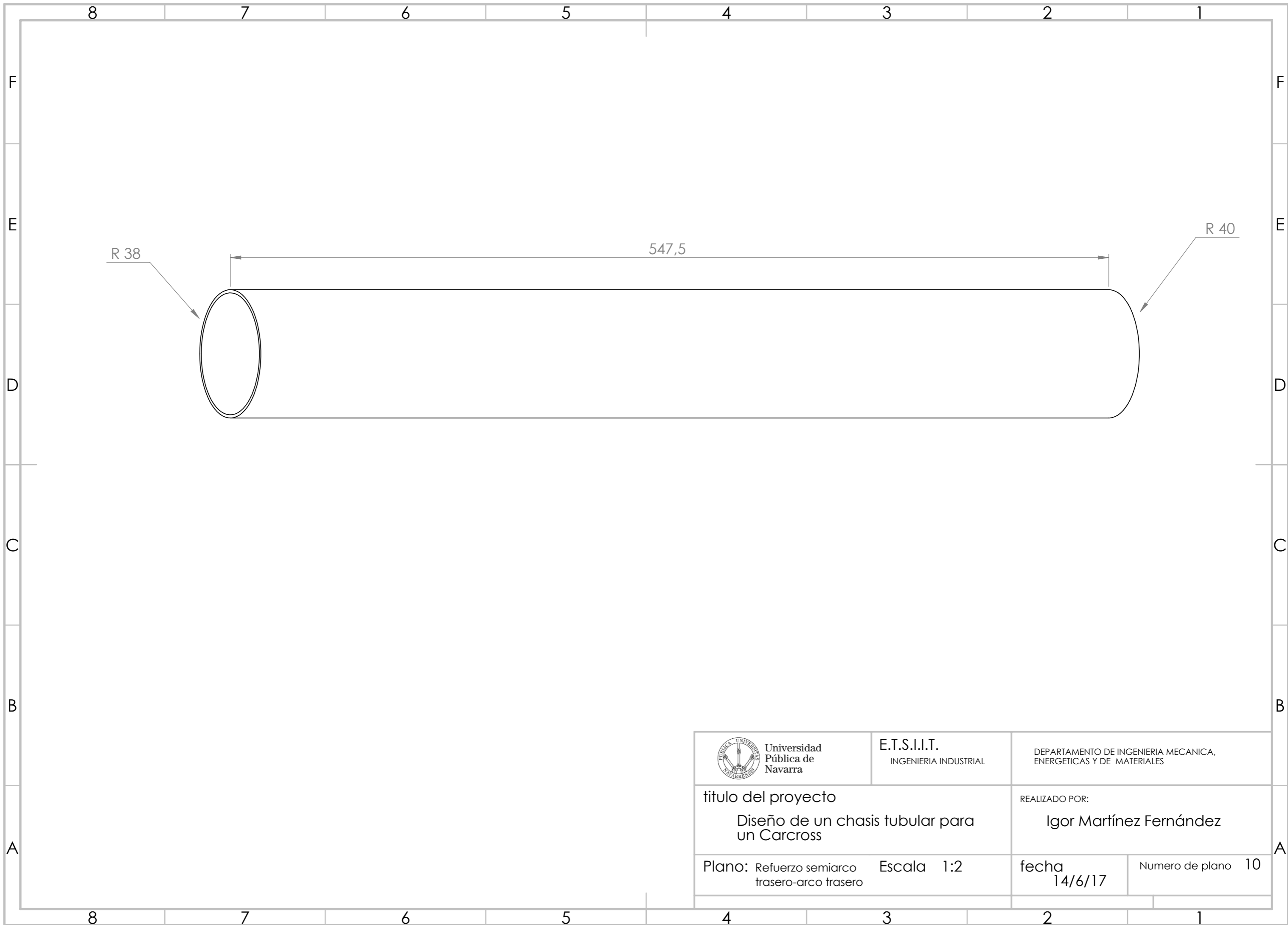
 Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T. INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, ENERGETICAS Y DE MATERIALES	
titulo del proyecto Diseño de un chasis tubular para un Carcross		REALIZADO POR: Igor Martínez Fernández	
Plano: Parte inferior chasis trasera	Escala 1:7	fecha 14/6/17	Numero de plano 7




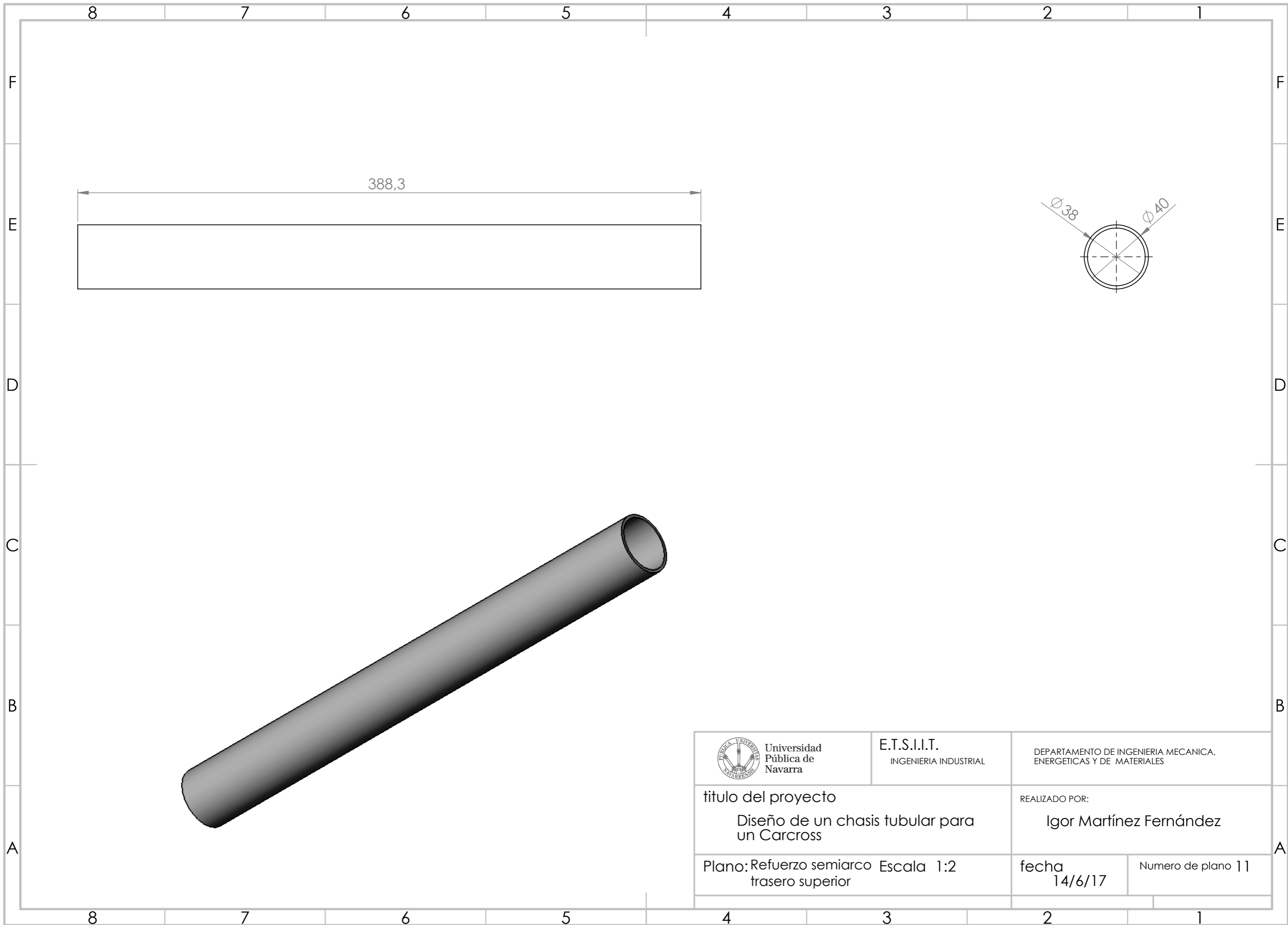
 Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T. INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, ENERGETICAS Y DE MATERIALES	
titulo del proyecto Diseño de un chasis tubular para un Carcross		REALIZADO POR: Igor Martínez Fernández	
Plano:Semiarco trasero Escala 1:10		fecha 14/6/17	Numero de plano 8




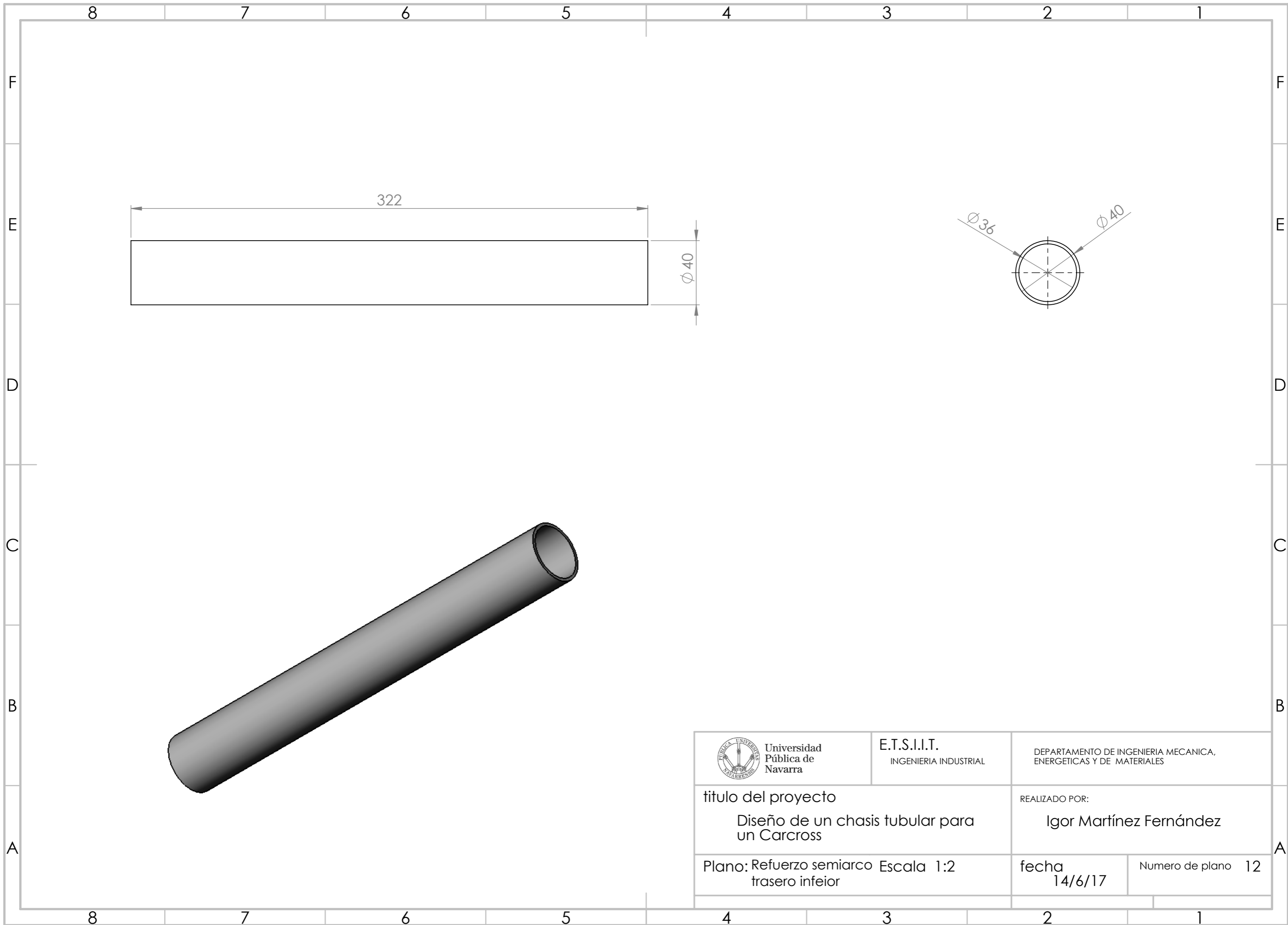
 Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T. INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, ENERGETICAS Y DE MATERIALES	
