



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE UN FORMULA STUDENT ELÉCTRICO

Autor: Javier Alonso Carrasco

Director: Juan Norverto Moriño

Madrid

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Javier Alonso Carrasco

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra:

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE UN FORMULA STUDENT ELÉCTRICO,

que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que

podieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 12 de Julio de 2019

ACEPTA



Fdo.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE UN FORMULA
STUDENT ELÉCTRICO en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad
Pontificia Comillas en el
curso académico 2018-2019 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Javier Alonso Carrasco

Fecha: 12/ Julio/2019



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan Norverto Moriñigo

Fecha: ...16.../ 07 / 2019...





GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE UN FORMULA STUDENT ELÉCTRICO

Autor: Javier Alonso Carrasco

Director: Juan Norverto Moriño

Madrid

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE UN FORMULA STUDENT ELÉCTRICO

Autor: Alonso Carrasco, Javier

Director del proyecto: Norberto Moriñigo, Juan

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

- **Introducción**

Este proyecto es una porción de un proyecto más grande, cuyo propósito es el de fabricar un Formula Student eléctrico.

La necesidad de llevar la potencia desde el motor hasta las ruedas, del coche eléctrico Formula Student de segunda generación del equipo ISC Formula Student de la universidad de ICAI, teniendo en cuenta el reglamento establecido por la competición, hace necesario realizar una investigación exhaustiva sobre el tema, ya que no puede haber ningún fallo que nos descarte de la competición.

Durante esta investigación, se estudiará el reglamento de Formula Student 2019 y se analizará qué es lo que se está utilizando en los distintos equipos que llevan más años participando en esta competición para ver cómo han ido adaptando sus diseños para satisfacer los requisitos impuestos. Usaremos esta información para ver cuál de los distintos modelos encontrados se acoplaría mejor a nuestro coche y buscaremos la manera de implementarlo en nuestro modelo.



Figura 1: IFS-01

Se parte de la base del IFS-01, que es el Formula Student de primera generación, es decir el realizado por el ISC en el curso pasado, y se intentará aprovechar al máximo posible todas las piezas que se fabricaron ya para este proyecto, aunque habrá que volver a diseñar desde cero algunas de ellas para optimizar el coche, a

partir de las valoraciones y los consejos recibidos en la competición Formula Student en Montmeló del curso pasado. Además, este año el equipo dispone de una serie de objetivos nuevos, en parte puestos por las valoraciones durante la competición también, que consisten en:

1. Nueva filosofía de diseño: pequeño, ligero y compacto.
2. Seguir un sistema de trabajo basado en la supervisión activa de los procesos y cumplimiento de la planificación.
3. Llevar a cabo una documentación detallada del proyecto que favorezca la continuidad del equipo.
4. Centrarse en lo esencial. Se busca un vehículo que pase la inspección técnica o scrutineering y sea capaz de correr las pruebas dinámicas.

Por lo que, dentro de lo que nos permita el presupuesto, se tratará de rediseñar también todas las piezas que no cumplan con estos objetivos. Se hará una selección de las piezas que más urge cambiar para obtener un coche competitivo y se procederá a su diseño.

- Metodología

Para el diseño de cada pieza, lo primero que debemos hacer es realizar una investigación y un análisis de toda la parte teórica que debemos conocer antes de empezar la fase de diseño, para ello debemos conocer todas las especificaciones que debe cumplir nuestro coche según el reglamento de la competición Formula Student, ya que la finalidad del coche es que sea capaz de pasar las pruebas del scrutineering, que son unas pruebas que debe pasar todo vehículo que quiera participar en la competición para poder pasar a la fase de correr, por lo que conocer este reglamento es primordial. Además, también se debe llevar a cabo una investigación acerca del funcionamiento de cada una de las piezas que conforman la transmisión del coche, ya que para diseñarlas debemos conocer a la perfección como va a funcionar y las fuerzas a las que va a estar sometida para garantizar que nuestra pieza será capaz de soportar dichos esfuerzos y no sufrirá deformaciones permanentes debidas a estos.

Una vez conocidos todos estos parámetros, procedemos a realizar los diseños de las piezas de modo que se adapten tanto a las especificaciones que marca la competición, como a los objetivos marcados por nuestro equipo para esta temporada. Para realizar estos diseños, vamos a usar un software CAD de modelado en 3D, en este caso utilizaremos el programa SolidWorks, y posteriormente probaremos la resistencia de este diseño en un software CAE para asegurarnos de que el diseño es capaz de soportar las fuerzas a las que podrá estar sometido, el software usado en este caso será ANSYS.

Cuando ya dispongamos de unos diseños con validez contrastada, se procederá a su fabricación, para lo cual seguiremos utilizando el programa SolidWorks para la realización de los planos de cada pieza detallando claramente las dimensiones, los materiales, y el procedimiento a efectuar para su fabricación.

Las piezas elegidas en la transmisión para rediseñarlas, tanto porque se había descubierto un error de diseño en la pieza utilizada en la temporada pasada,

como para ayudar a reducir el tamaño del coche para hacerlo más compacto y ligero han sido:

- La corona
 - El porta coronas
 - El eje de salida del motor
 - El piñón
 - Los soportes
- Resultados
 - La corona.



Figura 2: Corona fabricada

- El porta coronas.



Figura 3: Porta coronas fabricado

- El eje de salida del motor.

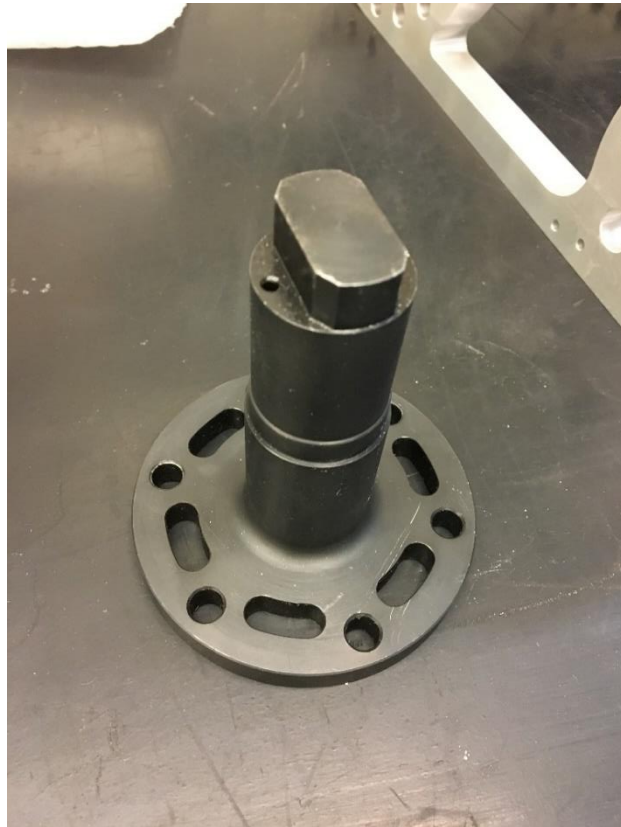


Figura 4: Eje de salida del motor fabricado

- El piñón.

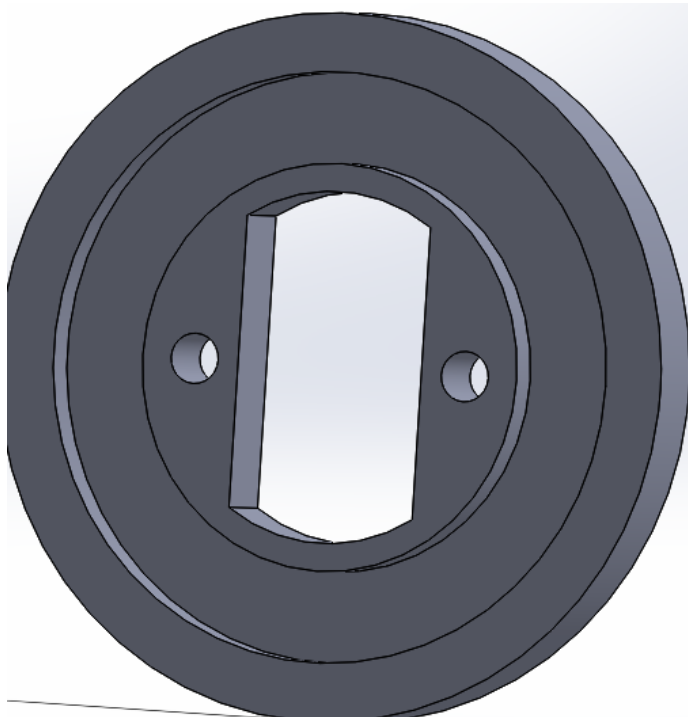


Figura 5: Piñón diseñado

- Los soportes.

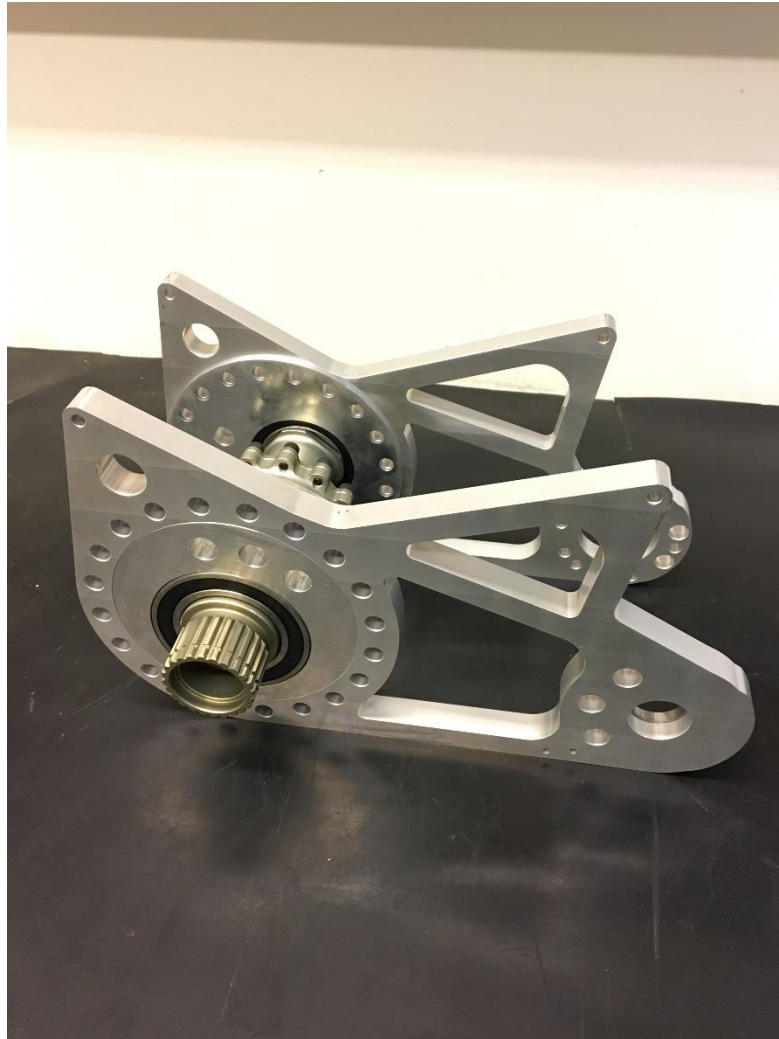


Figura 6: Soportes fabricados

- Conclusiones

De momento, desde el punto de vista de conseguir un modelo más compacto y ligero, casi todos los diseños han sido un éxito, pero no podremos valorar el nivel de satisfacción con el que ha pasado la inspección técnica y el rendimiento que ha ofrecido en las pruebas hasta pasada la competición de Montmeló que tiene lugar en agosto. La única excepción, cuyo diseño no ha sido un éxito, es el piñón, cuyo diseño era viable, pero al ser tan pequeño no se consiguió ningún fabricante que los hiciera de ese tamaño, por lo que se decidió hacerlo a partir de un bruto de acero en el laboratorio de ICAI por medio de corte por agua, pero la máquina se estropeó cuando llegó el momento de la fabricación.

DESIGN AND MANUFACTURE OF THE TRANSMISSION OF AN ELECTRIC FORMULA STUDENT

Author: Alonso Carrasco, Javier

Director of the project: Norberto Moriñigo, Juan

Collaborating entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

PROJECT SUMMARY

- **Introducción**

This project is a portion of a bigger project, whose purpose is to manufacture an electric Formula Student car.

The need of transmit the power from de engine to the wheels, of the second generation Formula Student electric car of the ISC Formula Student team from ICAI University, taking into account the regulations established by the competition, makes necessary to carry out an exhaustive research on the issue, since there can not be any failure that discard us from the competition. During this research, we will study the Formula Student 2019 regulations and analyze what is being used in the different teams that have been participating in this competition for more years to see how they have adapted their designs to meet the requirements imposed. We will use this information to see which of the different models found, would fit better to our car and we will look for ways to implement it on our model.



Figure 1: IFS-01

We start from the basis of the IFS-01, which is the first-generation Formula Student, the one carried out by the ISC in the last year. We will try to use the parts manufactured from this first-generation car as much as we can, although some of them will have to be re-designed from the beginning to

optimize the car, based on the evaluations and advices received on the Formula Student competition at Montmeló the last year. In addition, this year the team has a new series of objectives, partly set by the evaluations during the competition as well, which consist of:

1. New design philosophy: small, light and compact.
2. Follow a work system based on the active supervision of the processes and compliance with the planning.
3. Carry out a detailed documentation of the project that favors the continuity of the team
4. Focus on the essentials. The objective is a vehicle that passes the technical inspection or scrutineering and can run dynamic tests.

So, as the Budget allows us, we will try to re-design all the parts that do not meet these objectives. A selection of the pieces that are most urgently needed to change to obtain a competitive car will be made, and their design will proceed.

- **Methodology**

For the design of each part, the first thing we will do is an investigation and an analysis of all the theoretical part that we must know before starting the design phase, for that we must know all the specifications that our car must meet according to the rules of the Formula Student competition, since the aim of the car is to be able to pass the tests of scrutineering, which are some tests that every vehicle that wants to participate in the competition must pass in order to be able to move to the running stage. So, knowing this regulation is very important. In addition, you should also investigate about the operation of each of the parts that make up the transmission of the car, because to design them we must know how it will work and the forces that will be subjected to guarantee that our part will be able to withstand these efforts and will not suffer permanent deformations due to them.

Once all these parameters are known, we proceed to make the designs of the parts so that they suit both, the specifications that marks the competition, and the objectives set by our team for this season. To make these designs, we will use 3D CAD modeling software, in this case we will use the SolidWorks program, and later we will test the resistance of the design in a CAE software to make sure that the design is able to withstand the forces it will be submitted to, the software used in this case will be ANSYS.

When we already have designs with proven validity, we will proceed to its manufacture, for which we will continue using SolidWorks for the realization of the drawings of each part clearly detailing the dimensions, materials, and procedure to be manufactured.

The parts chosen in the transmission to re-design them, both because a design error had been discovered in the part used last season, and to help reducing the size of the car to make it more compact and lighter are:

- The crown.
- The crown holder.
- The output shaft of the motor.

- The pinion.
- The supports
- Results
 - The crown.



Figure 2: Crown Manufactured

- The Crown holder.

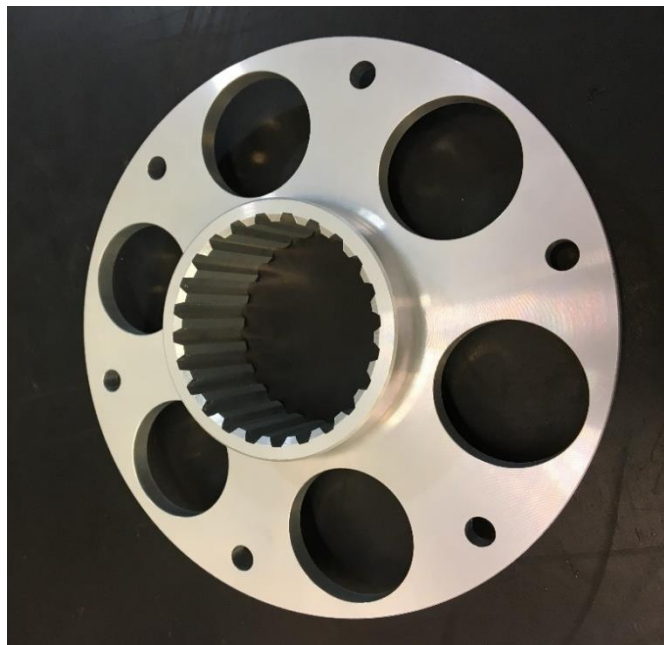


Figure 3: Crown holder manufactured

- The output shaft of the motor.



Figure 4: Output shaft of the motor manufactured

- The pinion.

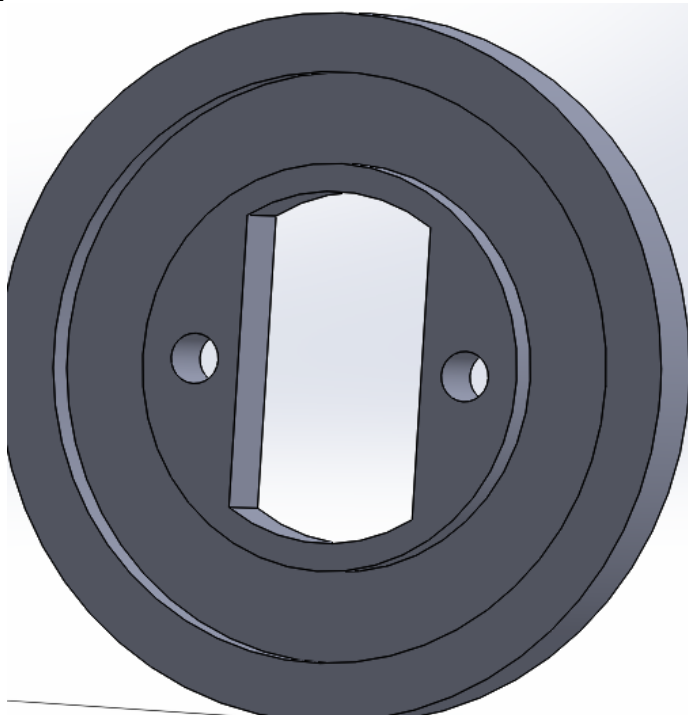


Figure 5: designed pinion

- The supports.

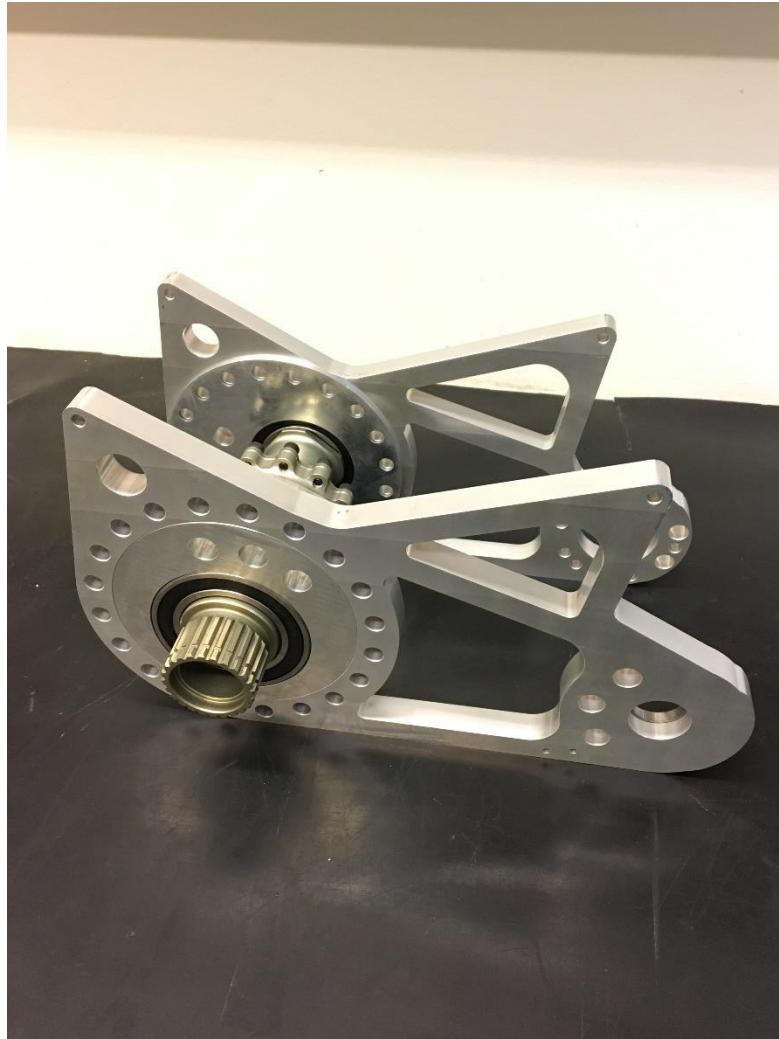


Figure 6: Supports manufactured

- Conclusions

By now, from the point of view of achieving a more compact and lighter model, almost all the designs have been a success, but we will not be able to assess the level of satisfaction of passing the technical inspection and the performance it has offered in the tests until the Montmeló competition that takes place in August. The only exception, whose design has not been a success, is the pinion, whose design was viable but because it was so small, no manufacturer who do it was found. That why it was decided to do it from a steel rough at the ICAI laboratory with water cutting, but the machine broke down at the time of manufacturing.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, gracias a ICAI, Universidad Pontificia de Comillas por facilitarnos el poder realizar este tipo de proyecto permitiéndonos formar la asociación del ICAI Speed Club.

En segundo lugar, gracias a mis compañeros de equipo dentro del departamento de transmisión, ya que nos hemos ayudado entre todos para sacar este proyecto adelante. Y en especial al director de departamento Marcos Freire, que siempre ha estado dispuesto a ayudarme y resolver cualquier duda que me iba apareciendo.

Y en último lugar, agradecer a mis amigos el apoyo brindado para que me animase a formar parte de este proyecto y levantarme el ánimo en los peores momentos, en especial a Alejandra Basurco Hernández de Santamaria.

Índice

Memoria

1. Introducción	12
1.1. Objetivos	13
1.2. Formula Student	14
1.2.1. Objetivo de la competición.....	14
1.2.2. Pruebas estáticas.....	15
1.2.3. Pruebas dinámicas.....	17
1.2.4. Reglas para los estudiantes.....	19
1.2.5. Normas para el vehículo.....	19
1.2.6. Reglamento para la transmisión.....	20
2. Gestión del proyecto	22
2.1. Motivación	22
2.2. Objetivos.....	22
2.3. Estructura del equipo.....	23
2.4. Método de trabajo.....	25
3. Vehículo IFS-02	27
3.1. Características generales	27
3.2. Proceso	27
3.3. Condiciones	28
4. Elección de conceptos	29
4.1. Transmisión entre la salida del motor y el diferencial	29
4.2. El diferencial y su soporte.....	39
4.2.1. Diferencial.....	39
4.2.2. Soporte.....	48
4.3. Transmisión del diferencial hasta el buje.....	49
5. Diseño de piezas.....	50
5.1. Porta coronas	50
5.1.1. Primera versión.....	51
5.1.2. Segunda versión.....	56
5.1.3. Tercera versión.....	59
5.2. Corona.....	61
5.2.1. Primera versión.....	62
5.2.2. Segunda versión.....	65
5.2.3. Tercera versión.....	67
5.2.4. Cuarta versión.....	69
5.3. Eje de salida del motor	71
5.4. Piñón del eje de salida	76
5.5. Soporte	81
5.5.1. Soporte de 16 mm.....	83
5.5.2. Soporte de 18 mm.....	84
6. Conclusiones	87
7. Planes futuros	88
8. Bibliografía	89
9. Planos	90

Índice de figuras

<i>Figura 1: IFS-01</i>	7 y 12
OneDrive ISC	
<i>Figura 2: Corona fabricada</i>	9 y 14
Elaboración propia	
<i>Figura 3: Porta coronas fabricado</i>	9 y 14
Elaboración propia	
<i>Figura 4: Eje de salida del motor fabricado</i>	10 y 15
Elaboración propia	
<i>Figura 5: Piñón diseñado</i>	10 y 15
OneDrive ISC	
<i>Figura 6: Soportes fabricados</i>	11 y 16
Elaboración propia	
<i>Figura 7: Circuito para el Skid Pad</i>	34
“Formula student rules”	
<i>Figura 8: Circuito de autocross</i>	35
https://www.auto123.com/en/multimedia/news/formula-sae-an-insiders-look-at-detroits-international-competition-part-2/125779/	
<i>Figura 9: Resumen de la puntuación máxima de cada prueba</i>	36
Elaboración propia	
<i>Figura 10: Transmisión de correa dentada</i>	48
http://www.directindustry.es/prod/cross-morse/product-20096-411757.html	
<i>Figura 11: Transmisión de cadena</i>	49
https://sites.google.com/site/mecanismoscircuitos/mecanismos/mecanismos-de-transmision-del-movimiento/transmision-por-engranajes/engranajes-con-cadena	
<i>Figura 12: Movimiento de la cadena sobre la rueda dentada</i>	50
https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html	
<i>Figura 13: coche tomando una curva</i>	57
https://8000vueltas.com/especiales/diferenciales/diferenciales.pdf	
<i>Figura 14: Curva de par en función de la diferencia de velocidad en un diferencial Spool</i>	58
https://8000vueltas.com/especiales/diferenciales/diferenciales.pdf	

<i>Figura 15: Esquema de un diferencial libre</i>	<i>59</i>
https://8000vueltas.com/especiales/diferenciales/diferenciales.pdf	
<i>Figura 16: Esquema del diferencial tipo Torsen</i>	<i>60</i>
https://8000vueltas.com/especiales/diferenciales/diferenciales.pdf	
<i>Figura 17: Curva de par en función de la diferencia de velocidad en un diferencial de discos.....</i>	<i>61</i>
https://8000vueltas.com/especiales/diferenciales/diferenciales.pdf	
<i>Figura 18: Esquema expansionado de un diferencial de deslizamiento limitado de discos.....</i>	<i>61</i>
https://8000vueltas.com/especiales/diferenciales/diferenciales.pdf	
<i>Figura 19: Esquema de un diferencial Salisbury.....</i>	<i>62</i>
https://8000vueltas.com/especiales/diferenciales/diferenciales.pdf	
<i>Figura 20: Gráfica de transmisión de par en función de la temperatura.....</i>	<i>63</i>
https://8000vueltas.com/especiales/diferenciales/diferenciales.pdf	
<i>Figura 21: despiece de diferencial Drexler</i>	<i>64</i>
[LEON14] León Ramalle, Andrés, “Modelización del comportamiento de un diferencial LSD Drexler de un vehículo tipo monoplaça”, universidad politécnica de Madrid, Madrid 2014	
<i>Figura 22: CAD excéntricas.....</i>	<i>66</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 23: Primera versión del porta coronas.....</i>	<i>68</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 24: Mallado de la primera versión del porta coronas.....</i>	<i>69</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 25: Simulación promediada de la primera versión del porta coronas</i>	<i>69</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 26: Simulación sin promediar de la primera versión del porta coronas.....</i>	<i>70</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 27: Hoja de características del aluminio 7075</i>	<i>71</i>
https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_7075_aluminio.pdf	
<i>Figura 28: Hoja de características del aluminio 7075</i>	<i>72</i>
https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_7075_aluminio.pdf	

<i>Figura 29: Segunda versión del porta coronas.....</i>	<i>73</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 30: Simulación promediada del segundo diseño del porta coronas.....</i>	<i>74</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 31: Segundo diseño del porta coronas ajustado.....</i>	<i>74</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 32: Simulación promediada del segundo diseño ajustado del porta coronas.....</i>	<i>75</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 33: Simulación sin promediar del segundo diseño ajustado del porta coronas....</i>	<i>75</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 34: Tercera versión del porta coronas.....</i>	<i>76</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 35: Simulación promediada del tercer diseño del porta coronas.....</i>	<i>76</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 36: Tercer diseño del porta coronas ajustado.....</i>	<i>77</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 37: Simulación promediada del tercer diseño ajustado del porta coronas.....</i>	<i>77</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 38: Simulación sin promediar del tercer diseño ajustado del porta coronas.....</i>	<i>78</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 39: Primera versión de la corona</i>	<i>79</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 40: Soporte fijo de la corona</i>	<i>80</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 41: Fuerza aplicada a la corona</i>	<i>80</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 42: Simulación promediada de la primera versión de la corona.....</i>	<i>81</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 43: Simulación sin promediar de la primera versión de la corona</i>	<i>81</i>
Elaboración propia	

<i>Figura 44: Segunda versión de la corona</i>	<i>82</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 45: Simulación promediada de la segunda versión de la corona.....</i>	<i>83</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 46: Simulación sin promediar de la segunda versión de la corona</i>	<i>83</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 47: Tercera versión de la corona</i>	<i>84</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 48: Simulación promediada de la tercera versión de la corona.....</i>	<i>85</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 49: Simulación sin promediar de la tercera versión de la corona</i>	<i>85</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 50: Cuarta versión de la corona</i>	<i>86</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 51: Simulación promediada de la cuarta versión de la corona</i>	<i>87</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 52: Simulación sin promediar de la cuarta versión de la corona</i>	<i>87</i>
Elaboración propia	
<i>Figura 53: Eje de salida del motor</i>	<i>88</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 54: Parte inferior del eje.....</i>	<i>89</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 55: Cambio de diámetro en el eje</i>	<i>89</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 56: Cara en contacto con el piñón.....</i>	<i>90</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 57: Simulación de la deformación elástica de la pieza.....</i>	<i>91</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 58: Datos de la simulación</i>	<i>91</i>
OneDrive ISC	

<i>Figura 59: Simulación de las tensiones que sufre la pieza</i>	<i>92</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 60: Datos de la simulación de tensiones</i>	<i>92</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 61: Simulación de deformación total</i>	<i>93</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 62: Datos de la simulación de deformación</i>	<i>93</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 63: Piñón</i>	<i>94</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 64: simulación de deformación total</i>	<i>95</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 65: Datos de la simulación de deformación</i>	<i>96</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 66: Simulación de deformación elástica</i>	<i>96</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 67: Datos de la deformación elástica.....</i>	<i>97</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 68: Simulación de tensiones en el piñón</i>	<i>97</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 69: Datos de la simulación de tensiones en el piñón.....</i>	<i>98</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 70: Soporte de 16 mm</i>	<i>99</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 71: Soporte de 18 mm</i>	<i>99</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 72: Detalle del alojamiento del motor</i>	<i>100</i>
OneDrive ISC	
<i>Figura 73: Diseño final del soporte.....</i>	<i>101</i>
OneDrive ISC	

Figura 74: Simulación sin promediar del soporte..... 102

OneDrive ISC

Figura 75: Simulación promediada del soporte 102

OneDrive ISC

Figura 76: Simulación de deformaciones del soporte 103

OneDrive ISC

Figura 77: conjunto de la transmisión

OneDrive ISC

Índice de tablas

Tabla 1: puntuación máxima de cada prueba.....	32
<i>Tabla 2: evaluación BPP</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 3: Puntuación de Cost and Manufacturing.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 4: puntuación máxima en Engineering Design.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 5: transmisión de correa dentada frente a transmisión de cadena de potencia....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 6: Número de dientes más empleados</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 7: Cálculo de K4</i>	<i>53</i>

Índice de diagramas

<i>Diagrama 1: Estructura del equipo ISC Formula Student Eléctrico</i>	<i>41</i>
<i>Diagrama 2: Miembros del departamento de la transmisión.....</i>	<i>42</i>

Índice de gráficas

<i>Gráfica 1: Cálculo de K_1</i>	<i>52 y 55</i>
<i>Gráfica 2: Cálculo de K_2</i>	<i>53 y 55</i>
<i>Gráfica 3: Cálculo de K_3</i>	<i>53 y 56</i>
<i>Gráfica 4: Cálculo K_5</i>	<i>54 y 56</i>
<i>Gráfica 5: Gráfica de selección de cadena de transmisión de potencia serie europea</i>	<i>54</i>

ABREVIACIONES

BOM (Bill of Material) Lista de materiales

BPP (Business Plan Presentation) Presentación del plan de negocios

CV (combustion vehicle) Vehículo de combustión

DNF (Did Not Finish) No termina

DQ (Disqualified) Descalificado

DV (driverless vehicles) Vehículo autónomo

EV (Electric vehicle) Vehículo eléctrico

ICAI Instituto Católico de Artes e Industrias

IMD (Insulation Monitoring Device) Dispositivo de monitorización de aislamiento

ISC ICAI Speed Club

TSAL (Tractive System Active Light) Luz de sistema de tracción activo

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de llevar la potencia desde el motor hasta las ruedas, del coche eléctrico Formula Student de segunda generación del equipo ISC Formula Student de la universidad de ICAI, teniendo en cuenta el reglamento establecido por la competición, hace necesario realizar una investigación exhaustiva sobre el tema, ya que no puede haber ningún fallo que nos descarte de la competición.

Durante esta investigación, se estudiará que es lo que se está utilizando en los distintos equipos que llevan más años participando en esta competición para ver cómo han ido adaptando sus diseños para satisfacer los requisitos impuestos. Usaremos esta información para ver cuál de los distintos modelos encontrados se acoplaría mejor a nuestro coche y buscaremos la manera de implementarlo en nuestro modelo.

El objetivo perseguido por medio de este proyecto es dar con la mejor manera de transmitir la potencia a las ruedas y por eso nos fijamos en los principales equipos de Formula Student ya que ellos ya están muy avanzados en ese tema al llevar muchos años mejorándola.

Partimos de la base del IFS-01, que es el coche que hizo el ISC Formula Student la temporada pasada, y sobre este se trabajara para mejorar los fallos encontrados en los diseños, basándonos en las valoraciones que se obtuvieron en la competición de Formula Student en Montmeló, y en los consejos que nos dieron los otros equipos. Los puntos a mejorar en la transmisión del IFS-01 son:

- Posicionamiento del motor: no puede pasar la cadena por medio de un tubo, incumple la norma.
- El porta coronas debe tener el espesor que hay desde la muesca del Drexler hasta el propio diferencial.
- Tiene que estar contemplado un anclaje para el cubrecadenas
- Los palieres no han quedado centrados
- Eje motor y piñón deben ser de acero.

1.1 Objetivos

- Juntar el soporte del motor y el diferencial haciendo un soporte único para ambas piezas, hacer una abertura en la salida del eje con un rodamiento, de esta manera el eje de salida del motor podría ser más largo y el soporte izquierdo podría soportar los esfuerzos del motor.
- El diferencial tiene que ir centrado, que los palieres estén completamente rectos.
- Hacer el porta coronas más pequeño, pesa mucho, además el espesor debe ser el que hay desde el hueco para el circlip del Drexler hasta el propio diferencial.
- Hacer una corona más pequeña, la actual tiene una relación de transmisión muy elevada, eso nos da un par excesivo, el límite para que una rueda patine, para un el peso de nuestro coche, es de 700-800 Nm y actualmente tiene cerca de 900 Nm.
- Hacer un piñón más pequeño para poder reducir el tamaño de la corona y reducir el espacio que ocupa el diferencial.
- Seguir la filosofía de pequeño, compacto y ligero en todos los diseños.
- Respetar el reglamento de Formula Student 2019 en todo caso.

1.2 FORMULA STUDENT

1.2.1 Objetivo de la competición

En la competición se enfrentan equipos de distintas universidades para concebir, diseñar, fabricar y desarrollar un pequeño vehículo tipo formula con el que participar en las distintas pruebas.

En la competición se dividen las siguientes clases:

- Vehículos de combustión interna (CV)
- Vehículos eléctricos (EV)
- Vehículos autónomos (DV)

Todos los vehículos deben cumplir una serie de requisitos definidos en la normativa de la competición, dependiendo de la clase en la que se vaya a competir.

La competición comienza con una serie de inspecciones técnicas para comprobar que el vehículo es seguro y que cumple con las normas especificadas.

La competición se divide en una serie de pruebas estáticas y dinámicas en las que se repartirán una serie de puntos según se muestra en la tabla 1 y finalmente, el equipo que sume más puntos en el global de todas las pruebas será el ganador de la competición de cada clase.

	CV & EV	DV
Pruebas Estáticas		
Business Plan Presentation	75 points	75 points
Cost and Manufacturing	100 points	100 points
Engineering Design	150 points	300 points
Pruebas Dinámicas		
Skid Pad	75 points	75 points
Acceleration	75 points	75 points
Autocross	100 points	100 points
Endurance	325 points	-
Efficiency	100 points	75 points
Track drive	-	200 points
Overall	1000 points	1000 points

Tabla 1: puntuación máxima de cada prueba

1.2.2 PRUEBAS ESTÁTICAS

Inspección técnica:

Esta inspección no proporciona ningún punto al equipo, pero si el vehículo no fuese capaz de superar esta inspección, esto significa la descalificación del equipo en la competición por lo que ya no podría participar. Esta inspección exhaustiva, sirve para comprobar el cumplimiento del reglamento. Inicialmente, se verifica la presencia y el correcto funcionamiento de los elementos de seguridad del vehículo, para garantizar que éste es seguro. Posteriormente a esta verificación, en la competición de vehículos eléctricos, se realiza el rain test, en el cual se rociará agua sobre el vehículo desde cualquier dirección posible, de manera que el rociado de agua sea similar a un vehículo que circula bajo la lluvia y no a una corriente directa de agua a alta presión. Esta prueba se pasa si el IMD no se activa mientras se rocía agua en el vehículo durante 120 segundos, ni en los 120 segundos posteriores a detener el rociado de agua. Más tarde se realiza un test de frenado en el cual el vehículo debe ser capaz de bloquear las cuatro ruedas y detener el vehículo en línea recta al final de una carrera de aceleración especificada por el jurado sin detener el motor. Además, para coches eléctricos, después de acelerar, el sistema de tracción debe ser apagado por el conductor y el conductor debe frenar usando solo los frenos mecánicos. Es aceptable que el TSAL cambie a verde poco después de que el vehículo se haya detenido por completo, ya que la reducción de la tensión del sistema puede demorar hasta 5 segundos. Se revisarán la luz de freno y la iluminación TSAL y el jurado verificara si la iluminación es satisfactoria para la observación externa. Se revisará el sonido de listo para conducir y el jurado verificara si el nivel de sonido es aceptable. También se realiza una evaluación sobre la capacidad de apagar el vehículo en situaciones de peligro, y, para terminar, se realiza un test de vuelco. Durante este test, el vehículo se colocará sobre la mesa de inclinación y con un ángulo de 60°, en esta posición no debe haber fugas de fluido y todas las ruedas deben permanecer en contacto con la superficie de la mesa de inclinación. Si el vehículo es capaz de superar con éxito esta inspección técnica, quiere decir que el vehículo está listo para competir y puede pasar a las pruebas estáticas.

Business Plan Presentation (75 points): en esta prueba, el equipo hará una presentación de 10 minutos en la que desarrollará y ofrecerá un modelo de negocios integral que demuestre que su producto, es decir, su vehículo tipo formula, podría convertirse en una oportunidad de negocio lucrativa. Durante esta presentación, los jueces deben ser tratados como si fueran inversores o socios potenciales para el modelo de negocio presentado, y no se tendrá en cuenta la calidad del prototipo real como parte de la evaluación del BPP.

La presentación se evaluará según las categorías especificadas en la tabla 2.

Category	Points
Executive Summary	10
Novelty	10
Content	20
Finances	10
Deep Dive Topic	10
Demonstration and Structure	15
Delivery	10
Questions	10
General Impression	5
Total	100

Tabla 2: evaluación BPP

Cost and Manufacturing (100 puntos): El objetivo de Cost and Manufacturing es evaluar la comprensión del equipo en los procesos de fabricación y los costes asociados a la construcción de un coche de carrera. Esto incluye decisiones de compensación entre contenido y costo, decisiones de fabricación o compra y comprensión de las diferencias entre prototipo y producción en masa. La exposición que se realizará ante los jueces tiene dos partes principales: en primer lugar la Bill of Material (BOM) discussion, en la que se evaluará la habilidad del equipo para preparar un BOM de ingeniería y fabricación precisos para el vehículo completo, en la que se debe reflejar las especificaciones del vehículo llevado a la competición, y en segundo lugar el Cost Understanding, en la que se evaluará el conocimiento del costo general y fabricación del equipo. Esta prueba se evaluará de acuerdo con las categorías especificadas en la tabla 3.

Category	Points
Format and Accuracy of Documents	5
Knowledge of Documents and Vehicle	5
Content and Completeness of the BOM	20
Realism of the CBOM	20
Discussion Part 2 "Cost Understanding"	50
Total	100

Tabla 3: Puntuación de Cost and Manufacturing

Engineering Design (150 puntos): Los integrantes del equipo deben rellenar una ficha propuesta por el jurado para justificar de manera clara las elecciones técnicas tomadas para la concepción y realización del prototipo. Es en esta prueba donde los estudiantes deben defender sus elecciones gracias a modelos comparativos, simulaciones numéricas o esquemas. También deben probar que los conceptos retenidos pueden resistir las tensiones que van a soportar a lo largo de la competición. Esta prueba se evaluará de acuerdo con las categorías especificadas en la tabla 4.

Category	Points
Overall Vehicle Concept	25
Vehicle Performance	35
Mechanical/Structural Engineering	25
Drivetrain	35
LV-Electrics/Electronic	10
Driver Interface	15
Engineering Design Report	5
Total	150

Tabla 4: puntuación máxima en Engineering Design

1.2.3 PRUEBAS DINÁMICAS

Skid Pad: la prueba se realiza en un circuito formado por dos pares de círculos concéntricos que forman un ocho, como se muestra en la figura 1, cada equipo puede recorrerlo cuatro veces con dos pilotos que hagan dos carreras cada uno. Y consiste en realizar el mejor tiempo descontando las penalizaciones.

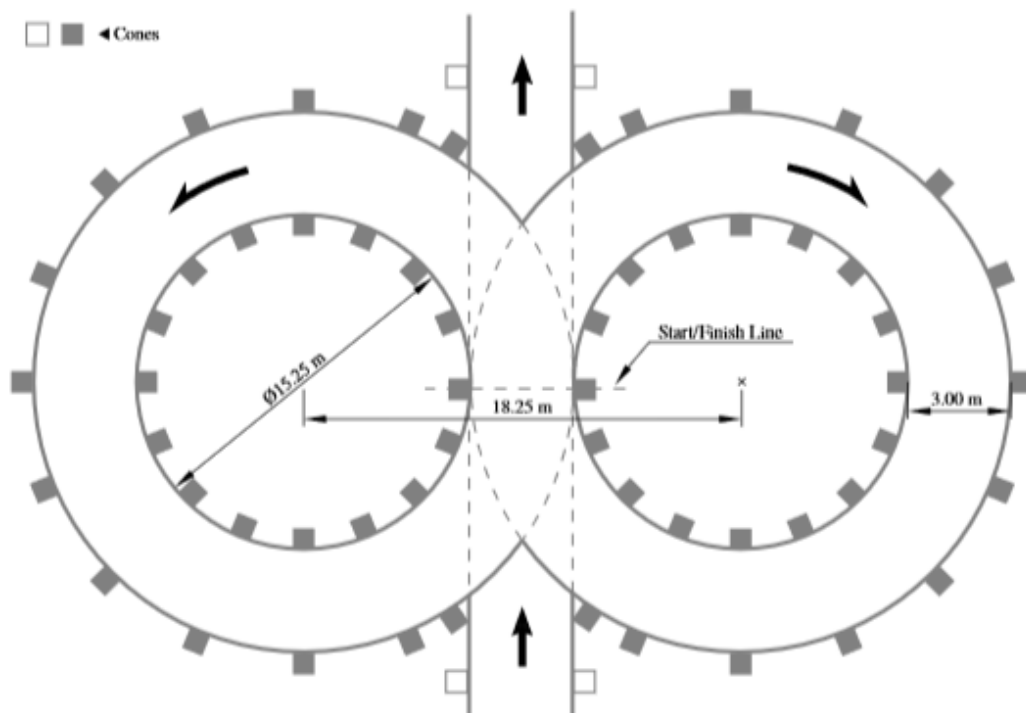


Figura 7: Circuito para el Skid Pad

Acceleration: La pista de aceleración es una línea recta de 75 metros de longitud desde una línea de salida hasta la línea de meta. La pista mide 5 metros de anchura y está delimitada por conos. También se tienen cuatro oportunidades, dos cada uno de los dos pilotos, y el objetivo vuelve a ser hacer el recorrido en el menor tiempo posible.

Autocross: La pista de autocross consiste en un circuito de menos de 1,5 kilómetros de longitud, en el que hay constantes giros de hasta 50 metros de diámetro, rectas de no más de 80 metros, vueltas de horquilla con un diámetro exterior mínimo de 9 metros, slaloms entre conos dispuestos en línea recta con una separación de 7,5 a 12 metros, y diversos giros de radio decreciente, chicanes, etc. Las condiciones son las mismas que las anteriores, dos carreras para cada uno de los dos pilotos, buscando hacer el mejor tiempo posible.



Figura 8: Circuito de autocross

Endurance: En esta prueba se evalúa tanto la fiabilidad como la durabilidad del prototipo, de nuevo tenemos un circuito como el de la prueba de autocross, con constantes giros de hasta 50 metros de diámetro, rectas de no más de 80 metros, vueltas de horquilla con un diámetro exterior mínimo de 9 metros, slaloms entre conos dispuestos en línea recta con una separación de 9 a 15 metros esta vez, y diversos giros de radio decreciente, chicanes, etc. La longitud una vuelta será de aproximadamente un kilómetro con un anchura mínima de tres metros, y la longitud de la prueba completa será de aproximadamente 22 km. En esta prueba sólo se podrá hacer una carrera y los pilotos deberán cambiarse a mitad del circuito en un periodo de tres minutos.

Se puntúa sumando los tiempos de cada vuelta, eliminando la vuelta larga en la que se produce el cambio de piloto y sumando las penalizaciones. Se dan 25 puntos a todos los equipos que terminen la prueba de endurance sin DNF o DQ.