titulo del proyecto Diseño de un chasis tubular para un Carcross		REALIZADO POR: Igor Martínez Fernández	
Plano: Refuerzo lateral superior	Escala 1:5	fecha 14/6/17	Numero de plano 9




 Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T. INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, ENERGETICAS Y DE MATERIALES	
titulo del proyecto Diseño de un chasis tubular para un Carcross		REALIZADO POR: Igor Martínez Fernández	
Plano: Refuerzo semiarco trasero-arco trasero	Escala 1:2	fecha 14/6/17	Numero de plano 10

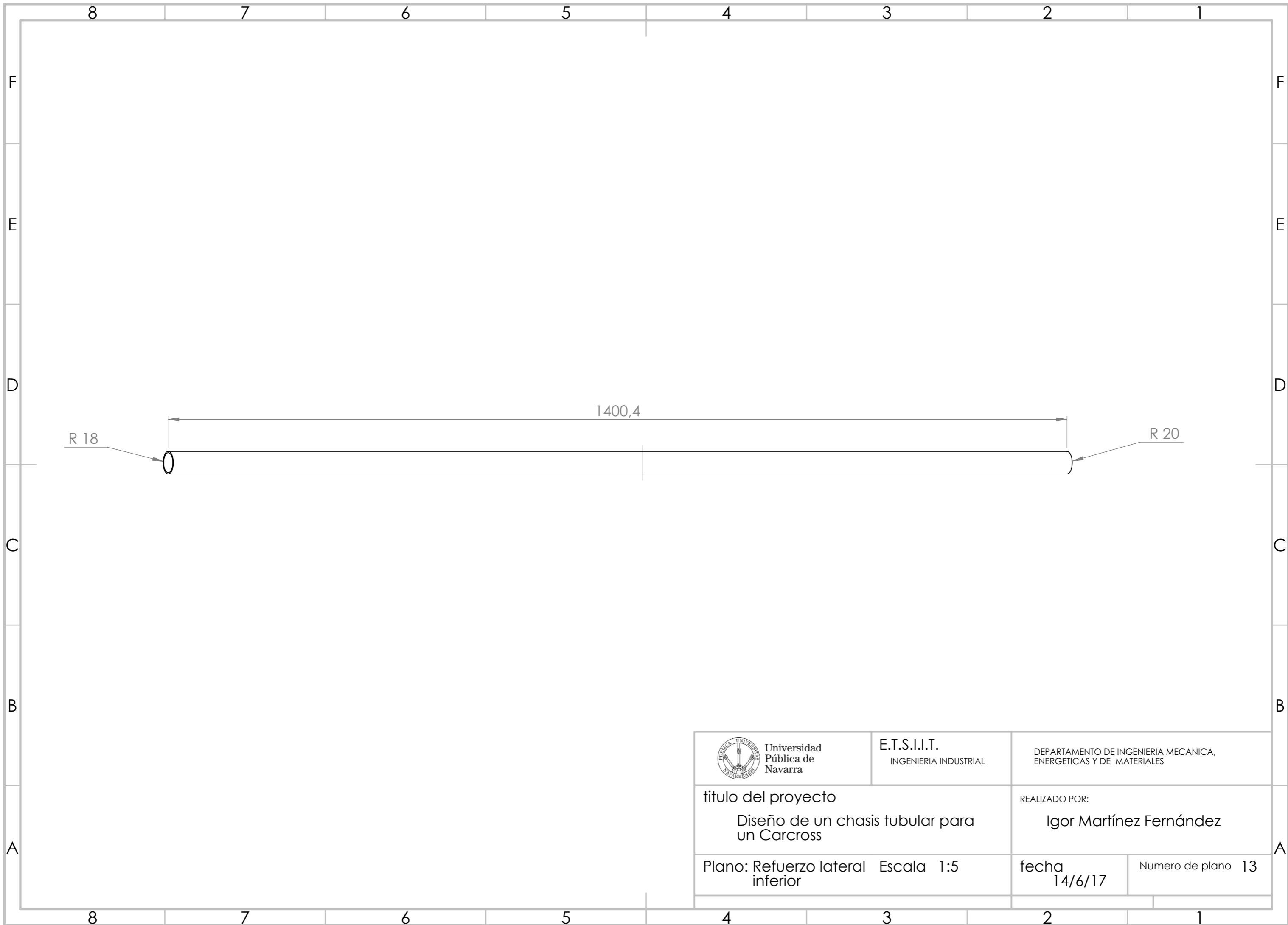



 Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T. INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, ENERGETICAS Y DE MATERIALES	
titulo del proyecto Diseño de un chasis tubular para un Carcross		REALIZADO POR: Igor Martínez Fernández	
Plano: Refuerzo semiarco Escala 1:2 trasero superior		fecha 14/6/17	Numero de plano 11

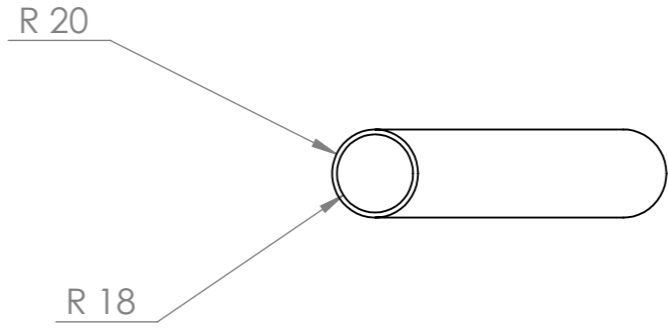