Efficiency: El objetivo es medir la eficiencia energética durante la prueba de resistencia (endurance). Solo los vehículos que hayan conseguido puntos en la prueba de resistencia podrán conseguir puntos en la prueba de eficiencia.

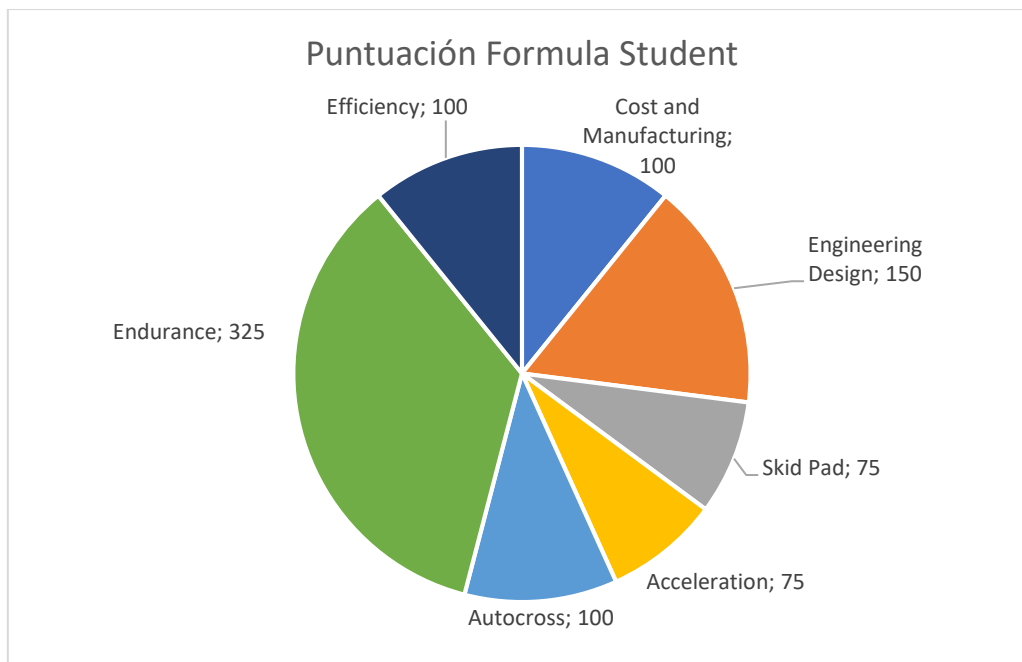


Figura 9: Resumen de la puntuación máxima de cada prueba

1.2.4 Reglas para los estudiantes

Los vehículos que participen en la competición deben haber sido concebidos, diseñados y mantenidos por los estudiantes que conforman el equipo, sin la involucración directa de ingenieros profesionales, corredores, mecánicos o profesionales relacionados.

El equipo de estudiantes puede utilizar cualquier información de profesionales o académicos siempre que la información se proporcione como una discusión de alternativas con sus pros y sus contras.

Los profesionales no deben hacer decisiones de diseño o dibujos.

Los estudiantes deben realizar tareas de fabricación siempre que sea posible.

1.2.5 Normas para el vehículo

Cada vehículo debe usarse un solo año, y para ser clasificado como un coche nuevo, el vehículo debe presentar cambios significativos en la estructura del chasis comparado con su predecesor.

1.2.6 Reglamento para la transmisión

T.7 POWERTRAIN

T.7.1 Transmission and Drive

Any transmission and drivetrain may be used.

T.7.2 Drivetrain Shields and Guards

T.7.2.1 Exposed high-speed final drivetrain equipment such as Continuously Variable Transmissions (CVTs), sprockets, gears, pulleys, torque converters, clutches, belt drives, clutch drives and electric motors, must be fitted with scatter shields intended to contain drivetrain parts in case of failure.

T.7.2.2 The final drivetrain shield must:

- a. Be made with solid material (not perforated)
- b. Cover the chain or belt from the drive sprocket to the driven sprocket/chain wheel/belt or pulley.
- c. Start and end parallel to the lowest point of the chain wheel/belt/pulley:

T.7.2.3 Body panels or other existing covers are not acceptable unless constructed per T.7.2.5 / T.7.2.6

T.7.2.4 If equipped, the engine drive sprocket cover may be used as part of the scatter shield system.

T.7.2.5 Chain Drive - Scatter shields for chains must:

- a. Be made of 2.66 mm (0.105 inch) minimum thickness steel (no alternatives are allowed)
- b. Have a minimum width equal to three times the width of the chain
- c. Be centered on the center line of the chain and
- d. Remain aligned with the chain under all conditions

T.7.2.6 Non-metallic Belt Drive - Scatter shields for belts must:

- a. Be made from 3.0 mm (0.120 inch) minimum thickness aluminum alloy 6061-T6
- b. Have a minimum width that is equal to 1.7 times the width of the belt.
- c. Be centered on the center line of the belt
- d. Remain aligned with the belt under all conditions.

T.7.2.7 Attachment Fasteners - All fasteners attaching scatter shields and guards must be 6mm or 1/4" minimum diameter Critical Fasteners, see T.10.2 and T.10.3

T.7.2.8 Finger Guards

- a. Must cover any drivetrain parts that spin while the vehicle is stationary with the engine running.
- b. Must be made of material sufficient to resist finger forces.
- c. Mesh or perforated material may be used but must prevent the passage of a 12 mm diameter object through the guard.

T.7.3 Coolant Fluid

T.7.3.1 Water cooled engines must use only plain water with no additives of any kind.

T.7.3.2 Electric motors, accumulators or HV electronics may use plain water with no additives or oil as the coolant.

T.7.4 System Sealing

T.7.4.1 Any cooling or lubrication system must be sealed to prevent leakage.

T.7.4.2 The vehicle must be capable of being tilted to a 45° angle without leaking fluid of any type.

T.7.4.3 Flammable liquid leaks must not be allowed to accumulate.

T.7.4.4 At least 2 holes, each of a minimum diameter of 25 mm, must be provided in the lowest part of the structure or belly pan in such a way as to prevent accumulation of volatile liquids and/or vapours.

T.7.4.5 Absorbent material and open collection devices (regardless of material) are prohibited in compartments containing engine, drivetrain, exhaust and fuel systems below the highest point on the exhaust system.

T.7.5 Catch Cans

T.7.5.1 Separate catch cans must be employed to retain fluids from any vents for the engine coolant system and engine lubrication system. Each catch can must have a minimum volume of 10% of the fluid being contained or 0.9 liter, whichever is greater.

T.7.5.2 Any vent on other systems containing liquid lubricant or coolant, including a differential, gearbox, or electric motor, must have a catch can with a minimum volume of 10% of the fluid being contained or 0.5 liter, whichever is greater.

T.7.5.3 Catch cans must be:

- a. Capable of containing boiling water without deformation

- b. Located rearwards of the firewall below the driver's shoulder level
- c. Positively retained, using no tie wraps or tape

T.7.5.4 Any catch can on the cooling system must vent through a hose with a minimum internal diameter of 3 mm down to the bottom levels of the Frame.

2 GESTIÓN DEL PROYECTO

El proyecto IFS-02 entra dentro del marco de proyectos del Icai Speed Club (ISC a partir de ahora), y nace con la experiencia de lo vivido el año anterior con el proyecto IFS-01, y la motivación de sus miembros de seguir adelante para crear un nuevo monoplaza que les permita situarse como un equipo fuerte en el panorama de la Formula Student Spain.

2.1 MOTIVACIÓN

- Aprender: a través del desarrollo y fabricación de todos los componentes, sistemas y subsistemas que llevaría el vehículo, se buscó complementar los conocimientos adquiridos en la carrera. Es una completa inmersión en un proyecto de ingeniería, que también tiene contenido empresarial.
- Competir: Buscando un concepto de monoplaza sencillo, el objetivo es establecer las bases de un equipo que se preparase para competir con las mejores universidades tanto de España como de Europa.
- Crear un equipo de primera categoría: es el objetivo perseguido por todos los miembros, y para ello se va a establecer una jerarquía de equipo y medidas para favorecer el aprendizaje de los nuevos miembros que llevarán el relevo en las próximas temporadas.

2.2 OBJETIVOS

Los objetivos que ha establecido el equipo para esta temporada en el proyecto del IFS-02 son fundamentalmente cuatro, que intentan fortalecer el equipo y solventar los errores encontrados al realizar un análisis de lo que se podía mejorar a partir del proyecto IFS-01.

Estos cuatro objetivos fundamentales son:

1. Nueva filosofía de diseño: pequeño, ligero y compacto.
2. Seguir un sistema de trabajo basado en la supervisión activa de los procesos y cumplimiento de la planificación.

3. Llevar a cabo una documentación detallada del proyecto que favorezca la continuidad del equipo.
4. Centrarse en lo esencial. Se busca un vehículo que pase la inspección técnica o scrutineering y sea capaz de correr las pruebas dinámicas.

2.3 ESTRUCTURA DEL EQUIPO

En este proyecto se lleva a cabo una reconfiguración con el objetivo de cubrir las debilidades del anterior proyecto. Se busca fijar una estructura fuerte, con dependencia lineal, que asegure la consecución de los objetivos.

El equipo está dividido en dos grandes sectores que abarcan todos los demás, estos son: el área Técnica por un lado y por otro lado el área de Gestión. El área de Gestión está formada por diferentes apartados relacionados con la dimensión empresarial y corporativa del proyecto, mientras que el área Técnica es la encargada del diseño, fabricación y ensamblaje del monoplaza.

La estructura global del equipo quedaría como en el diagrama 1.

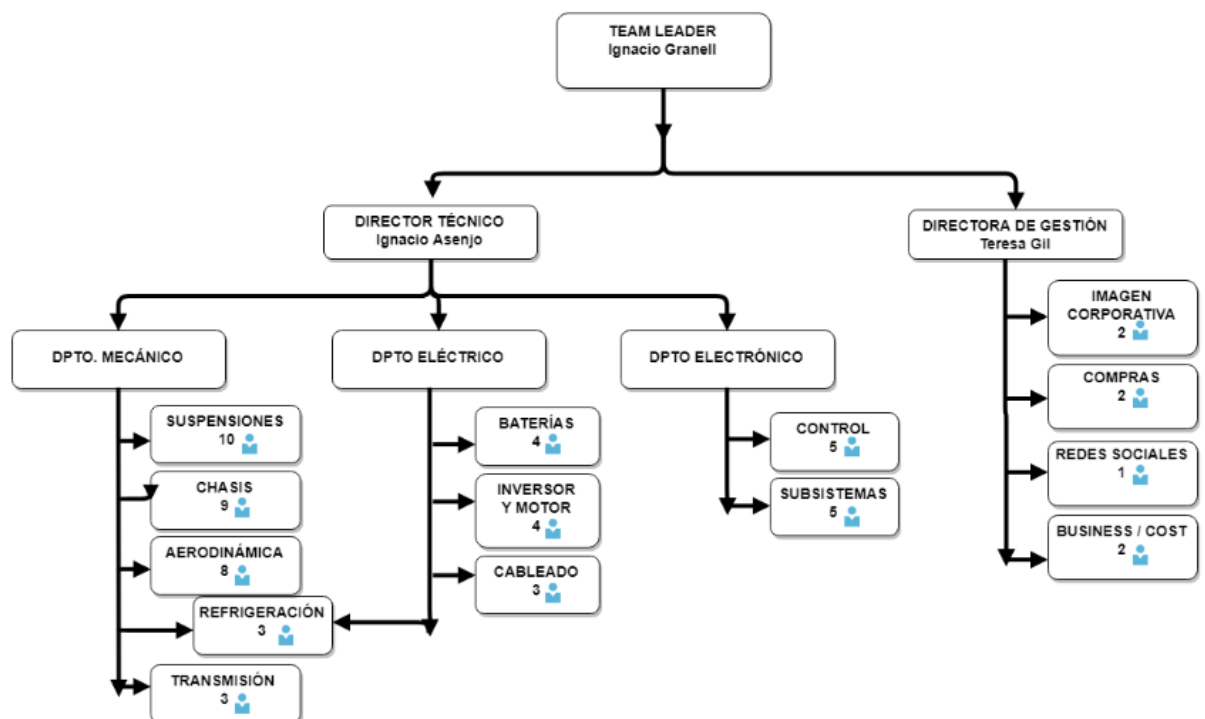


Diagrama 1: Estructura del equipo ISC Formula Student Eléctrico

Transmisión

- Marcos Fleire Quintas (Director)
- Javier Alonso Carrasco
- Ignacio Victoria

Diagrama 2: Miembros del departamento de la transmisión

Actualmente el equipo está formado por 71 estudiantes de ICAI, tanto de la carrera de Ingeniería Industrial como de Máster, trabajando de manera conjunta y organizada para llevar a cabo las tareas propuestas en los plazos establecidos. Cada integrante del grupo tiene una función asignada según su conocimiento.

2.4 MÉTODO DE TRABAJO

El método de trabajo del equipo ISC Formula Student, se basa en planificaciones estrictas y supervisadas de manera directa por el Team Leader y los responsables de área

El trabajo se divide en cinco grandes fases:



La primera fase se realiza tras la competición, con la ayuda del feedback de los jueces y los consejos de otros equipos.

La segunda fase termina en Diciembre, tras esta todos los esfuerzos puestos en el diseño de todos los sistemas pasan a centrarse en fabricar esos sistemas. De este modo no se diseña nada en paralelo con la fabricación, con la única excepción de la aerodinámica, que cuenta con una planificación especial al necesitar de todos los demás sistemas terminados para hacer su diseño. Tras esto se procede al ensamblaje completo del monoplaza para posteriormente realizar las inspecciones técnicas como preparación para la competición de Formula Student Spain 2019.

Esta planificación se ha implantado para evitar que posibles retrasos en la fabricación impidan poder testear el monoplaza, por lo que no se puede asegurar que nada falla antes de la competición.

3. VEHÍCULO IFS-02

3.1 Características generales del ifs-02

Tras analizar el coche de la temporada pasada (IFS-01), ayudándonos del feedback de los jueces y consejos de otros equipos durante la competición de Montmeló, se han decidido unas características técnicas para el nuevo monoplaza:

- Motor: EMRAX 228 MV
- Inversor: BAMOCAR D3-400
- Chasis: tubo en acero
- Diferencial: diferencial de deslizamiento limitado Drexler

3.2 PROCESO

Para poder empezar a trabajar con la transmisión hay que tener muy en cuenta el motor, ya que el trabajo de la transmisión es llevar la potencia desde el motor hasta las ruedas, por lo que están directamente conectados. En este proyecto se ha optado por un motor EMRAX 228 MV controlado por un inversor BAMOCAR D3-400. Esta configuración se ha elegido teniendo en cuenta la simplicidad de esta.

El motor EMRAX, se ha seleccionado porque tiene una densidad de potencia muy alta, lo que reduce el peso del motor dándole la misma potencia de salida, esta elección está relacionada con la nueva filosofía que sigue este proyecto de buscar un coche pequeño, ligero y compacto. El motor se ha seleccionado para media tensión (470 Vcc), que es el rango de tensión que mejor se adapta a la tensión del acumulador.

El inversor, de Unitek, ha sido seleccionado por su gran compatibilidad con el fabricante del motor. De hecho, EMRAX recomienda utilizar este tipo de soluciones de inversor para controlar este motor. Además, la compañía Unitek ha brindado mucha ayuda para comprender la programación del controlador.

La conexión entre el motor y el controlador se realiza a través de la comunicación del protocolo CAN.

El motor incluye un conjunto de sensores que miden el ángulo del rotor y la temperatura de este. Esta información se envía al inversor para cerrar el circuito de retroalimentación que controla el motor.

La transmisión se encarga de maximizar la potencia accesible en las ruedas por medio de una optimización de la relación de reducción.

Más adelante, vamos a ir detallando principalmente el diseño y fabricación de los componentes de la transmisión, al ser ésta la parte donde ha recaído casi todo el trabajo.

3.3 CONDICIONES

Antes de comenzar a diseñar la transmisión, se deben establecer una serie de especificaciones que deberán cumplirse para responder a las necesidades del proyecto. El sistema de transmisión está situado entre la caja de cambios y las ruedas. Su función primaria es la de transmitir la potencia disponible en el motor hasta las ruedas motrices del vehículo para hacerlo avanzar. Normalmente, este sistema se encarga de repartir la potencia entre las ruedas motrices izquierda y derecha de manera independiente, dado que no siempre tienen que girar en las mismas condiciones.

Las especificaciones que debemos cumplir son:

- Transmitir el movimiento a las ruedas.
- Respetar el reglamento.
- Ajustarnos al presupuesto.
- Ajustarnos a los objetivos de compacto y ligero.
- Integrarse dentro del prototipo.
- Que obtenga un rendimiento satisfactorio en Formula Student.

En cuanto a transmitir el movimiento a las ruedas, el mecanismo debe transmitir la potencia disponible a la salida del motor hasta las ruedas, limitando al mínimo posible las pérdidas a lo largo de sus etapas, para conseguir de esta manera un rendimiento elevado en el conjunto de la transmisión, regulando en todo momento el par transmitido por el motor dentro del rango de par transmisible.

En cuanto a respetar el reglamento, la transmisión debe respetar el reglamento al pie de la letra sin posibilidad de excepciones, debe ser absolutamente seguro para el piloto o los técnicos del equipo, limitando las dimensiones de orificios que conectan con piezas en movimiento y debe respetar el medio ambiente ya que en nuestro equipo tenemos buena concienciación con este tema, por lo que los ruidos deberán permanecer dentro de un rango aceptable y las pérdidas de aceite limitadas.

En cuanto a ajustarnos al presupuesto, es una especificación muy importante ya que se dispone de un presupuesto limitado que no se puede sobrepasar, puesto que significaría la imposibilidad de llevar el proyecto a cabo.

Por su parte, la especificación de ajustarnos a los objetivos de compacto y ligero es muy importante también para mejorar el rendimiento de nuestro

monoplaza en la competición, pero no es tan restrictiva como la del presupuesto, por lo que permite un pequeño juego, pero tampoco total libertad.

La especificación de integrarse dentro del prototipo se refiere al montarse, no tenga problemas con el resto de las piezas del prototipo. Que el diferencial no tenga colisiones con el chasis, que se adapte a la salida del motor y al eje de las ruedas correctamente, así como que se adapte también a la morfología del chasis.

En cuanto a que obtenga un rendimiento satisfactorio en Formula Student, la transmisión debe permitir realizar una salida rápida, minimizando el deslizamiento de los neumáticos, debe reducir las revoluciones de manera que el motor se acople a los ejes sin problemas y debe optimizar el rendimiento del sistema.

4. ELECCION DE CONCEPTOS

La transmisión se divide en una serie de etapas, y dentro de cada etapa tenemos varias opciones entre las que elegir, por lo que debemos comparar las ventajas y desventajas que tiene cada una de las opciones para elegir la que mejor se adapte a nuestro monoplaza según lo que queramos obtener.

En la transmisión podemos diferenciar tres etapas más o menos independientes. Estas partes son:

1. Transmisión de la salida del motor hasta el diferencial.
2. El diferencial y su soporte.
3. La transmisión del diferencial hasta el buje.

4.1 Transmisión entre la salida del motor y el diferencial

Como se menciona anteriormente, hay distintas opciones para transmitir la potencia de la salida del motor al diferencial. El eje que se encuentra a la salida del motor es paralelo al eje del diferencial, por lo que un sistema de ejes de transmisión no es viable, debido al poco espacio que hay entre el motor y el diferencial. Este espacio ha sido reducido al máximo debido a la filosofía de diseño de conseguir un monoplaza compacto, además de reducir la distancia entre ejes mejorando el comportamiento del coche en curva.

Esto nos deja dos posibles opciones entre las que elegir:

- **Correas:**

Las correas son elementos de transmisión de potencia, de constitución flexible, que se acoplan sobre poleas que son solidarias a ejes con el objetivo de transmitir pares de giro. Su naturaleza flexible va a permitir

que su fabricación se realice con una cierta incertidumbre mecánica que puede ser asumida, posteriormente, en su montaje.

La correa de transmisión trabaja por rozamiento con la polea sobre la que va montada. Este hecho, junto a su naturaleza flexible, confiere a las correas una función de "fusibles" dentro de las transmisiones, dado que se comportan como amortiguador, reduciendo el efecto de las vibraciones que puedan transmitirse entre los ejes de la transmisión. En general el empleo de las correas en las transmisiones resulta una opción más barata, aunque como desventaja, este tipo de elementos no pueden garantizar una relación de transmisión siempre constante ya que puede dar lugar a deslizamientos de la correa sobre la polea. Estos deslizamientos se pueden deber a que el tensado inicial no se haya realizado correctamente o al desgaste producido por las horas de funcionamiento.

Las correas se clasifican dentro de tres grupos:

1. Correas planas
2. Correas trapezoidales
3. Correas dentadas o síncronas.

Las correas planas están prácticamente en desuso en la actualidad ya que se han ido sustituyendo gradualmente por las trapezoidales, se usaban en gran parte en las transmisiones donde no se requerían grandes prestaciones, lo que significa que no se transmiten grandes pares ni la velocidad lineal que alcanza la correa es elevada. Lo cual hace que este tipo de transmisión sea descartada para el proyecto que tenemos entre manos, el cual al ser un monoplaza para pruebas de velocidad y aceleración requiere poder transmitir gran par.

Las correas trapezoidales o de sección en V permiten transmitir pares de fuerza más elevados, y una velocidad lineal de la correa más alta, que puede alcanzar sin problema los 30 metros por segundo.

Las correas dentadas o síncronas se aplican sobre todo en aquellas transmisiones compactas que se requieren transmitir alta potencia. En este caso se deben emplear poleas de pequeño diámetro, y las correas dentadas ofrecen mayor flexibilidad y mejor adaptabilidad al dentado de la polea. También permiten ofrecer una relación de transmisión constante entre los ejes que se acoplan al disminuir el riesgo de deslizamiento sobre la polea. Estas características la convierten sin duda en la mejor opción de las posibles dentro de la transmisión de correas para ser utilizada en el proyecto, aunque habrá que compararlo con la transmisión de cadena.



Figura 10: Transmisión de correa dentada

- **Cadenas:**

Las cadenas de transmisión son la mejor opción para aplicaciones donde se quiera transmitir grandes pares de fuerza y donde los ejes de transmisión se muevan en un rango de velocidades de giro entre medias y bajas.

Las transmisiones por cadenas son transmisiones robustas, que permiten trabajar en condiciones ambientales adversas y con temperaturas elevadas, aunque requieren de lubricación. Además, proporcionan una relación de transmisión fija entre las velocidades y ángulo de giro de los ejes de entrada y salida, lo que permite su aplicación en automoción y maquinaria en general que lo requiera.

Existen distintos tipos de cadenas de transmisión:

1. Cadenas de transmisión de potencia
2. Cadenas de manutención
3. Cadenas de carga

La aplicación de las cadenas de transmisión de potencia es transmitir la potencia entre ejes que giran a unas determinadas velocidades.

Las cadenas de manutención, también llamadas cadenas transportadoras, son un tipo de cadenas que gracias a una geometría específica de sus eslabones o enlaces le permiten desempeñar una función de transporte o arrastre de material.

Las cadenas de carga, también llamadas de bancos de fuerza, son cadenas que permiten transmitir grandes cargas, y son usadas, por ejemplo, para elevar grandes pesos y accionar bancos de fuerza entre otras cosas.

De estas cadenas de transmisión, las que nos interesa para nuestro proyecto son las cadenas de transmisión de potencia, ya que buscamos transmitir la potencia del motor a las ruedas del vehículo.

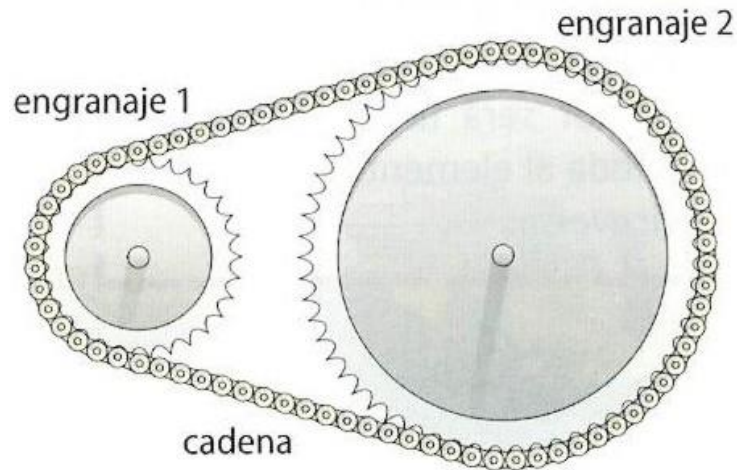


Figura 11: Transmisión de cadena

Conociendo todas las opciones posibles, las dos que más se amoldan al tipo de transmisión que estamos buscando para nuestro proyecto son la transmisión de correas dentadas y las cadenas de transmisión de potencia, puesto que las dos ofrecen una alta transmisión de potencia y nos permiten transmitir grandes pares de fuerza. Lo cual son características idóneas para un monoplaza tipo Formula.

Usamos la tabla 5 para analizar las ventajas y desventajas que tendría cada una de ellas.

	Ventajas	Desventajas
Correa dentada	- Alta transmisión de potencia. - Muy silenciosa. - No necesita lubricación.	- Se deteriora periódicamente. - Mayor peso del conjunto con el piñón y la corona. - Fragilidad en terrenos sucios.
Cadena de potencia	- Alta transmisión de potencia. - Gran durabilidad - Fácil sustitución - Mayor adaptabilidad	- Ruidosa - Ha de estar lubricada.

Tabla 5: transmisión de correa dentada frente a transmisión de cadena de potencia

Finalmente, el equipo se ha decantado por las cadenas de transmisión de potencia ya que, pese a sus inconvenientes, nos proporciona un mayor juego a la hora de regular la longitud, ya que si se eligiese la transmisión de correas dentadas habría que encargarse de que nos la

hiciesen a medida, lo cual incrementa su precio. Además, la transmisión de cadena ofrece una sencilla sustitución de engranajes, piñón y corona, para realizar un completo cambio en el comportamiento de la moto.

Una vez elegida la transmisión de cadena, se debe estudiar la que va a ir en el prototipo, analizando velocidades y esfuerzos sobre las piezas para poder diseñarlas después.

En toda cadena de transmisión, cada vez que se produce el engrane de un eslabón con la rueda dentada, se produce una variación tanto en la trayectoria como la velocidad del eslabón. Es lo que se conoce como efecto poligonal.

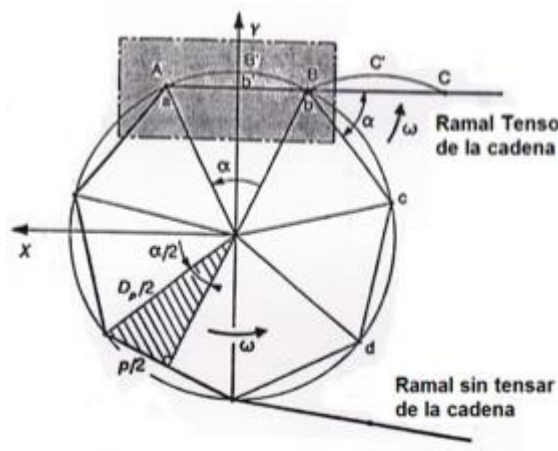


Figura 12: Movimiento de la cadena sobre la rueda dentada

En la figura 6, los puntos b y B representan puntos pertenecientes a la rueda y a la cadena respectivamente.

La velocidad lineal de la rueda (V_b) se calcula en función de su velocidad angular de giro (w) y su diámetro primitivo (D_p).

$$V_b = \frac{D_p \cdot w}{2}$$

Por otro lado, la proyección horizontal de la velocidad del punto B de la cadena, varía a lo largo del arco de engrane. Esta variación se hace menor según aumenta el número de dientes de la rueda. Aunque no se puede aumentar en exceso el número de dientes, ya que esto supone que la altura de los dientes sea más pequeña, lo que favorece que la cadena se salga de la rueda dentada.

Los números de dientes más usados en la práctica son los que aparecen en la tabla 6.

	Número de dientes, z
Piñón	17-19-21-23-25
Rueda	38-57-76-95-114

Tabla 6: Número de dientes más empleados

Potencia transmitida

Siendo F_u el esfuerzo útil y V la velocidad lineal promedio, la potencia transmitida será:

$$P = F_u \cdot V$$

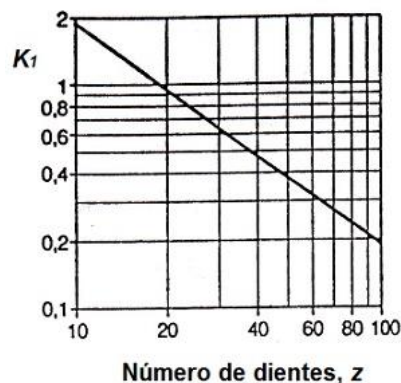
La potencia corregida (P_c) será la potencia transmitida multiplicada por una serie de coeficientes según sus diversos aspectos de montaje.

$$P_c = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot P$$

Siendo K_1 el coeficiente que tiene en cuenta que el número del piñón sea distinto de 19, y será:

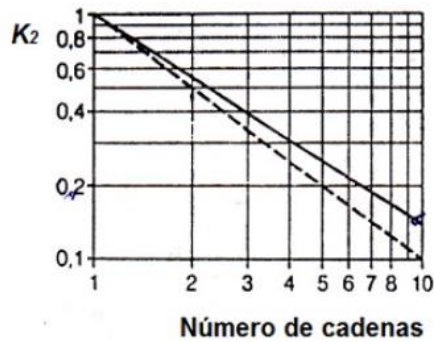
$$K_1 = \frac{19}{z}$$

También se puede calcular con el gráfico 1:



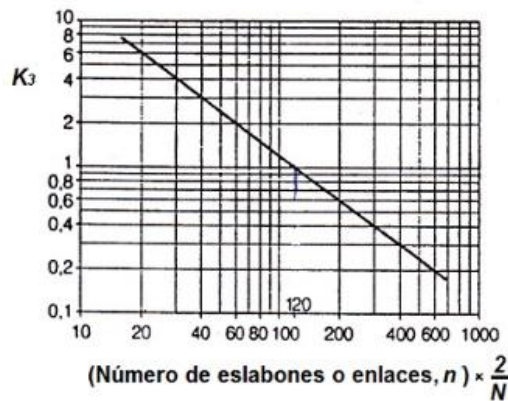
Gráfica 1: Cálculo de K_1

K_2 tiene en cuenta el número de cadenas empleadas y se calcula con el gráfico 2:



Gráfica 2: Cálculo de K2

K3 tiene en cuenta el número de eslabones que forman la cadena y se calcula según el gráfico 3:



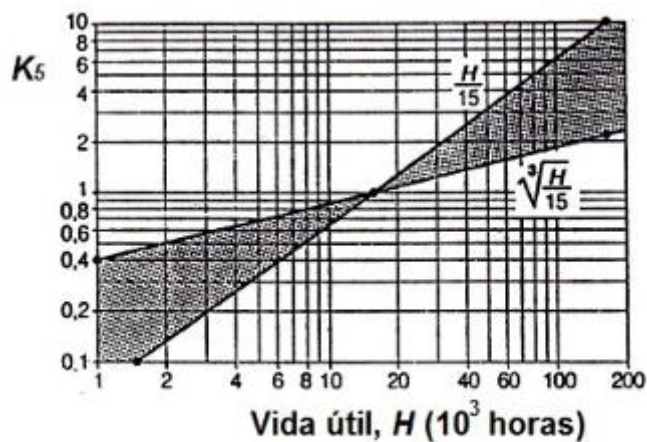
Gráfica 3: Cálculo de K3

K4 es el factor de servicio y tiene en cuenta las condiciones en las que trabaja la transmisión, se calcula según la tabla 7:

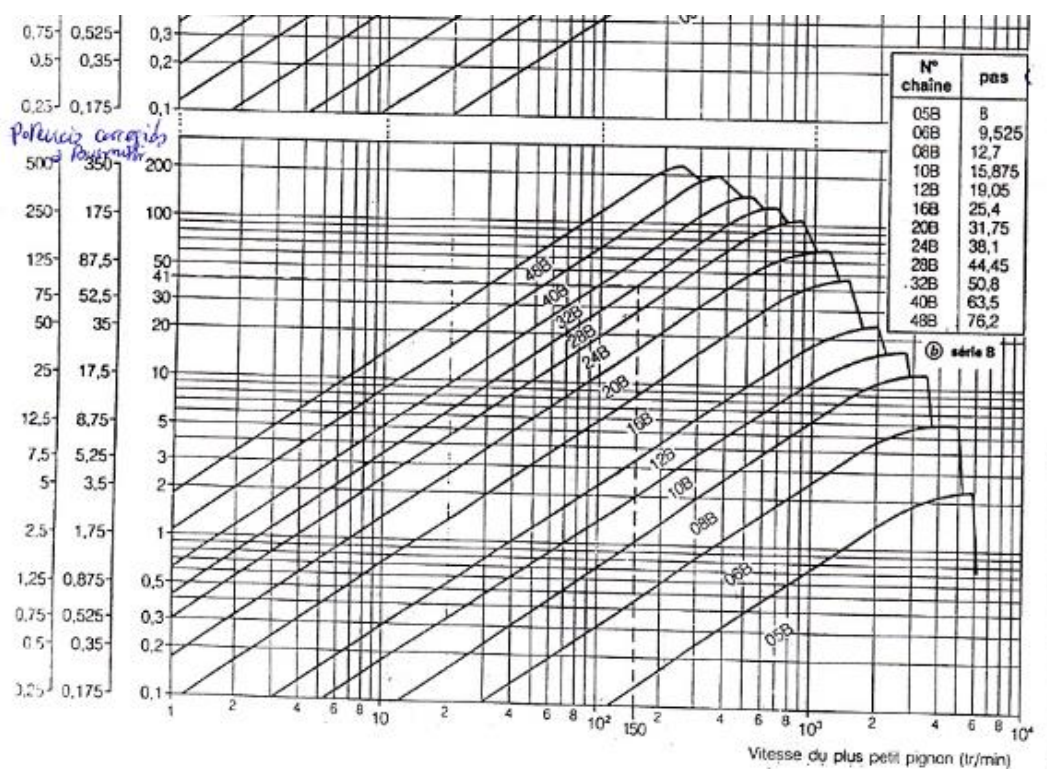
Tipo de carga	Ejemplo de máquinas	Motor eléctrico o turbina	Acionamiento	
			Motor de combustión interna Trans. hidráulica	Trans. mecánica
Regular	Agitadores de líquidos. Bombas centrífugas y de engranajes. Compresores centrífugos. Elevadores y transportadores con carga regular. Generadores y alternadores. Hiladoras. Maquinaria de imprenta. Maquinaria para la fabricación de papel. Montacargas y ascensores. Teleféricos. Maquinas herramientas (toros, taladradoras, fresadoras, rectificadoras). Ventiladores y máquinas soplantes.	1	1	1,2
Irregular	Agitadores de sustancias poco fluidas. Bombas de émbolo de más de 2 cilindros. Compresores alternativos de más de 2 cilindros. Hélices (aplicaciones marinas). Elevadores y transportadores con carga irregular. Laminadoras. Mezcladores. Maquinaria para carpintería. Maquinaria para formar tubos. Trefiladoras. Molinos para materias homogéneas y blandas. Telares.	1,3	1,2	1,4
A golpes	Aparejos de elevación. Bombas de 1 y 2 cilindros. Dragas. Excavadoras. Elevadores y transportadores con carga muy irregular y pesada. Guías. Maquinaria para perforación. Maquinaria para fabricar ladrillos. Maquinas herramientas (prensas, cizallas, limadoras, cepilladoras). Molinos para materias duras e irregulares. Rotocultivadores. Trituradoras.	1,5	1,4	1,7

Tabla 7: Cálculo de K4

K5 es el coeficiente de duración en función de la vida útil prevista para la cadena, y se calcula según el gráfico 4:



Gráfica 4: Cálculo K5



Gráfica 5: Gráfica de selección de cadena de transmisión de potencia serie europea

Tenemos del año pasado una cadena reforzada DID 520 que se compró, pero nunca se llegó a usar, por lo que nos interesa comprobar si esa cadena se podría utilizar con los parámetros del coche de esta temporada.

La información que debemos saber para realizar este cálculo es:

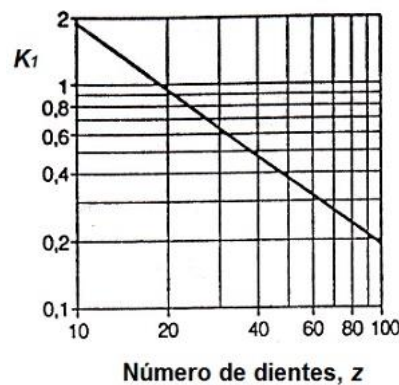
- Potencia del motor eléctrico: 80 KW
- Piñón: 11 dientes y un radio exterior de 33,3 mm
- Rueda: 38 dientes, radio exterior de 111,3 mm
- Distancia mínima entre piñón y rueda de 221,51 mm

Para calcular la potencia real que sufre la cadena, necesitamos saber los 5 factores mencionados anteriormente, es decir, K1, K2, K3, K4 y K5.

- K1 se obtenía de la ecuación:

$$K1 = \frac{19}{z}$$

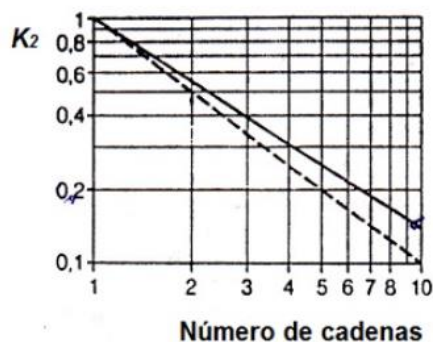
En este caso, los dientes del piñón son 11, por lo que K1 será, sacándolo de la gráfica 1:



Gráfica 1: Cálculo de K1

Se obtiene que K1 es aproximadamente igual a 2.

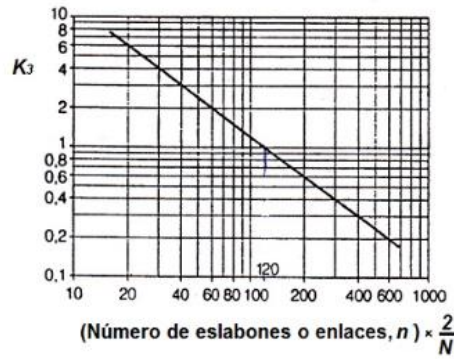
- K2 se obtenía a través del gráfica 2:



Gráfica 2: Cálculo de K2

Al ser una sola cadena la que vamos a usar, el coeficiente K2 según la gráfica es 1.

- K3 se obtiene por medio de la gráfica 3:



Gráfica 3: Cálculo de K3

Pero para usar la gráfica, necesitamos conocer el número de eslabones, y, para calcular eso, se debe utilizar las siguientes ecuaciones:

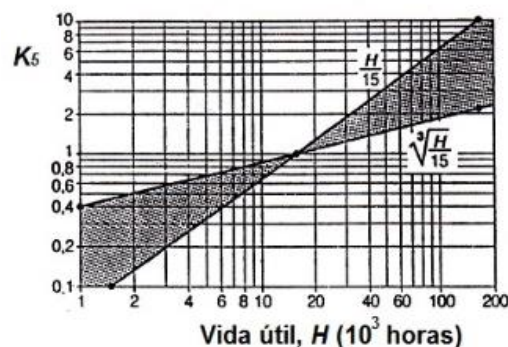
$$\frac{L}{p} = \frac{Z_1 + Z_2}{2} + (Z_2 - Z_1) \frac{\beta}{\pi} + O_1 O_2 \cos \beta \frac{2}{p}$$

$$\beta = \text{Sen}^{-1} \left(\frac{R_2 - R_1}{O_1 O_2} \right)$$

Resolviendo estas ecuaciones, se llega a que β vale 20, 617° y finalmente, a que la longitud es de 54 eslabones.

Con estos valores, ya podemos utilizar la gráfica y obtenemos que K3 vale aproximadamente 2,5.

- K4 se obtiene de la tabla 7 de manera sencilla, al ser un motor eléctrico y de carga regular, sacamos que K4 vale 1.
- K5 se obtiene de la gráfica 4:



Gráfica 4: Cálculo de K5

Para usar esta gráfica, tenemos que decir que vida útil esperamos de nuestra pieza. Al esperar que tenga una vida útil de 1000 horas, se obtiene un valor de K5 igual a 0,2.

Con todos estos factores ya calculados, se procede al cálculo de la potencia corregida, la cual se halla mediante la ecuación:

$$P_c = K1.K2.K3.K4.K5.P$$

Si se multiplican todos los coeficientes, se obtiene el valor de 1, por lo que la potencia corregida, será igual a la potencia del motor, es decir, 80KW.

También necesitamos calcular los esfuerzos en la cadena, y para eso necesitamos conocer la velocidad de la cadena, la cual se obtiene de la ecuación:

$$V = \frac{P.z_i.N_i}{60}$$

Se resuelve la ecuación y se obtiene una velocidad de 11,06 m/s.

El esfuerzo útil asociado al par transmitido (F_u), se calcula mediante la ecuación:

$$F_u = \frac{P}{V}$$

Obteniendo un resultado de $F_u=7233,27$ N

El esfuerzo asociado a la fuerza centrífuga de la cadena (F_c), se calcula mediante la ecuación:

$$F_c = M.V^2$$

Resultando un valor de $F_c=113,2$ N

Por lo que el esfuerzo total que soporta la cadena (F_o) es igual a la suma de F_u y F_c , resultando un valor de $F_o=7349,47$ N.

Si se divide la resistencia de la cadena entre la F_o , se obtiene el coeficiente de seguridad, el cual da un valor de 5, por lo que podemos asegurar que la cadena del año pasado se puede usar en nuestro monoplaza sin ningún problema.

4.2 El diferencial y su soporte

4.2.1Diferencial

El diferencial es un componente de la transmisión cuyo objetivo es el de transmitir la potencia a las ruedas, y además debe permitir una diferencia de velocidades entre las ruedas motrices a las que transmite.

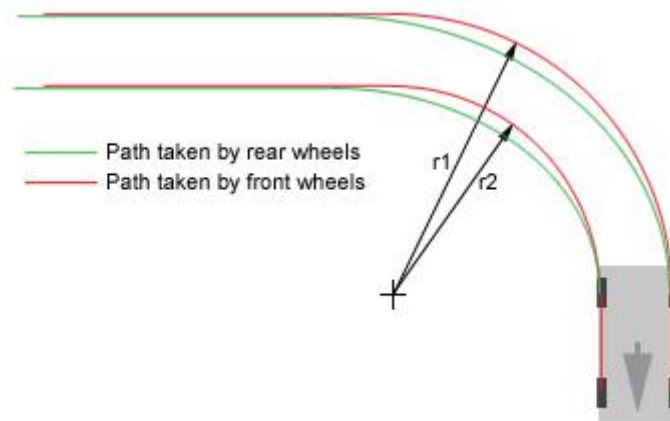


Figura 13: coche tomando una curva

Al circular en línea recta, es decir, cuando ambas ruedas motrices recorren la misma distancia, el diferencial las mantiene a igual velocidad, pero al tomar una curva, como podemos ver en la figura 7, la anchura del vehículo separa las dos ruedas del centro de giro, lo que hace que una esté más alejada de la otra, y, por lo tanto, que la rueda exterior deba recorrer una distancia más amplia que la interior, y, por ende, que la rueda exterior gire más rápido que la interior. Si las dos ruedas estuviesen conectadas mediante un eje, esto haría que la rueda exterior deslizase, y esto es exactamente lo que evita el diferencial al permitir que las dos ruedas motrices tengan la posibilidad de girar a distintas velocidades. Gracias al diferencial, se consigue un menor radio de giro del vehículo para un determinado ángulo de giro de las ruedas delanteras, y permite realizar giros a baja velocidad con mayor precisión.

En el mercado se pueden encontrar los siguientes tipos de diferenciales:

- Spool: este tipo de diferencial realizan un bloqueo mecánico del diferencial del 100%, sin posibilidad de desbloquearse, lo que hará que las ruedas motrices deban girar a la misma velocidad en todo momento. Esto hace que se genere un subviraje, lo que provoca que el vehículo gire menos de lo que se pretende. Este comportamiento se podría paliar aumentando la rigidez de la suspensión y añadiendo una barra estabilizadora.

Este tipo de diferencial es de muy bajo coste de adquisición y montaje, pero somete a la transmisión a unos esfuerzos muy significativos y puede acarrear daños serios, además de que la dirección será más dura y el deslizamiento de los neumáticos será muy sonoro.

Se recomienda su uso en competición siendo muy efectivo sobre roca, pero dificulta mucho las maniobras en paredes laterales deslizantes.

Como podemos ver en la figura 8, no hay ninguna diferencia de velocidades entre la rueda interna y externa, y el par aplicable es igual a la suma de los pares de cada rueda. Esta solución podría ser muy interesante en situaciones de muy baja adherencia, ya que la fuerza tractora aplicable al suelo será la suma de las adherencias de cada rueda.

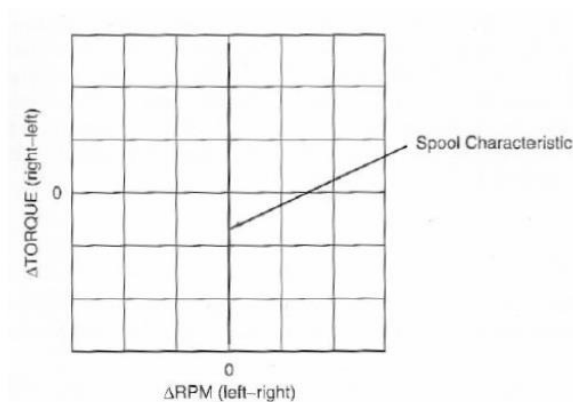


Figura 14: Curva de par en función de la diferencia de velocidad en un diferencial Spool

Descartamos esta opción para el caso que nos atañe ya que sería muy perjudicial en las pruebas de Formula Student al ser circuitos pequeños con curvas constantes.