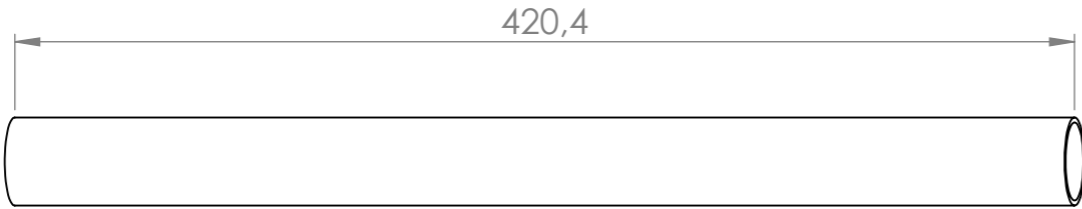
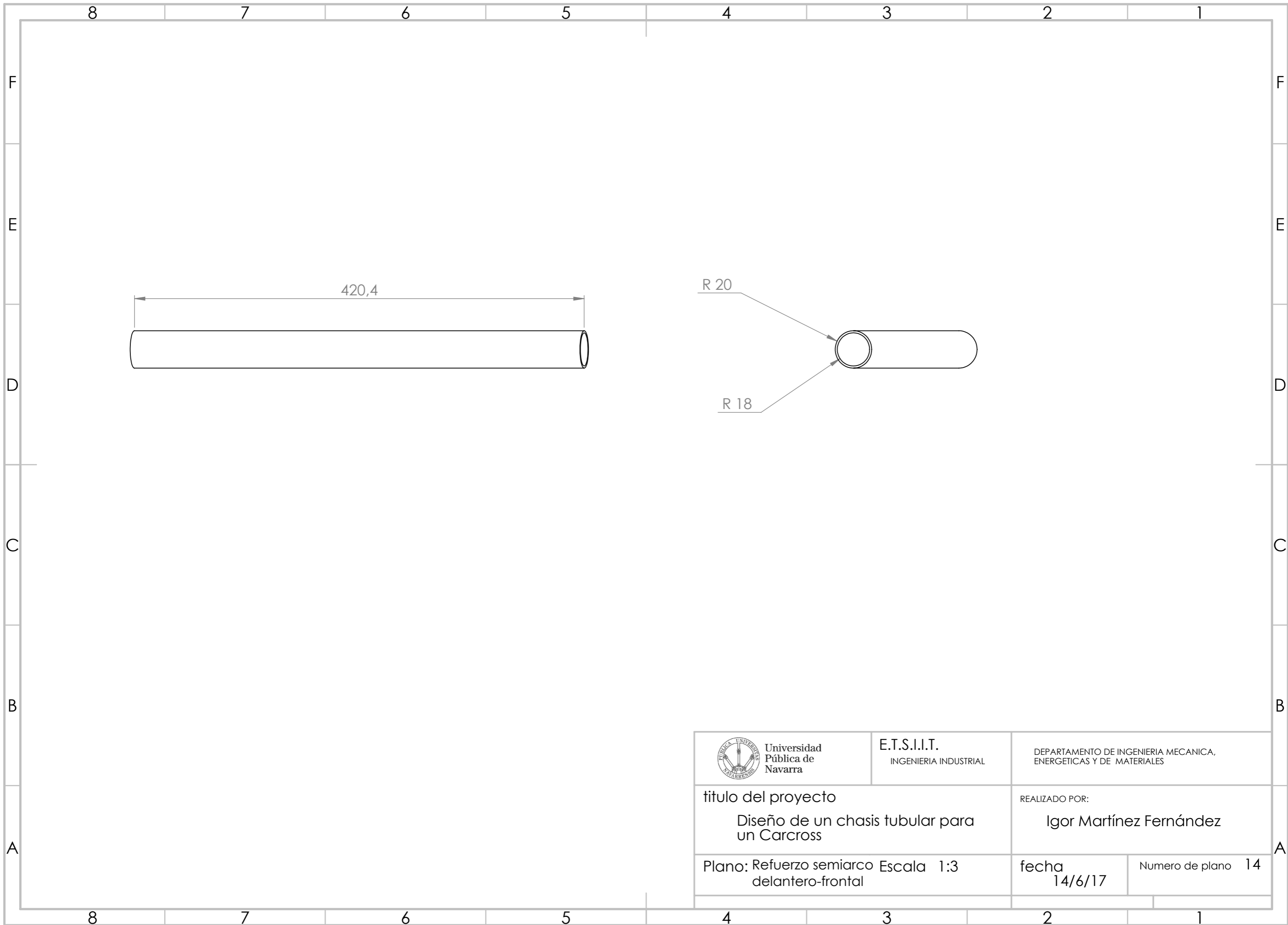



 Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T. INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, ENERGETICAS Y DE MATERIALES	
titulo del proyecto Diseño de un chasis tubular para un Carcross		REALIZADO POR: Igor Martínez Fernández	
Plano: Refuerzo semiarco Escala 1:2 trasero infeior		fecha 14/6/17	Numero de plano 12

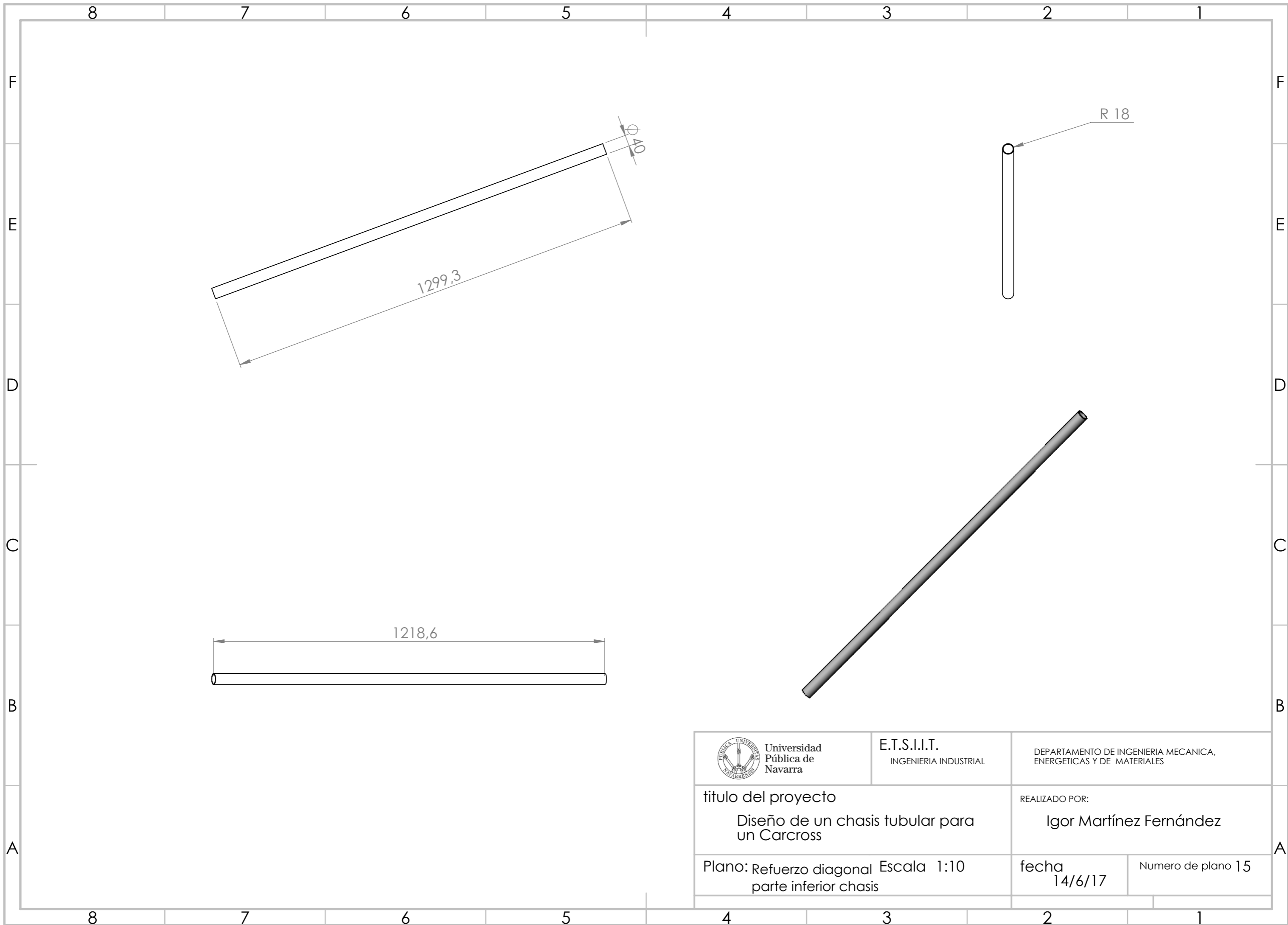