- Diferencial libre: es el más corriente en vehículos no deportivos, su funcionamiento consiste en que, al llegar a una curva, la rueda exterior apenas reciba fuerza del motor ya que al volcarse sobre ésta el peso del coche mientras se realiza el giro, la rueda exterior oponga más resistencia y esto hace que el diferencial envíe la mayor parte de la fuerza del motor a la rueda interior, puesto que es más fácil.

En condiciones normales no tiene ningún problema, el problema aparece cuando se conduce a gran velocidad, dado que, en este caso, si no se contase con un control de tracción y estabilidad, la rueda interior podría acabar girando de manera descontrolada, lo que provocaría un deslizamiento o pérdida de agarre, con las consecuencias que esto conlleva.

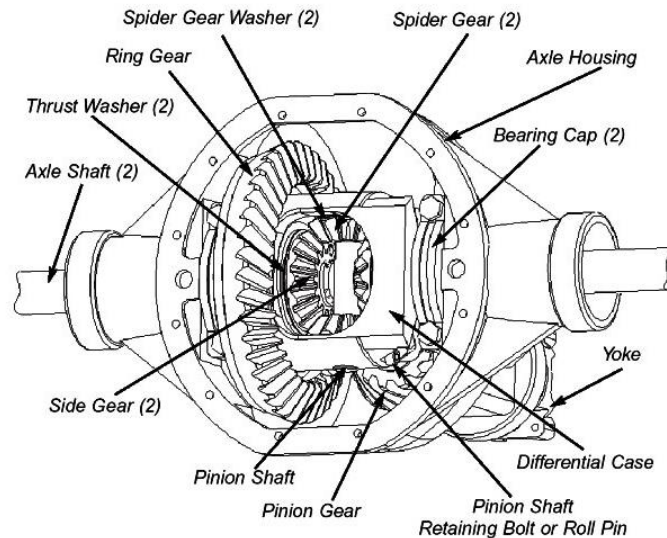


Figura 15: Esquema de un diferencial libre

- Diferencial de deslizamiento limitado o autoblocantes. Este tipo de diferenciales, aparecen para resolver los problemas que se tenían en los diferenciales abiertos. Su funcionamiento, al igual que el resto de los diferenciales, consiste en repartir la fuerza del motor entre las ruedas motrices para que el vehículo pueda coger bien las curvas. Al llegar a una de éstas, cuando el peso empieza a cargarse sobre la rueda exterior, y la fuerza empieza a desviarse hacia la rueda interior en demasía, el diferencial autoblocante se bloquea y manda fuerza a la rueda exterior, lo que mejora la tracción e impide que la rueda interior se des controle. Este tipo de diferenciales se usa comúnmente en los vehículos deportivos. Entre los diferenciales autoblocantes y abiertos, se encuentran una variedad de opciones que se agrupan en diferenciales de deslizamiento limitado:

- Torsen: estos diferenciales reciben su nombre de un acrónimo de Torque Sensitive (sensible al par), no son diferenciales exactamente autoblocantes ya que no tienen la capacidad de bloquearse por completo, sino que envía el par a la rueda que mejor pueda traspasarla al suelo. Funcionan enviando a las ruedas únicamente el par que éstas puedan traspasar al suelo en función de la resistencia que opongan las ruedas al giro, el resto es enviado a la otra rueda, evitando así el deslizamiento.

Este tipo de diferenciales se emplea en vehículos de tracción total y motor longitudinal como diferencial central y también puede ser usado en el eje delantero. En competición no es demasiado habitual ya que el

TBR solo puede ser modificado por el fabricante y su peso es muy superior al de un diferencial de discos o de rampas.

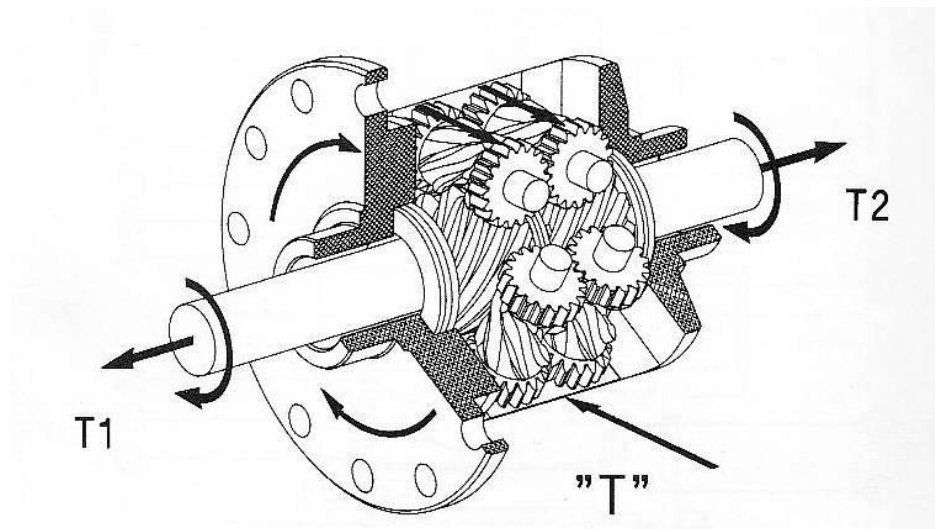


Figura 16: Esquema del diferencial tipo Torsen

- Deslizamiento limitado de discos: este tipo de diferenciales se componen por un conjunto de discos de acero endurecido que funcionan con lubricantes especiales y bloquean los dos semiejes o palieres de forma solidaria bajo unas condiciones de funcionamiento determinadas. La carga que se aplica sobre los discos se consigue mediante dos métodos. El primero es precargando los juegos de discos mediante un muelle helicoidal o una arandela Belleville escogidos para proporcionar un par mínimo que consiga romper la barrera estática que mantiene los ejes solidarios. La segunda, se consigue mediante un tallado de dientes de los satélites especial, diseñado cuidadosamente para cargar los juegos de discos a medida que el par aumenta.

Los cambios en la precarga del diferencial se consiguen cambiando la arandela Belleville o el muelle helicoidal. Los cambios en la parte sensible al par aplicado son en función de los ángulos de presión de los engranajes, y, por tanto, solo pueden ser modificados por el fabricante.

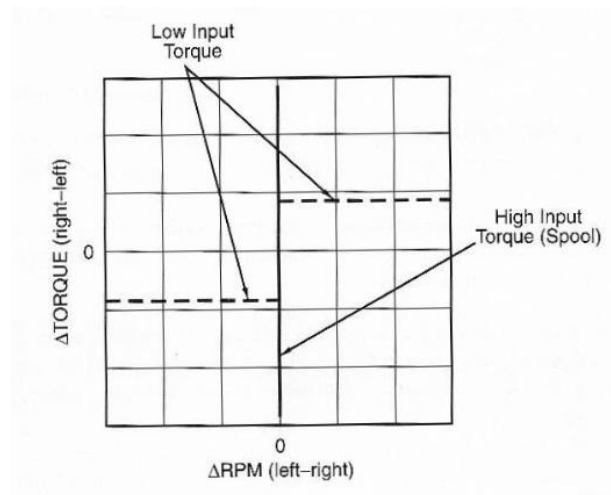


Figura 17: Curva de par en función de la diferencia de velocidad en un diferencial de discos

En un diferencial de discos, una diferencia de velocidades entre ejes supone un bloque del diferencial, mandando par a la rueda que gira más despacio.

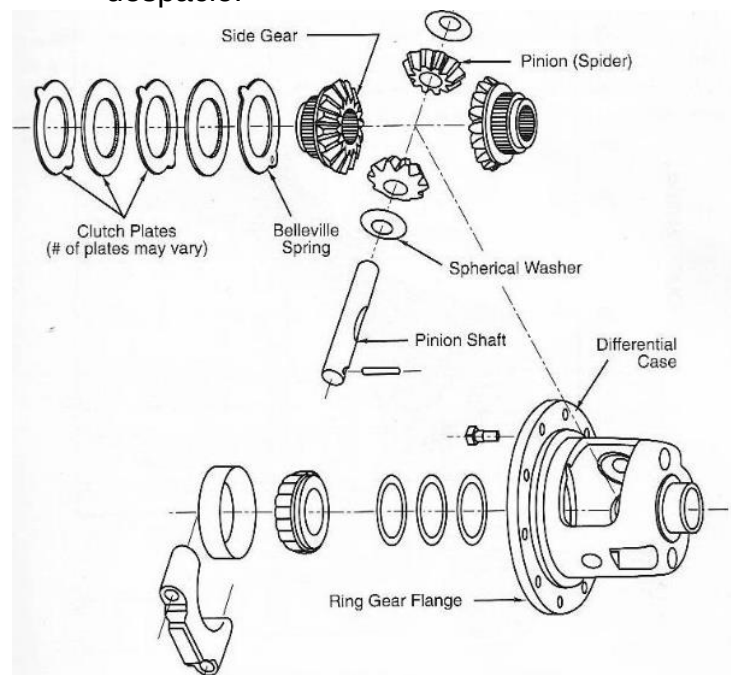


Figura 18: Esquema expandido de un diferencial de deslizamiento limitado de discos

- Salisbury: Este diferencial, más conocido como diferencial de rampas, emplea también un juego de discos para bloquear de manera progresiva los dos ejes de salida del diferencial juntos. En esta variante del diferencial de discos, el eje de los satélites reposa sobre unas rampas que son empujadas por este eje en función del par de entrada. Mediante este sistema, se puede variar el reparto de par en función de si estamos en fase de aceleración o de frenado.

Existen muchas configuraciones de precarga, juegos de discos o inclinación de rampas que nos facilitan la modificación de las características de comportamiento.

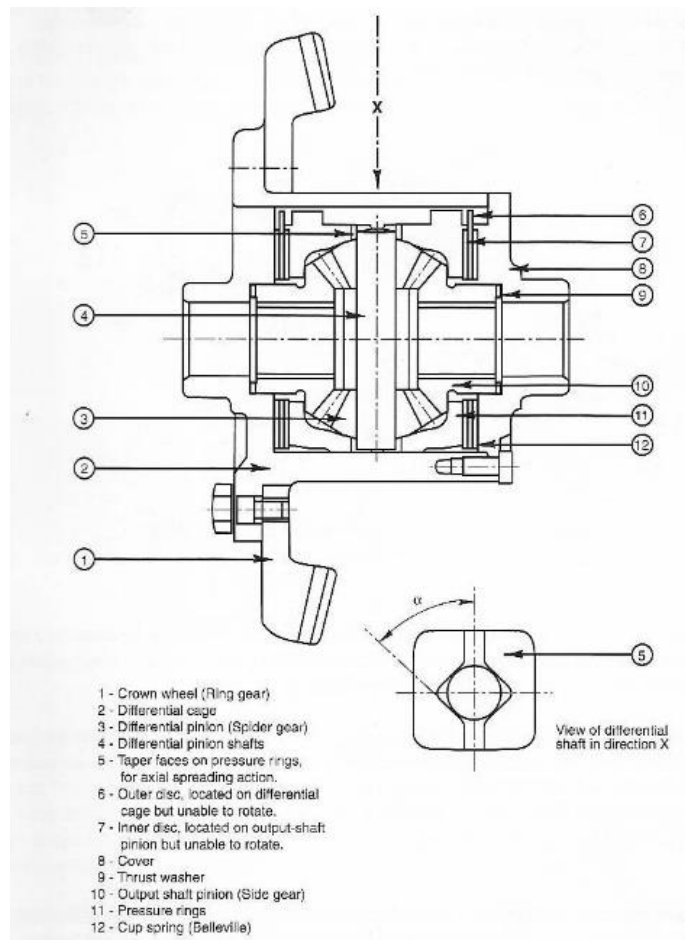


Figura 19: Esquema de un diferencial Salisbury

- **Diferencial viscoso:** el funcionamiento del diferencial viscoso se basa en la utilización de un fluido de alta viscosidad y características especiales. Los dos semiejes o palieres están conectados entre sí mediante un diferencial libre al que se le añaden unos juegos de discos que, si bien se encuentran muy cerca unos de otros, no existe contacto entre ellos. El par transmitido es función de la diferencia de velocidades entre los semiejes y como en todos los diferenciales de deslizamiento limitado, el par se manda a la rueda que gira más lenta.
 El fluido utilizado en el diferencial es un fluido especial que aumenta su viscosidad según aumenta la temperatura. De este modo, los discos, mediante el movimiento relativo entre ellos, calientan el fluido y los dos semiejes se van haciendo solidarios

progresivamente, esto sucede una vez que el fluido sobrepasa ligeramente los 50° C. Las pequeñas diferencias de velocidad producidas al coger una curva no son suficientes para bloquear el diferencial, de modo que trabaja casi como un diferencial libre. Únicamente el deslizamiento de un neumático genera el calor suficiente como para bloquear el diferencial. Aunque el aumento de temperatura y por tanto el bloqueo tardan cierto tiempo en ocurrir, y es por eso que existe cierto retraso de respuesta ante el deslizamiento de un neumático.

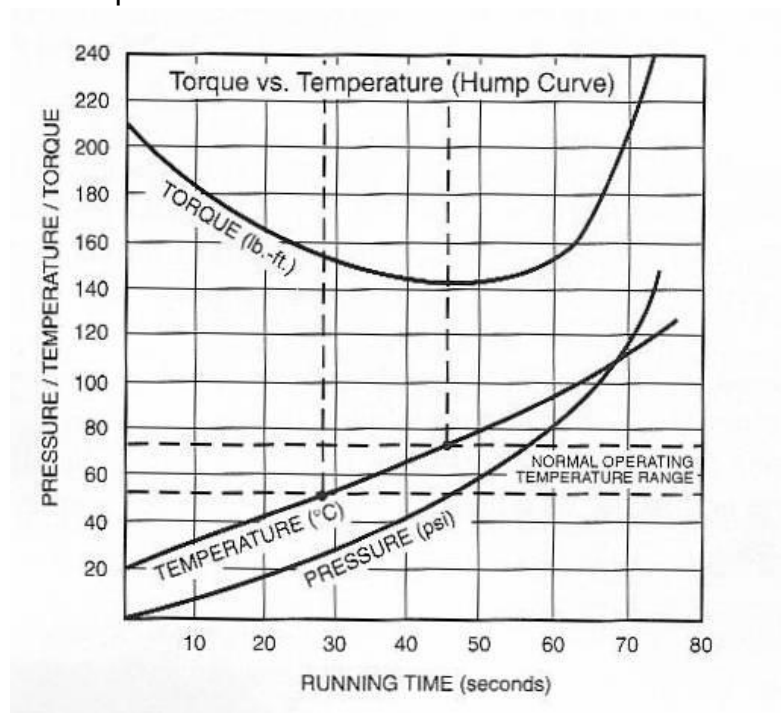


Figura 20: Gráfica de transmisión de par en función de la temperatura

Este tipo de diferenciales se usan como diferencial central en vehículos todo terreno.

- LSD Drexler: este diferencial es una adaptación específicamente diseñada para FSAE, es una versión ligera, sencilla y compacta, que se puede comportar como un diferencial bloqueado, de deslizamiento limitado o libre según las necesidades que se encuentren durante la conducción.



Figura 21: despiece de diferencial Drexler

En la parte superior izquierda de la figura 15, encontramos la corona mediante la cual se transmite el par desde la transmisión del monoplaza al diferencial, esta va unida a la carcasa mediante una serie de tornillos, cuya misión es la de proveer un carácter desmontable al diferencial.

En la parte de abajo a la izquierda, encontramos elementos correspondientes al engranaje planetario y los discos de fricción característicos de este tipo de diferencial limitado.

En la parte central, encontramos el conjunto de rampas y elementos de unión y transmisión de par como los elementos hembra mediante los cuales se transmite el par mediante los ejes estriados de los palieres.

Este tipo de diferencial se adapta a las condiciones de funcionamiento gracias a las distintas configuraciones posibles de sus rampas de aceleración y de frenada. Los discos de fricción tienen la misión de acoplar o desacoplar los diferentes elementos del diferencial de modo que pueda funcionar como diferencial bloqueado, libre o de deslizamiento limitado.

Por ser un diferencial diseñado específicamente para usarse en Formula Student, por ser compacto y ligero, por su capacidad total de adaptación a las condiciones de funcionamiento, este diferencial será el elegido para formar parte de la transmisión del IFS-02.

4.2.2 Soporte del diferencial

El soporte del diferencial tiene dos objetivos: uno es mantener al diferencial en la misma posición durante todas las pruebas, siendo capaz de soportar todos los esfuerzos a los que le somete la cadena. Y el otro es que el diferencial tenga la capacidad de moverse para realizar los reglajes necesarios como tensar o destensar la cadena, lo cual es necesario ya que hay que tener en cuenta que se va a tener que tensar para compensar lo que la cadena se ha dado de sí por desgaste. Si la cadena estuviese demasiado suelta, tendríamos ruidos porque irá dando bandazos y además los elementos de la transmisión se desgastarán inapropiadamente y de forma acelerada, incluso se podría llegar a salir, si, por el contrario, la cadena estuviese demasiado tensa, se estaría haciendo que los componentes soportasen fuerzas mayores, por lo que se gastaran antes e incluso corremos el riesgo de que se parta. Por lo que un buen tensado es esencial para el buen funcionamiento de la transmisión.

Para realizar la operación de tensado existen dos posibilidades:

- Argollas: Este sistema es fácil de concebir y de reglar, pero también es un sistema frágil dado que sus uniones al chasis son difíciles.
- Excentricidades: Este sistema es el utilizado por la mayoría de los equipos que participan en Formula Student. Se basa en una pieza circular, cuyo agujero interior, donde se colocará el diferencial, no es coaxial con el soporte de la excentricidad, por lo que, al girar esta pieza, conseguiremos acercar o alejar el diferencial al piñón.

Además, este sistema permite usar solo la materia necesaria para transmitir los esfuerzos, por lo que se puede aligerar para que no sea más pesado que el sistema de argollas y seguir siendo robusto. Este será el sistema elegido para nuestra transmisión, así que será la que debemos diseñar.

El sistema de tensado de cadena mediante excéntrica debe permitir un tensado equivalente a la longitud de un eslabón de la cadena, ya que en el caso de necesitar un tensado mayor, se procedería a la eliminación de un eslabón de la cadena.

La distancia del eje del diferencial al eje de las ruedas traseras debe tener la menor distancia posible para conseguir así un mejor rendimiento.

El diseño de las excéntricas quedaría de la siguiente manera:

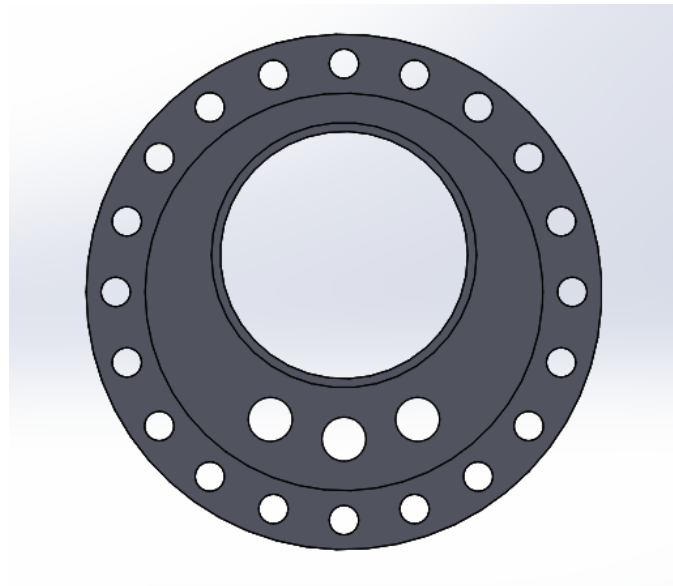


Figura 22: CAD excéntricas

Al no soportar mucha carga estas piezas, no hay problema en hacerle unos vaciados que permitan hacer la pieza más ligera, estos vaciados nos los limitará el presupuesto por lo que se debe usar figuras sencillas para los vaciados.

4.3 La transmisión del diferencial hasta el buje

En esta etapa de la transmisión, utilizaremos unos ejes que sean capaces de adaptarse por un lado al diferencial, y por otro lado al buje para transmitir así la potencia desde el primero hasta el segundo.

Este sistema debe permitir también el movimiento de la suspensión en todo su recorrido, asegurando la correcta transmisión del movimiento a las ruedas.

5. DISEÑO DE PIEZAS

5.1 Porta coronas (Responsable: Javier Alonso)

Para el coche de este año, debíamos mejorar una serie de cosas que había descubierto el equipo en la competición del curso anterior. Entre estas cosas a mejorar estaba:

- El porta coronas del año pasado era muy pesado, por lo que en el diseño de este año se debía hacer un porta coronas lo más ligero y compacto posible.
- El porta coronas debía ser más ancho, dado que debe abarcar desde la muesca del Drexler hasta el propio diferencial.
- Finalmente, debemos dejar un espacio de 15 mm entre el Drexler y el porta coronas para que se pueda montar bien la corona con los tornillos.

Como nuestra filosofía de diseño era tener un coche compacto, ligero y pequeño, todos los diseños de las piezas irán guiados a cumplir con estos objetivos, intentando siempre mantenerse en unos límites de precio que respeten el presupuesto del que se dispone.

De esta manera, buscamos hacerle todos los vaciados que podamos a la pieza mientras esta siga siendo funcional, y para ello, usamos figuras de vaciado fáciles de mecanizar, para que su posterior fase de fabricación no resulte demasiado cara.

Para respetar el presupuesto, diseñaremos varias versiones en las cuales se irá haciendo la pieza cada vez más ligera mientras siga soportando los esfuerzos y cuando llegue el momento de fabricar se elegirá la más ligera dentro del presupuesto que se tiene, ya que las piezas más ligeras tienen los mecanizados más caros.

- 5.1.1 Primera versión

Empezamos con un diseño sencillo como el de la figura 17.

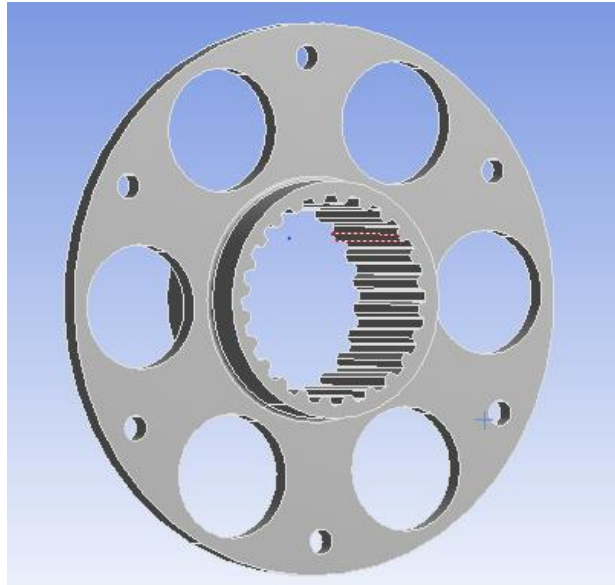


Figura 23: Primera versión del porta coronas

Cada vez que se hace un diseño, se debe comprobar que dicho diseño de la pieza sea capaz de soportar los esfuerzos a los que estará sometida en su momento más crítico. En este caso debemos analizar la pieza en el caso de que esté transmitiendo a las ruedas un par de 800 Nm, ya que las ruedas de un Formula Student con el peso que suelen tener empiezan a derrapar con un par del estilo de 700/800 Nm.

Este par aplicado en el centro de los agujeros de los tornillos, que es por donde se transmitirán los esfuerzos en esta pieza, nos produce una fuerza igual a el par dividido entre la distancia desde el centro del agujero del tornillo al centro de la pieza:

$$F = \frac{M}{d}$$

Al estar los tornillos en el diseño en cuestión a 57,89 mm del centro de la pieza, la fuerza a soportar por la pieza será:

$$F = \frac{M}{d} = \frac{800}{0,05789} = 13819,31N$$

Sabiendo la fuerza que va a soportar y donde se va a aplicar, usamos un software tipo CAE, en este caso el programa ANSYS para analizar cómo se comportaría la pieza.

Lo primero es realizar un buen mallado de la pieza para que nos de unos resultados que podamos considerar como cercanos al comportamiento real.

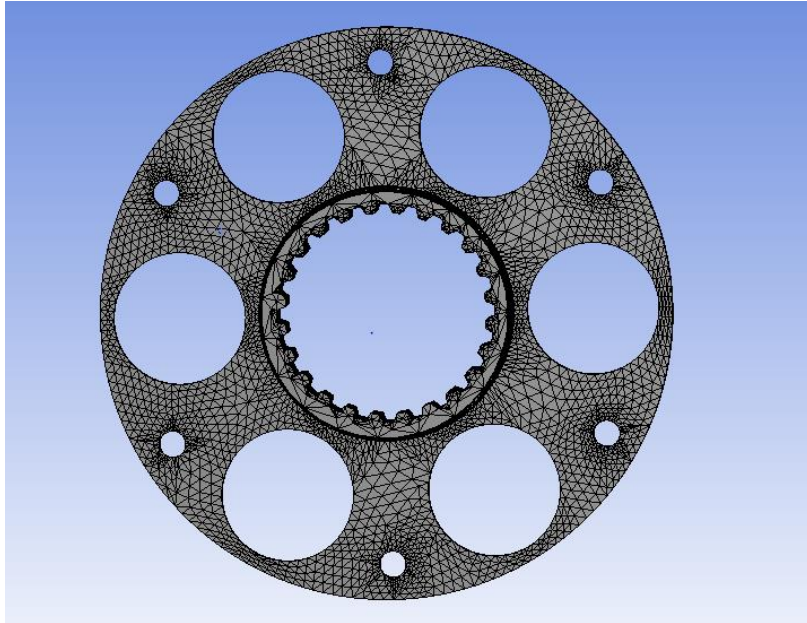


Figura 24: Mallado de la primera versión del porta coronas

Aplicando la fuerza calculada en el centro de los tornillos como una fuerza radial y como soportes fijos las caras externas de la pieza, ya que al seleccionar el interior de los dientes nos daban puntos críticos en estos, que nos disparaban el esfuerzo máximo soportado por la pieza.

Realizamos una simulación promediada y sin promediar y comprobamos si el esfuerzo máximo podrá ser soportado por la pieza sin deformarse plásticamente.

Los resultados obtenidos son:

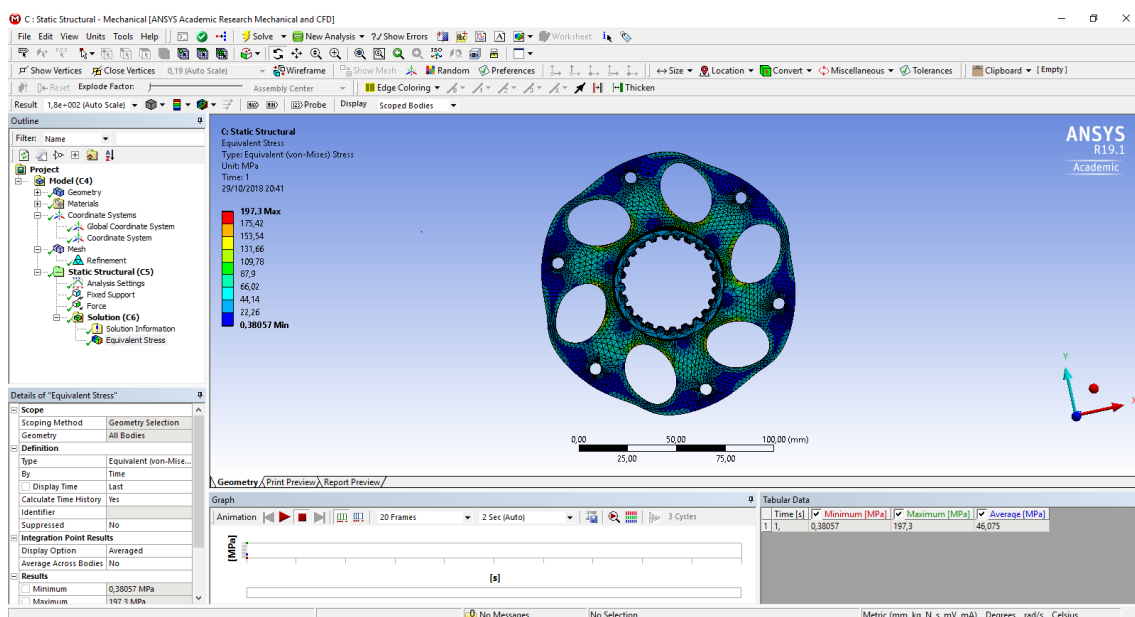


Figura 25: Simulación promediada de la primera versión del porta coronas

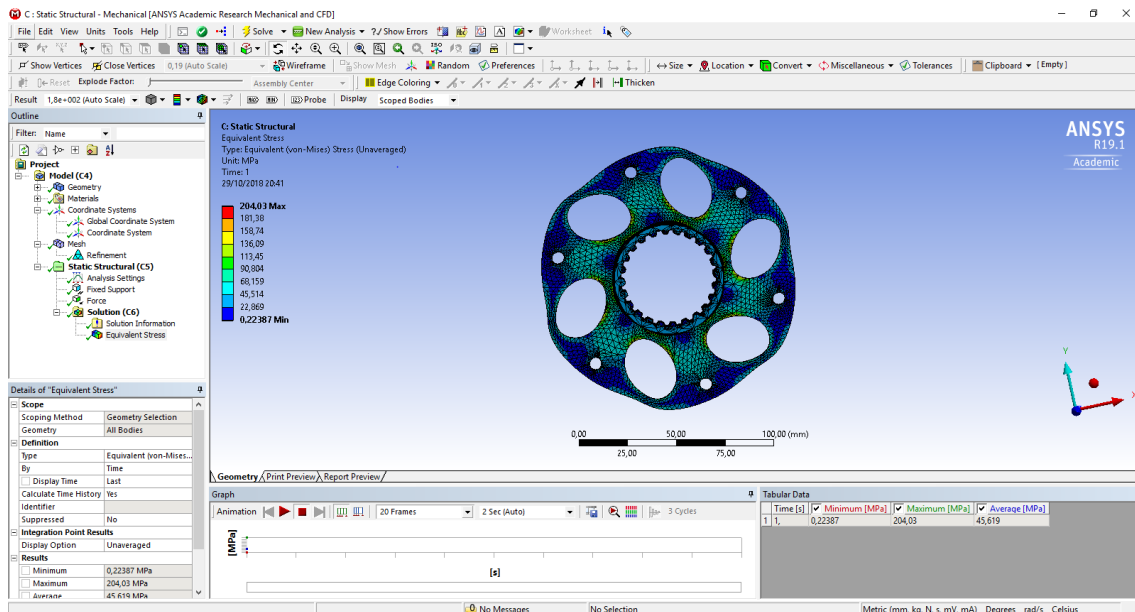


Figura 26: Simulación sin promediar de la primera versión del porta coronas

Como podemos observar, el esfuerzo máximo está entre 204,03 MPa y 197,3 MPa. Hay que tener en cuenta que la pieza no se deformará como se ve en la simulación, ya que esta es exagerada para que se pueda ver visualmente que partes de la pieza se deformarán más. Realmente no se apreciaría deformación en la pieza.

Al ser la diferencia de esfuerzo máximo soportado entre la simulación promediada y la simulación sin promediar menor del 10%, se puede asumir que el mallado que se ha realizado en la pieza es bueno y por lo tanto los resultados obtenidos de la simulación son fiables.

Para saber si la pieza será capaz de soportar este esfuerzo, se debe saber el material del que está hecha la pieza. En este caso, para aligerar la pieza, en vez de fabricarla de acero la hemos fabricado de aluminio 7075, con la siguiente hoja de características:

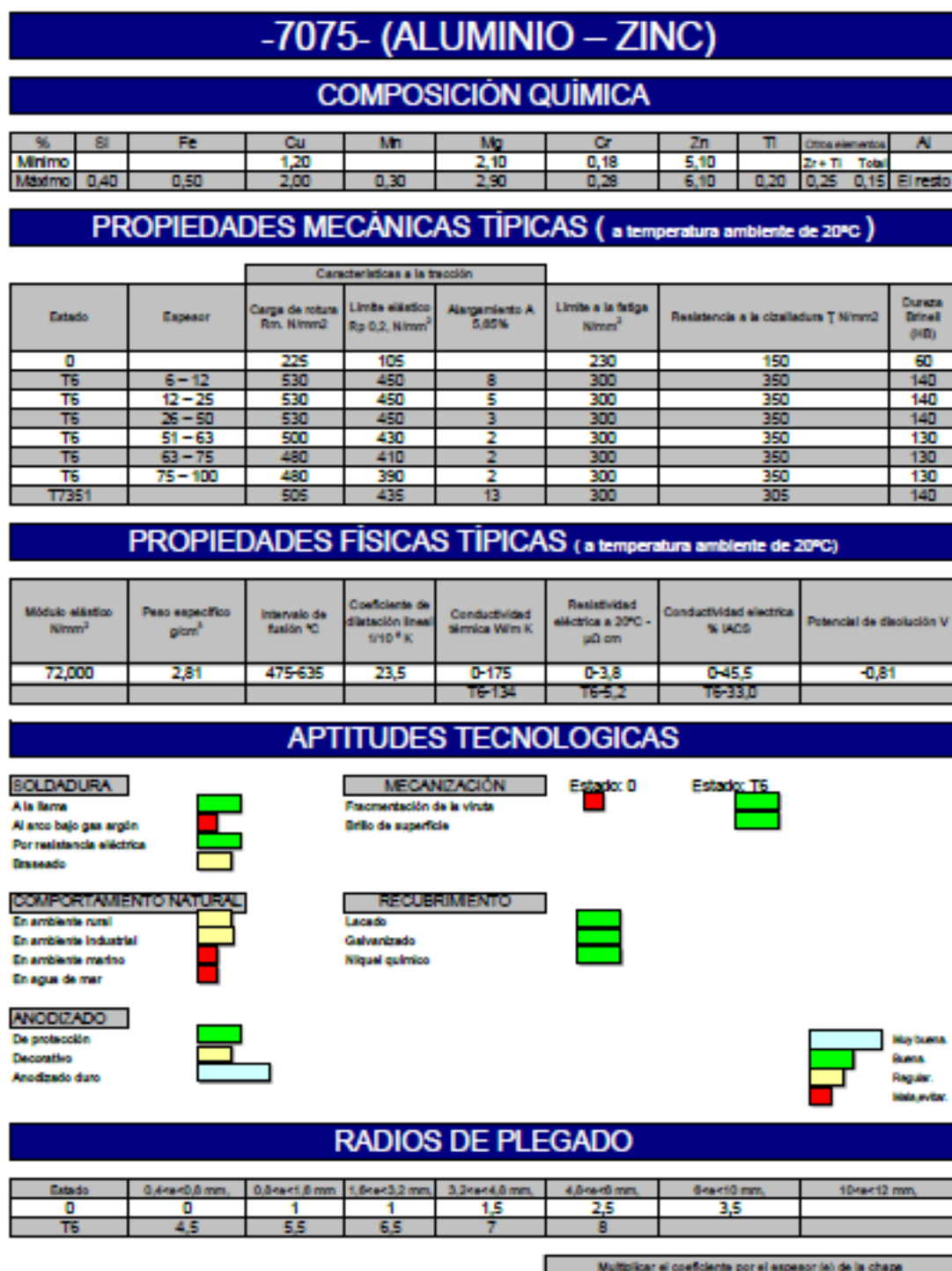


Figura 27: Hoja de características del aluminio 7075

-7075- (ALUMINIO – ZINC)

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS

Estado	-196°C			-80°C			-30°C			+25°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
T6	705	635	9	620	545	11	595	515	11	570	505	11	485	450	14
T7351	635	495	14	545	460	14	525	460	13	505	435	13	435	400	15

Estado	+150°C			+205°C			+260°C			+315°C			+370°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
T6	215	185	30	110	90	55	75	60	65	55	45	70	41	32	70
T7351	215	185	30	110	90	55	75	60	65	55	45	70	41	32	70

Rm N/mm² ; Rp N/mm² ; A 5,65 %

Según normas A.A.

TRATAMIENTOS DEL ALUMINIO

Estado	Tratamiento de puesta en solución T°C	Medio de temple	Tratamientos de maduración artificial. Mantenimiento a T° en horas
T6	485°C a 5 %	Agua a 40°C máx	12 a 16 horas a 135° a 3°C
T73			Chapas: 6 a 8 horas a 106°C seguido de 24 a 30 horas a 161°C a 3°C
T73			Chapas: 6 a 8 horas a 106°C seguido de 6 a 12 horas a 177°C a 5°C
T851	Tensión controlada de 1,5 a 3%.		

Intervalo de temperatura de forja: 350° – 450°C

Recocido total: 420°C seguido de 6 horas a 230°C si se va a almacenar durante largo tiempo

Recocido contra escoriad: 340°C

1 kg / mm² = 9,81 N/mm²; 1 N/mm² = 1MPa

APLICACIONES

Debido a su elevado límite elástico es una aleación muy adecuada para piezas sometidas a grandes fatigas, se utiliza para la construcción de troqueles, moldes de soplado, matrices, maquinaria, herramientas, armamento, blindajes, industria del automóvil, piezas estampadas, tornillería, bastones de esquí, accesorios ortopédicos, cañas de pesca, arcos y flechas, raquetas de tenis, remaches, aplicaciones navales.

OBSERVACIONES

Se ha de tener cuidado en la elección del temple (u otros tratamientos térmicos) para el equilibrio de características. Se puede plaquear con la aleación 7072 para una mejor protección contra las grietas por corrosión bajo tensión. Con herramientas apropiadas se puede mecanizar a velocidades superiores a 2000 m/min.

Figura 28: Hoja de características del aluminio 7075

Como podemos ver en la hoja de características en las figuras 21 y 22, el límite elástico de este material está en torno a los 450 MPa, por lo que establecemos un coeficiente de seguridad de 1,8 y permitimos que la pieza soporte como mucho un esfuerzo de 250 MPa, por lo que esta pieza no tendrá ningún problema en soportar los esfuerzos a los que puede estar sometida.

- 5.1.2 Segunda versión

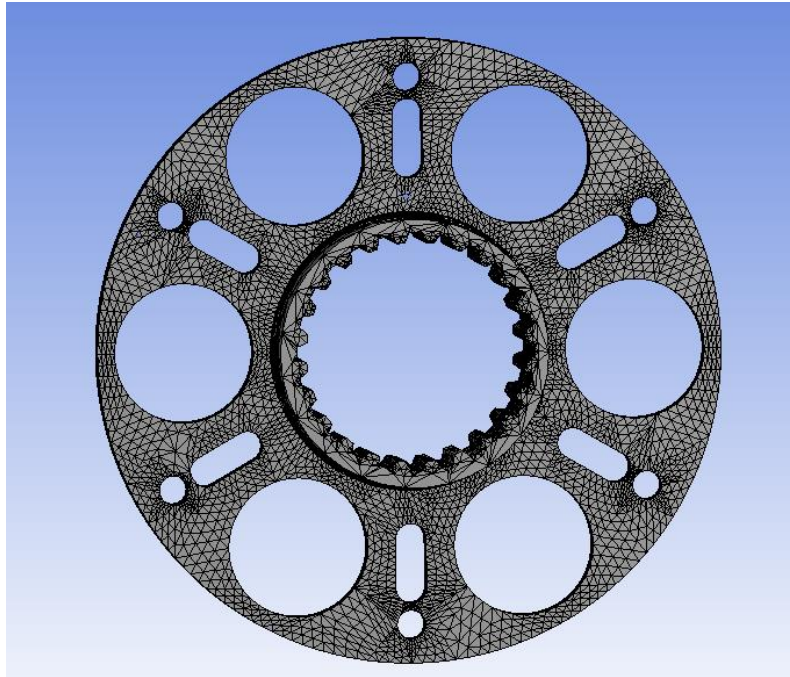


Figura 29: Segunda versión del porta coronas

Este segundo diseño será más ligero que el primero pero el hacer un mayor número de mecanizados, encarecerá su proceso de fabricación. De nuevo se deben realizar los cálculos pertinentes para asegurar que este diseño será capaz de soportar los esfuerzos a los que se le someterá.

Para ello realizamos el mismo proceso que en el diseño anterior ya que va a estar sometido a los mismos esfuerzos y simulamos su comportamiento con el programa ANSYS.

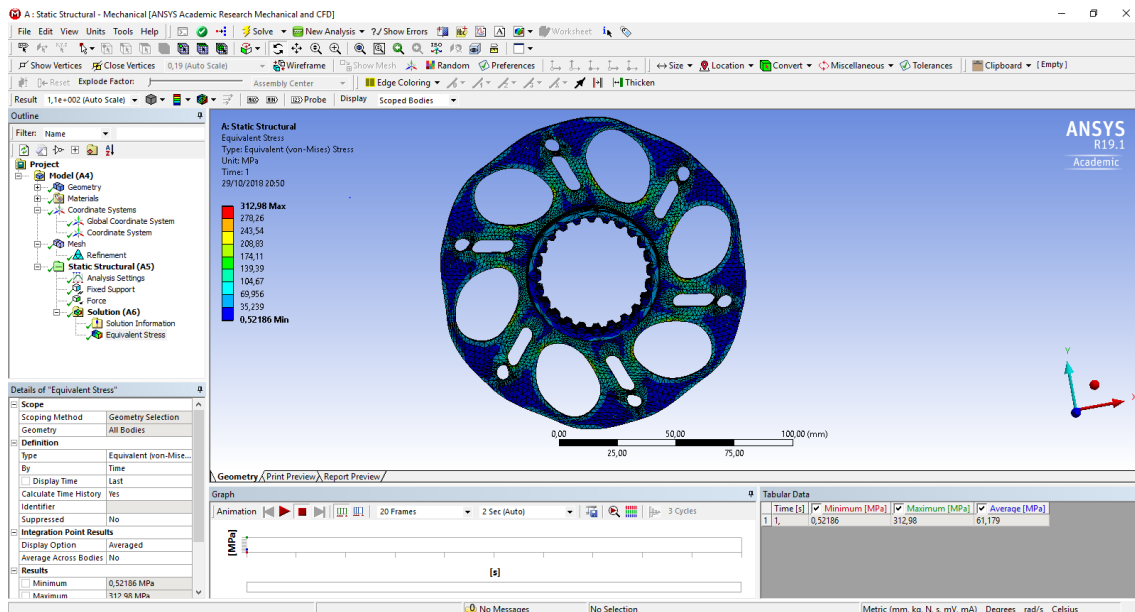


Figura 30: Simulación promediada del segundo diseño del porta coronas

En este caso, el esfuerzo máximo es de 312,98 MPa, y aunque la pieza sí que sería capaz de soportar ese esfuerzo sin deformarse plásticamente, no respeta el coeficiente de seguridad de 1,8 que se había impuesto, por lo que este diseño no será válido y debemos reducir los agujeros para que la pieza cumpla con los requisitos establecidos.

Se procede a la reducción de los agujeros y se obtiene el diseño de la figura 25.

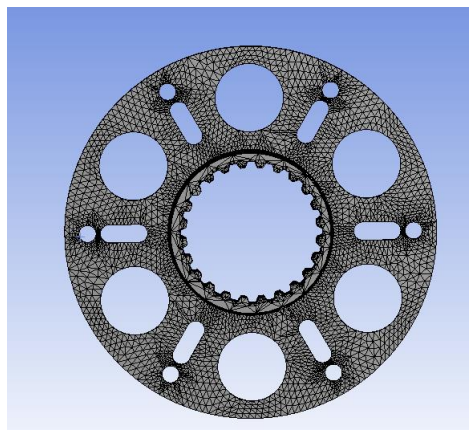


Figura 31: Segundo diseño del porta coronas ajustado

Se vuelven a realizar las simulaciones y se obtienen los datos de las figuras 26 y 27.