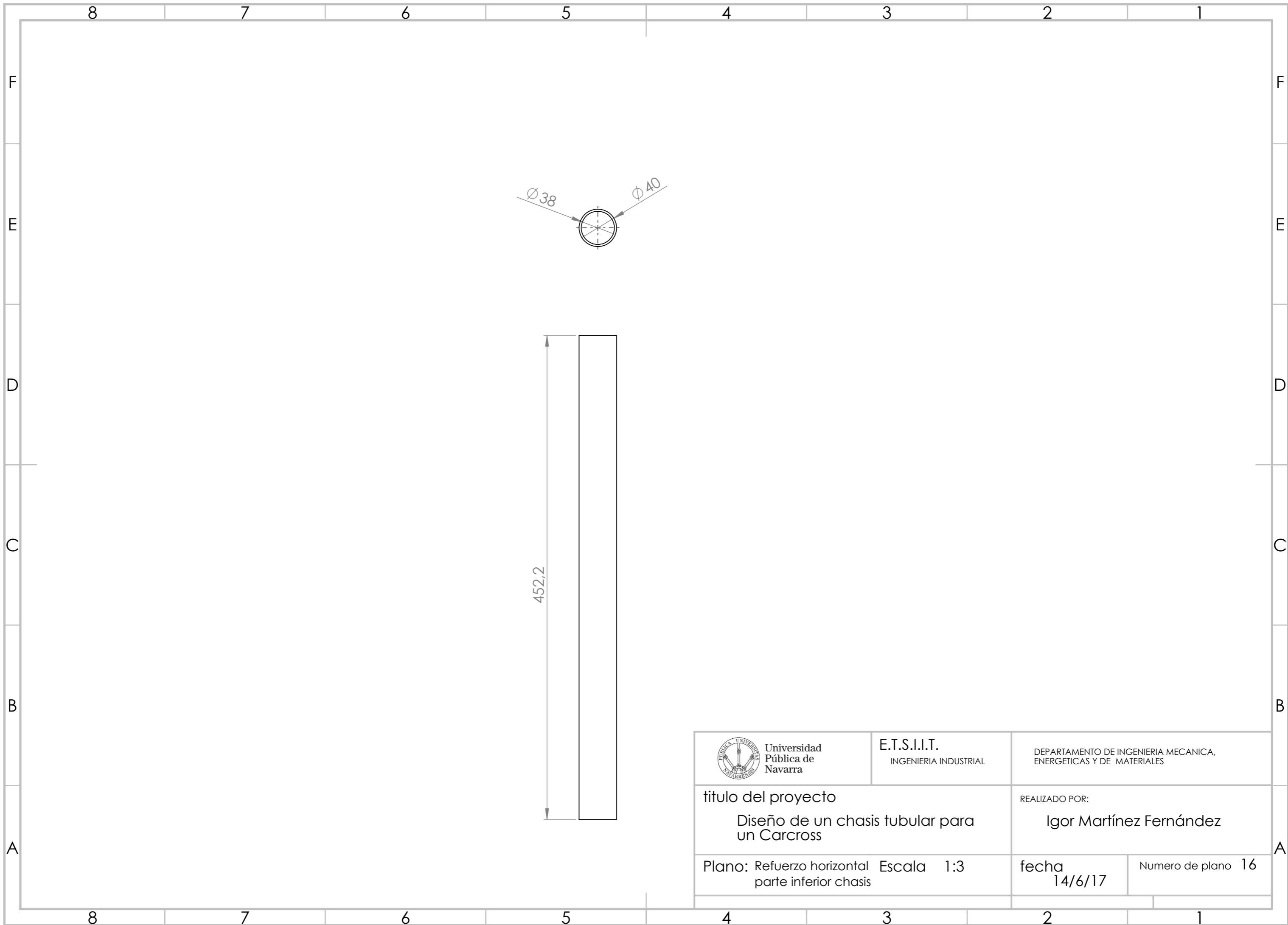
 Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T. INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, ENERGETICAS Y DE MATERIALES	
titulo del proyecto Diseño de un chasis tubular para un Carcross		REALIZADO POR: Igor Martínez Fernández	
Plano: Refuerzo lateral Escala 1:5 inferior		fecha 14/6/17	Numero de plano 13




 Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T. INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, ENERGETICAS Y DE MATERIALES	
titulo del proyecto Diseño de un chasis tubular para un Carcross		REALIZADO POR: Igor Martínez Fernández	
Plano: Refuerzo semiarco Escala 1:3 delantero-frontal		fecha 14/6/17	Numero de plano 14



 Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T. INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, ENERGETICAS Y DE MATERIALES	
titulo del proyecto Diseño de un chasis tubular para un Carcross		REALIZADO POR: Igor Martínez Fernández	
Plano: Refuerzo diagonal Escala 1:10 parte inferior chasis		fecha 14/6/17	Numero de plano 15



 Universidad Pública de Navarra	E.T.S.I.I.T. INGENIERIA INDUSTRIAL	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA, ENERGETICAS Y DE MATERIALES	
titulo del proyecto Diseño de un chasis tubular para un Carcross		REALIZADO POR: Igor Martínez Fernández	
Plano: Refuerzo horizontal Escala 1:3 parte inferior chasis		fecha 14/6/17	Numero de plano 16