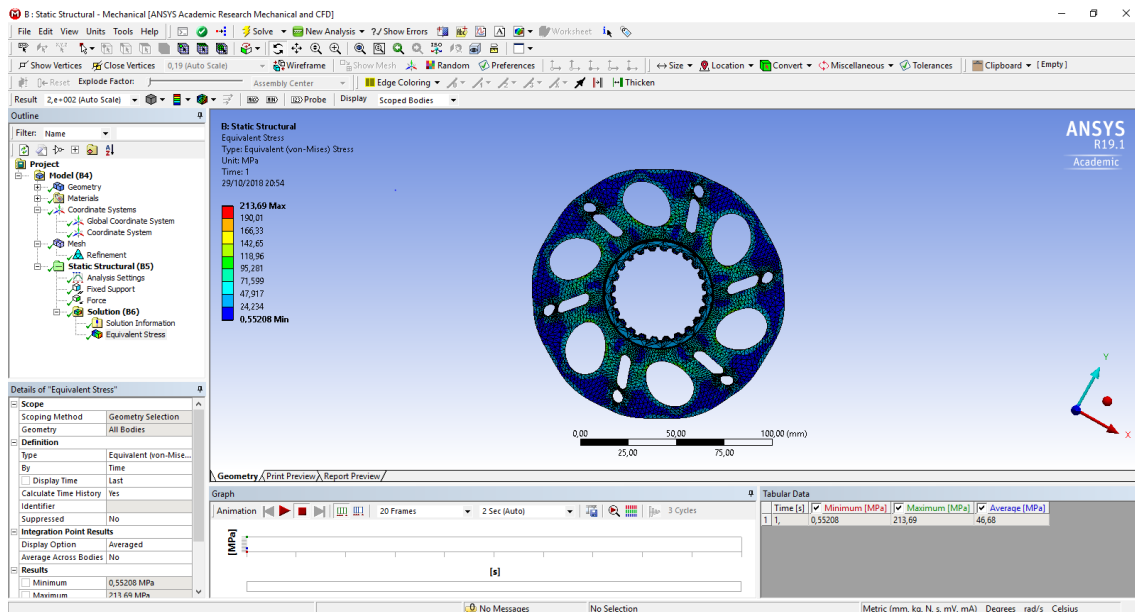


Figura 32: Simulación promediada del segundo diseño ajustado del porta coronas

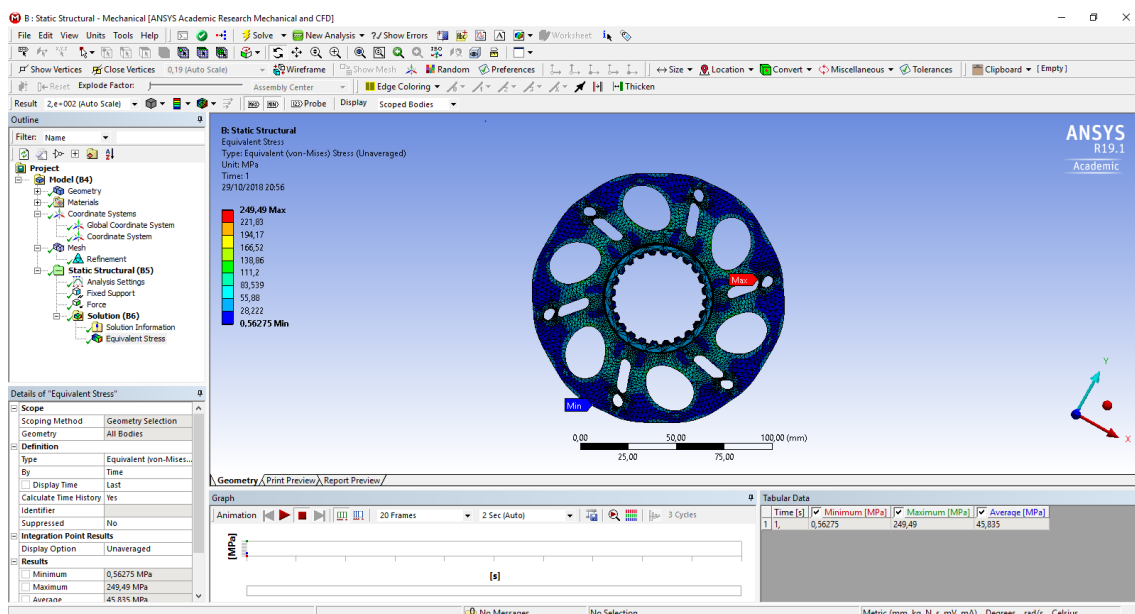


Figura 33: Simulación sin promediar del segundo diseño ajustado del porta coronas

Esta vez el esfuerzo máximo soportado está entre 249.49 y 213.69, por lo que este diseño sí que sería viable, al estar por debajo de 250 MPa.

- 5.1.3 Tercera versión

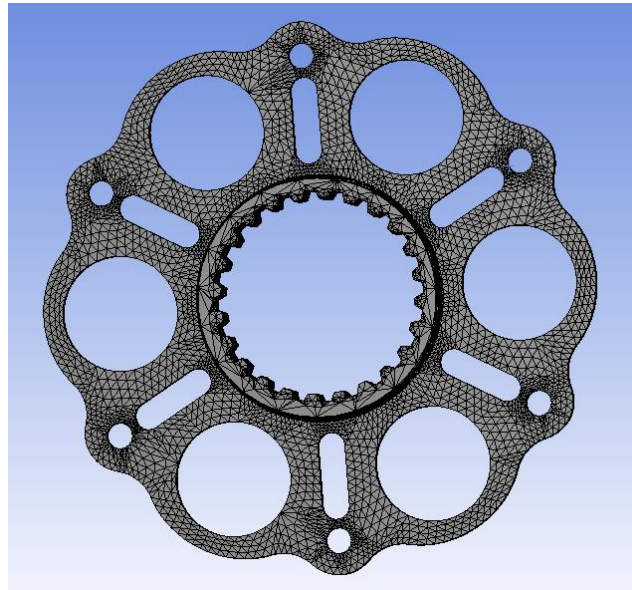


Figura 34: Tercera versión del porta coronas

Este tercer diseño será más ligero que los dos anteriores, pero el hacer un mayor número de mecanizados, encarecerá su proceso de fabricación. De nuevo se deben realizar los cálculos pertinentes para asegurar que este diseño será capaz de soportar los esfuerzos a los que se le someterá.

Para ello realizamos el mismo proceso que en el diseño anterior ya que va a estar sometido a los mismos esfuerzos y simulamos su comportamiento con el programa ANSYS.

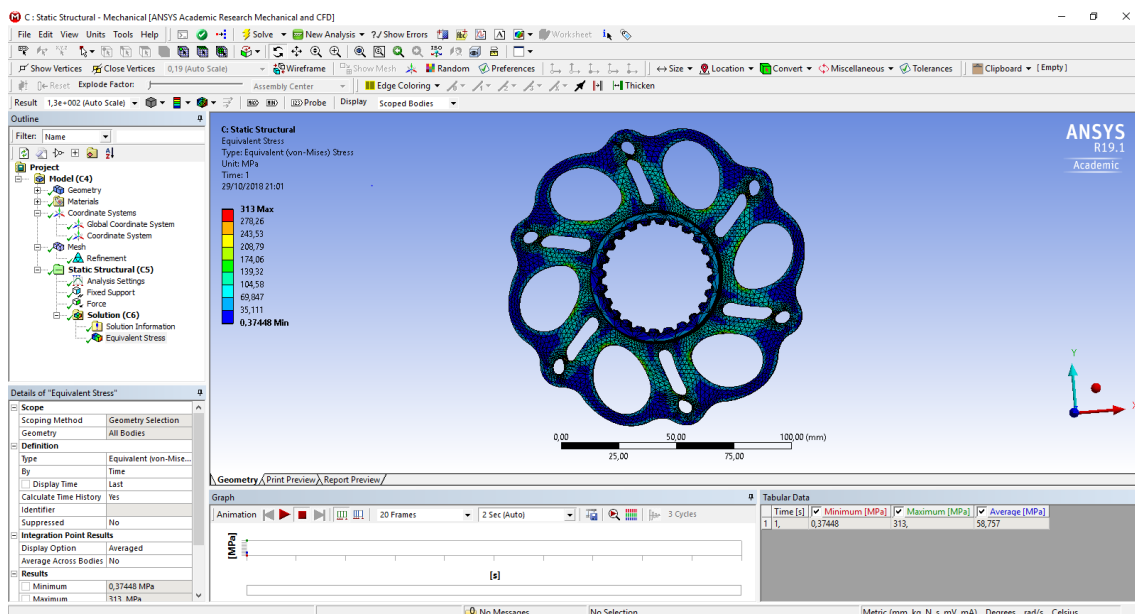


Figura 35: Simulación promediada del tercer diseño del porta coronas

Como nos pasó al hacer el segundo diseño, hemos quitado demasiado material y, aunque en teoría la pieza resistiría los esfuerzos que soporta sin deformarse plásticamente, no respeta el coeficiente de seguridad impuesto, por lo que se debe ajustar y hacer los agujeros más pequeños de nuevo.

Se procede a la reducción de los agujeros y se obtiene el diseño de la figura 30.

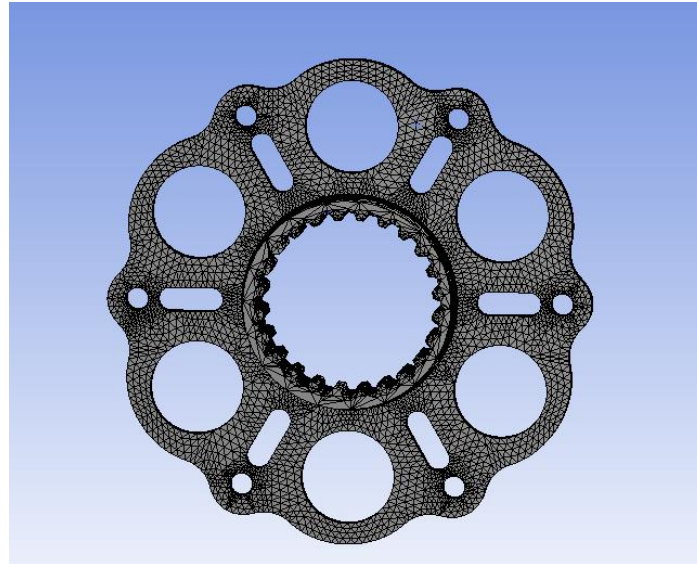


Figura 36: Tercer diseño del porta coronas ajustado

Se vuelven a realizar las simulaciones y se obtienen los datos de las figuras 31 y 32.

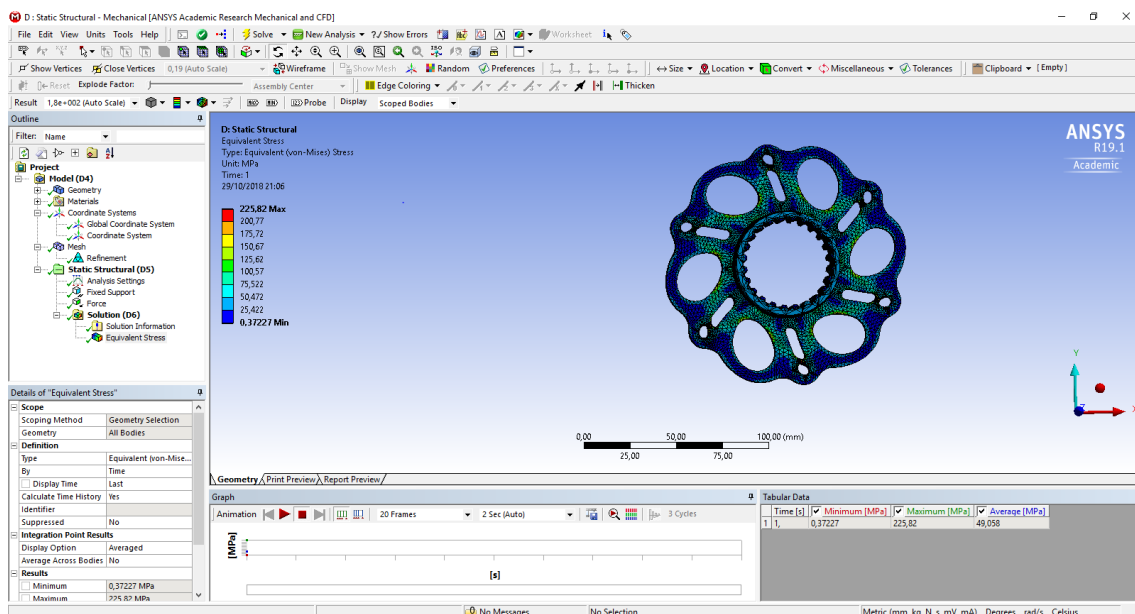


Figura 37: Simulación promediada del tercer diseño ajustado del porta coronas

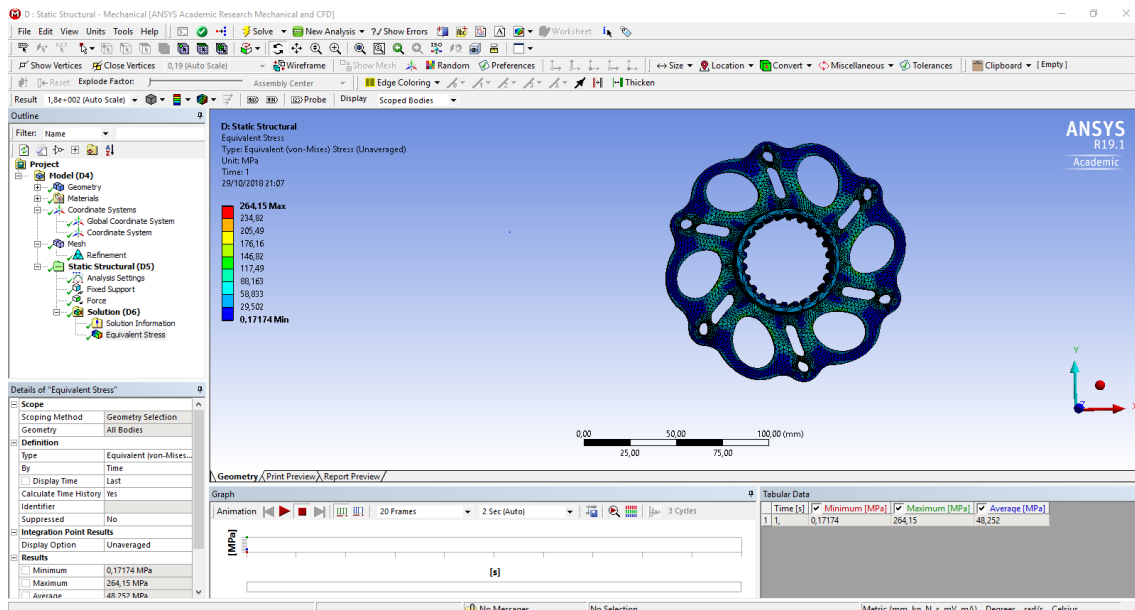


Figura 38: Simulación sin promediar del tercer diseño ajustado del porta coronas

En este caso, la media de esfuerzo máximo soportado entre la simulación promediada y la simulación sin promediar nos da un valor de 244,99 MPa, lo cual se acerca al límite que se había impuesto de 250 MPa, pero aún está dentro del rango permitido por lo que es un diseño válido.

5.2 Corona (Responsable: Javier Alonso)

Por cuestión de tamaño, la corona que se va a utilizar en la transmisión va a ser una corona de 38 dientes. El diámetro para una corona de 38 dientes se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$D = D_p + 2x\left(\frac{D_p}{Z}\right)$$

Y el diámetro primitivo se saca de la siguiente ecuación:

$$D_p = \frac{P}{\sin\left(\frac{\pi}{Z}\right)} = \frac{0,015875}{0,08258} = 192,24mm$$

Con el diámetro primitivo ya podemos resolver el diámetro de la corona, que dará un valor de:

$$D = D_p + 2x\left(\frac{D_p}{Z}\right) = 192,24 + 2x\left(\frac{192,24}{38}\right) = 202,36mm$$

Y sabiendo el diámetro podemos comenzar a realizar los diseños. Para la corona se harán varias versiones al igual que con el porta coronas, reduciendo en cada versión el material de la pieza, pero aumentando el precio de su fabricación.

- 5.2.1 Primera versión

Empezamos con un diseño sencillo como el de la figura 33.

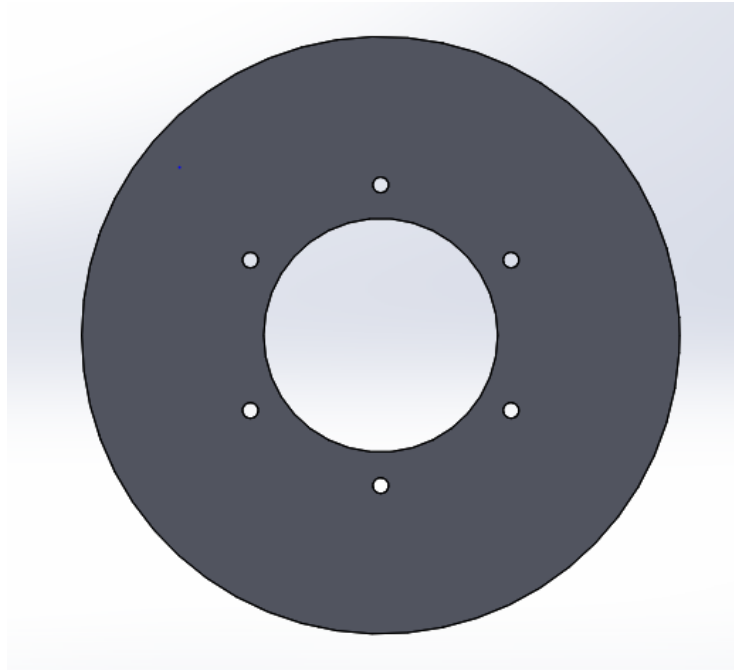


Figura 39: Primera versión de la corona

Cada vez que se hace un diseño, se debe comprobar que dicho diseño de la pieza sea capaz de soportar los esfuerzos a los que estará sometida en su momento más crítico. En este caso el esfuerzo que soportará esta pieza es la fuerza que le transmita la cadena, y que será aplicada en el exterior de la pieza, que es donde estará en contacto la corona con la cadena por medio de sus dientes. La fuerza que realiza la cadena sobre la corona la habíamos calculado a la hora de diseñar la cadena y se había obtenido un valor de $F_o=7349,47 \text{ N}$

Sabiendo la fuerza que va a soportar y donde se va a aplicar, usamos el programa ANSYS de nuevo para analizar cómo se comportaría la pieza.

Se establecen las condiciones en las que funcionaría la pieza para ver los esfuerzos que soporta, seleccionando como soporte fijo los agujeros de los tornillos que van a unir la corona al porta coronas como se puede observar en la figura 34.

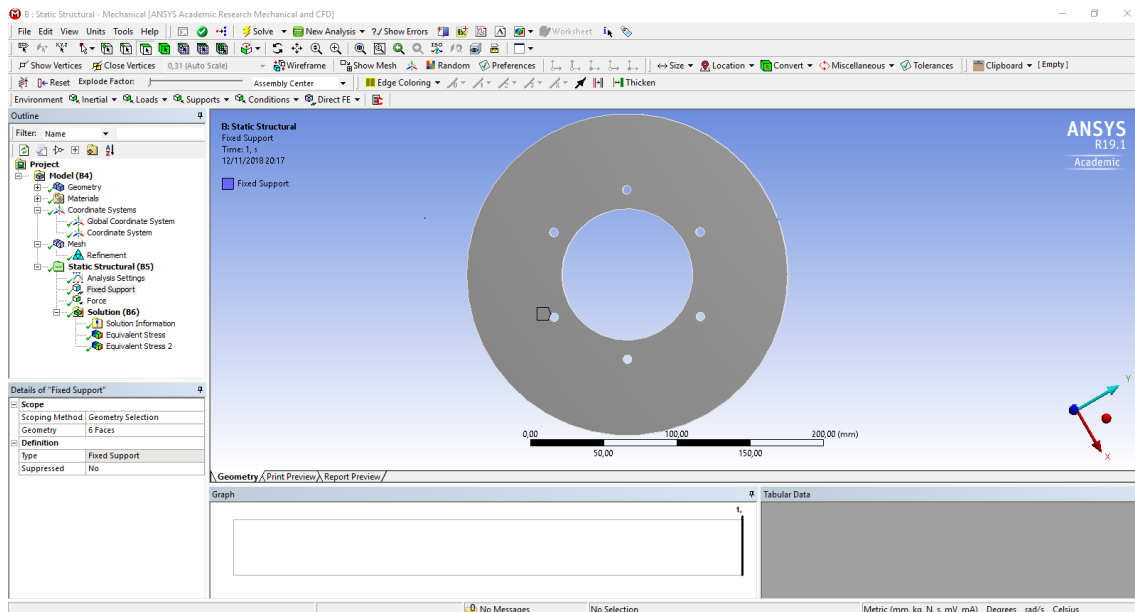


Figura 40: Soporte fijo de la corona

Se establece la fuerza que se va a aplicar en la pieza como una fuerza radial como se puede ver en la figura 35.

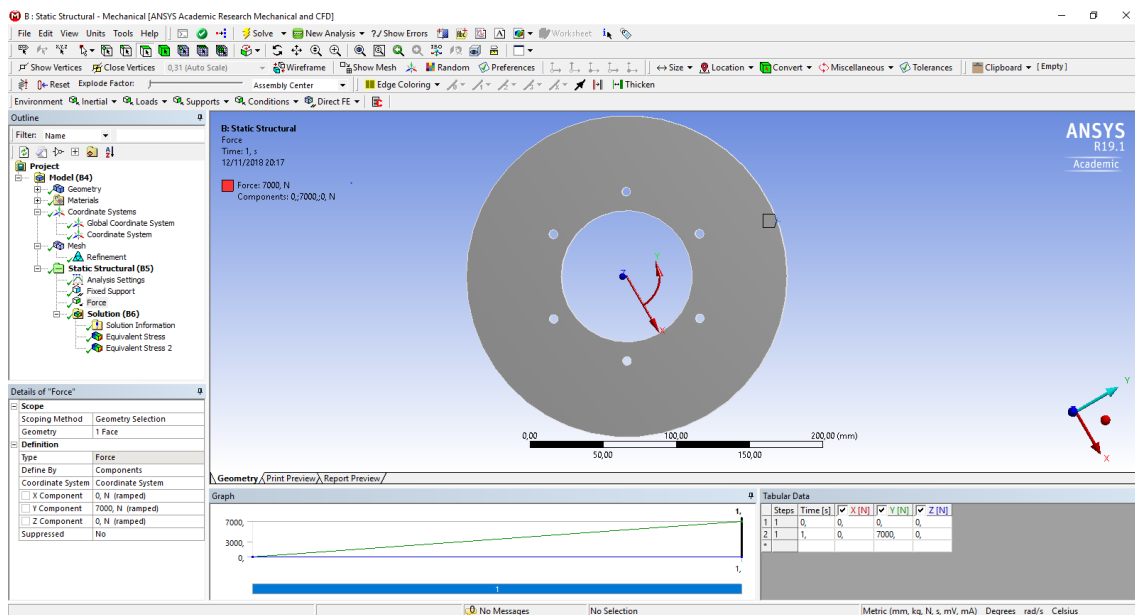


Figura 41: Fuerza aplicada a la corona

Con las condiciones de funcionamiento fijadas, se puede proceder a simular el comportamiento de la corona al estar sometida a los esfuerzos que va a soportar.

Realizamos una simulación promediada y sin promediar y comprobamos si el esfuerzo máximo podrá ser soportado por la pieza sin deformarse plásticamente.

Los resultados obtenidos son:

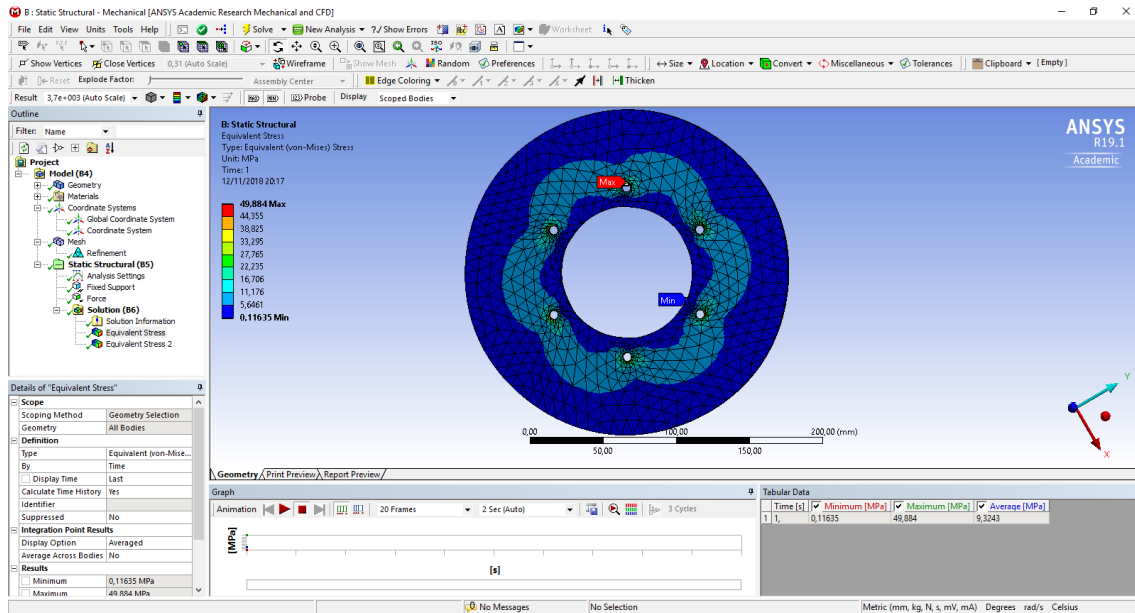


Figura 42: Simulación promediada de la primera versión de la corona

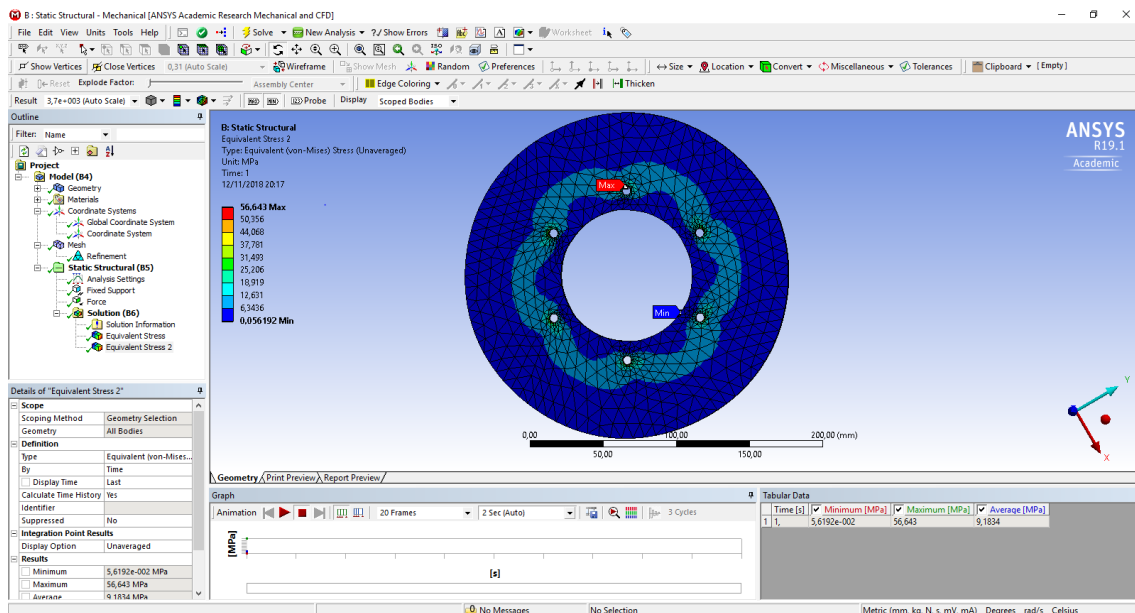


Figura 43: Simulación sin promediar de la primera versión de la corona

Como podemos observar, el esfuerzo máximo está entre 49,884 MPa y 57,643 MPa. Para saber si la pieza será capaz de soportar este esfuerzo, se debe saber el material del que está hecho la pieza. En este caso, para aligerar la pieza, en vez de fabricarla de acero la hemos

fabricado de aluminio 7075, cuya hoja de características se encuentra en las figuras 21 y 22.

Se había establecido un coeficiente de seguridad de 1,8, por lo que se permitía como máximo que la pieza soporte un esfuerzo de 250 MPa, por lo que esta pieza no tendrá ningún problema en soportar los esfuerzos a los que puede estar sometida.

- 5.2.2 Segunda versión

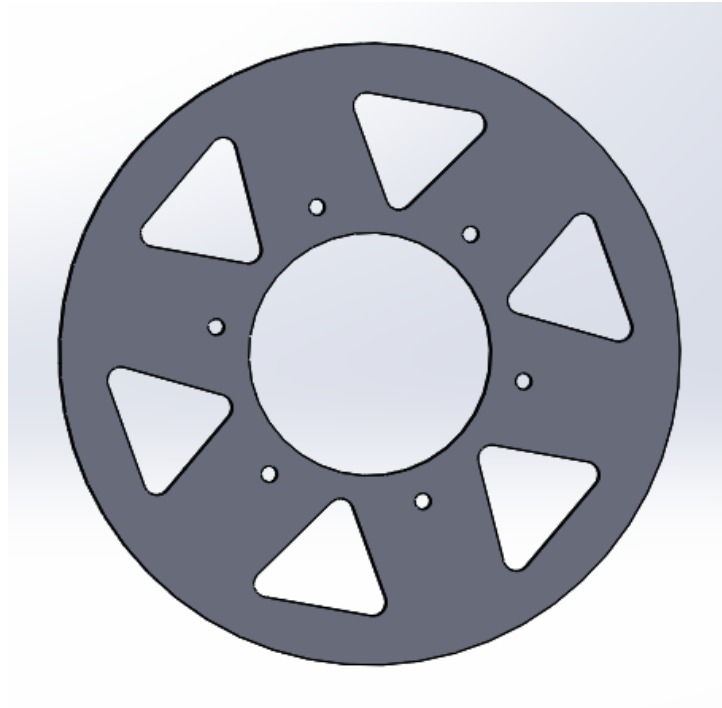


Figura 44: Segunda versión de la corona

Este segundo diseño será más ligero que el primero pero el hacer un mayor número de mecanizados, encarecerá su proceso de fabricación. De nuevo se deben realizar los cálculos pertinentes para asegurar que este diseño será capaz de soportar los esfuerzos a los que se le someterá.

Para ello se realiza el mismo proceso que en el diseño anterior estableciendo las mismas condiciones de funcionamiento, ya que va a estar sometido a los mismos esfuerzos y se simula su comportamiento con el programa ANSYS.

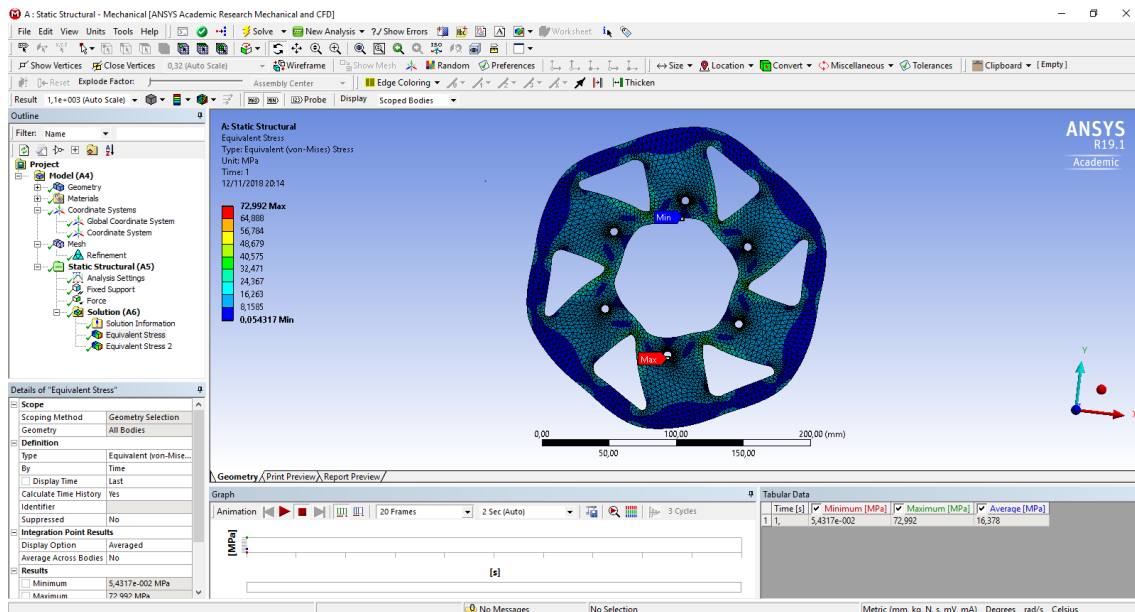


Figura 45: Simulación promediada de la segunda versión de la corona

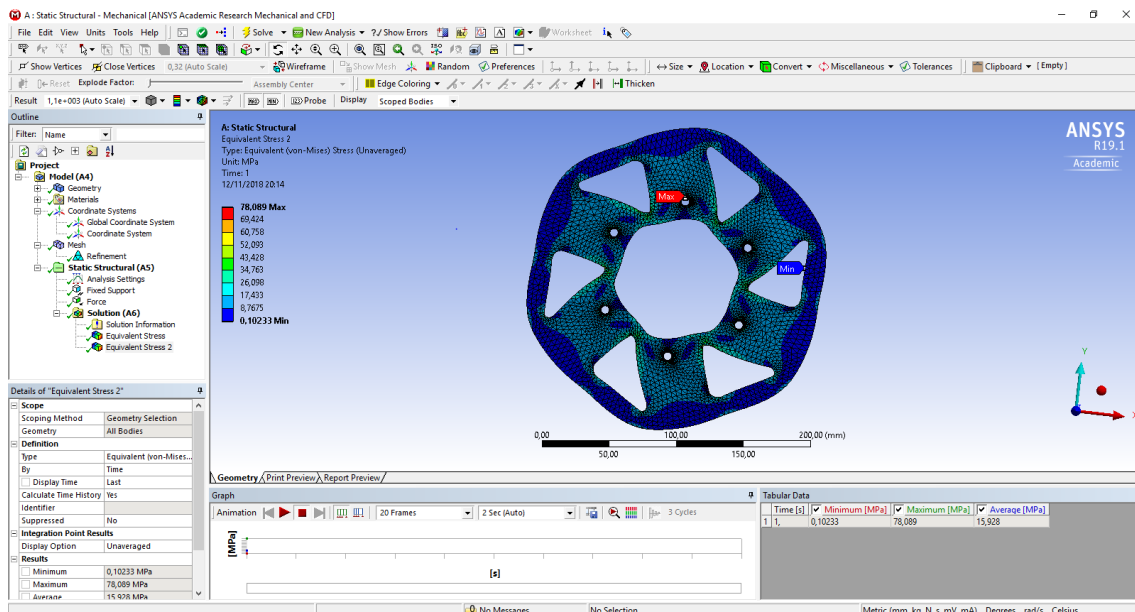


Figura 46: Simulación sin promediar de la segunda versión de la corona

Esta vez el esfuerzo máximo soportado está entre 73 y 78, por lo que este diseño sí que sería viable, al estar por debajo de 250 MPa y seguimos teniendo un amplio margen de mejora ya que la pieza resiste los esfuerzos con creces por lo que permite todavía una gran reducción de material para aligerarla.

- 5.2.3 Tercera versión

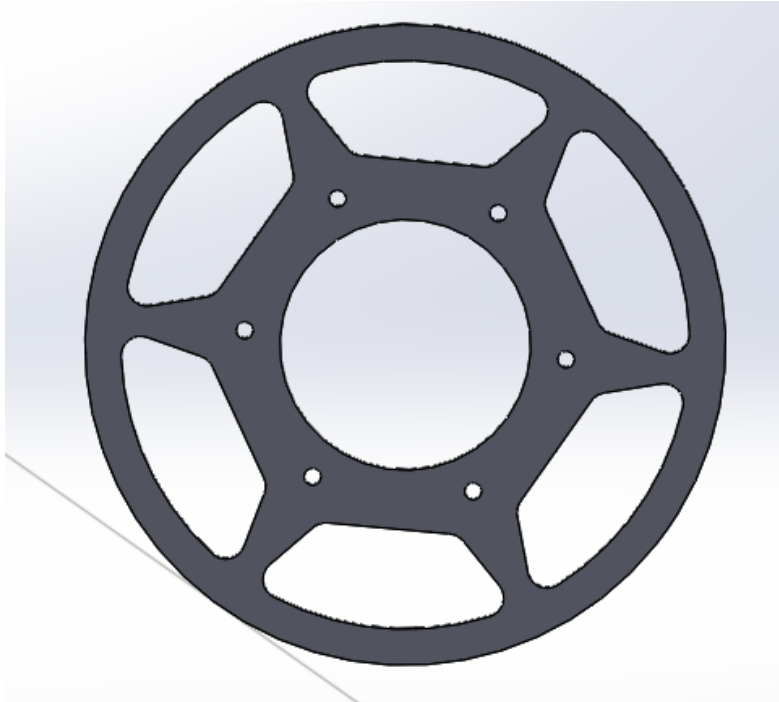


Figura 47: Tercera versión de la corona

Este tercer diseño será más ligero que los dos anteriores, pero el hacer un mayor número de mecanizados, encarecerá su proceso de fabricación. De nuevo se deben realizar los cálculos pertinentes para asegurar que este diseño será capaz de soportar los esfuerzos a los que se le someterá.

Para ello realizamos el mismo proceso que en el diseño anterior ya que va a estar sometido a los mismos esfuerzos y simulamos su comportamiento con el programa ANSYS.

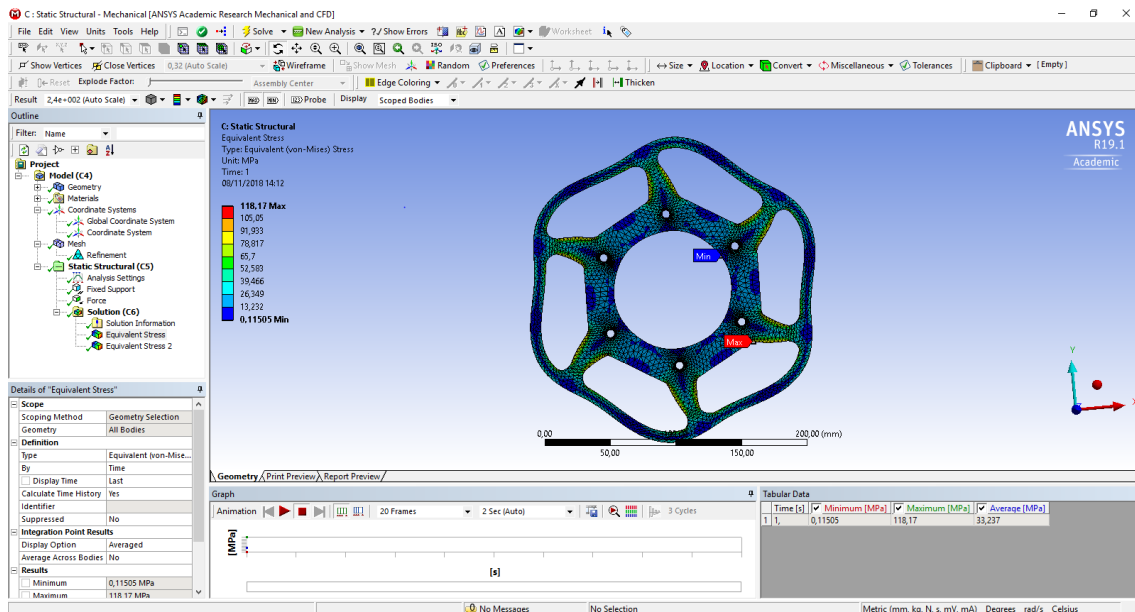


Figura 48: Simulación promediada de la tercera versión de la corona

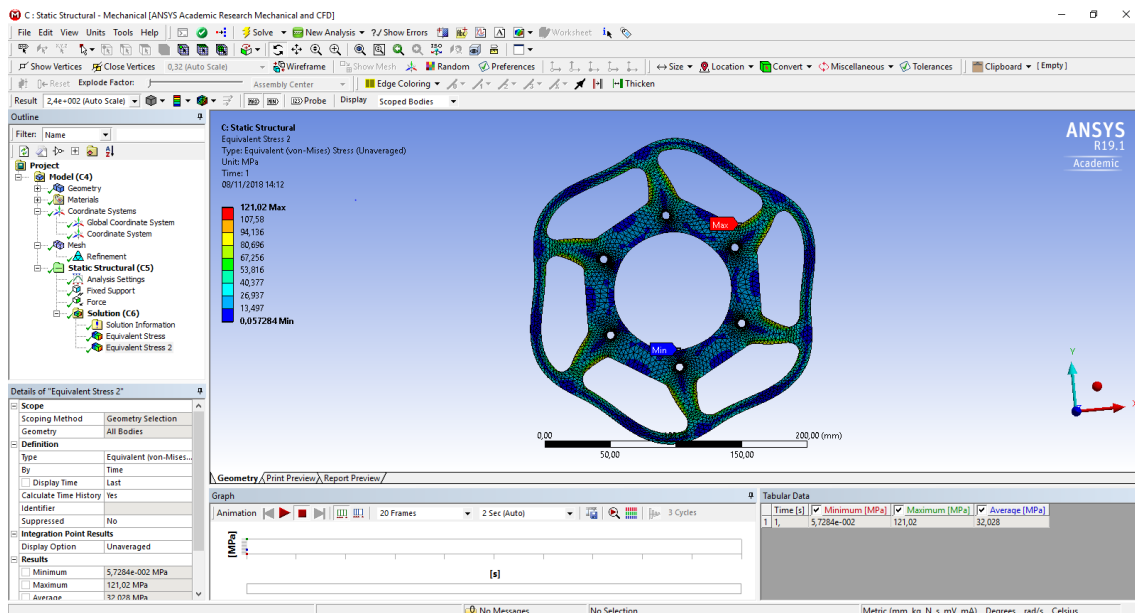


Figura 49: Simulación sin promediar de la tercera versión de la corona

En este caso, los esfuerzos máximos soportados están entre 118 y 121 MPa, lo cual ya van siendo esfuerzos más considerables, pero aún queda un amplio margen para el coeficiente de seguridad impuesto. Por lo que aún se puede optimizar más la pieza para hacerla más ligera.

- 5.2.4 Cuarta versión

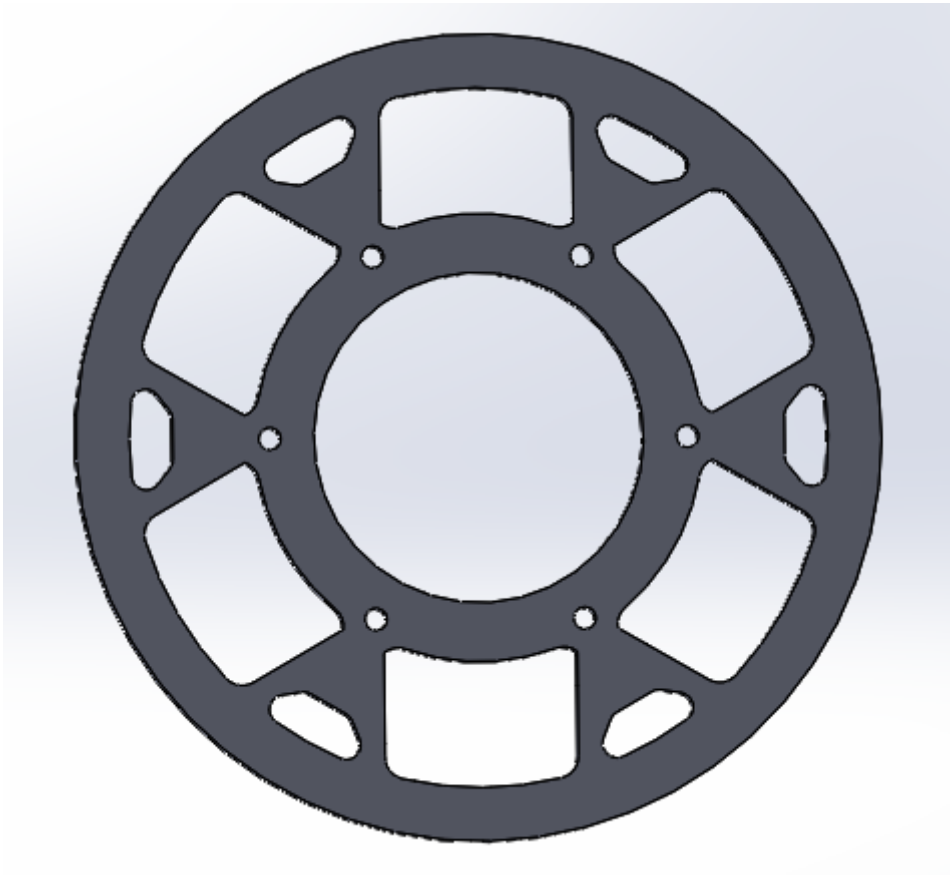


Figura 50: Cuarta versión de la corona

De nuevo, este cuarto diseño de la corona será más ligero que todos los anteriores, pero el hacer un mayor número de mecanizados, encarecerá su proceso de fabricación. Se deben realizar los cálculos pertinentes para asegurar que este diseño será capaz de soportar los esfuerzos a los que se le someterá.

Para ello realizamos el mismo proceso que en los diseños anteriores ya que va a estar sometido a los mismos esfuerzos y simulamos su comportamiento con el programa ANSYS.

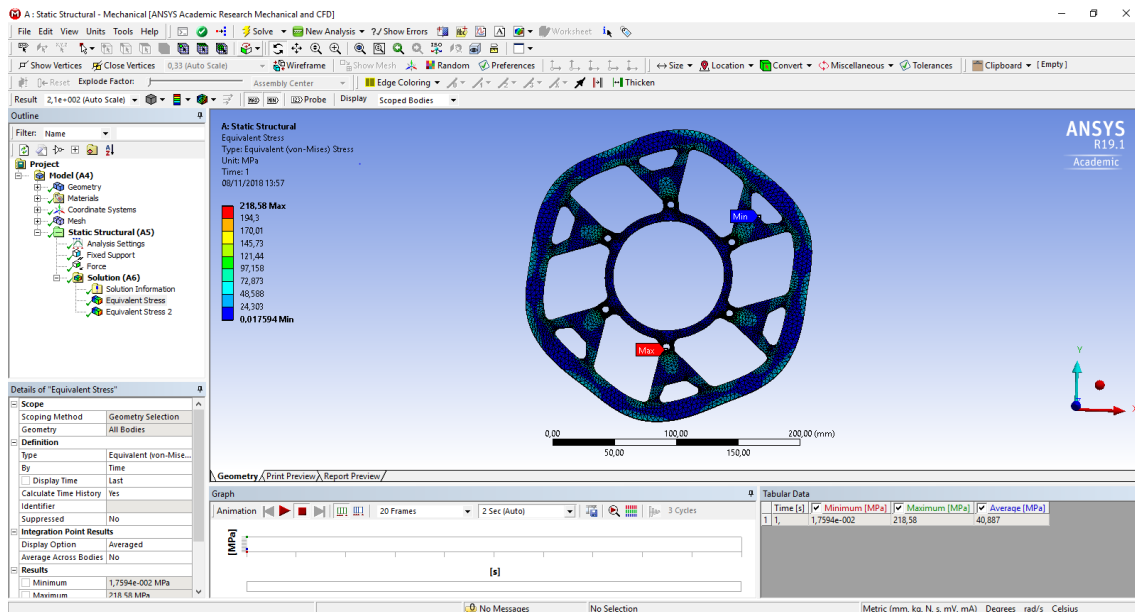


Figura 51: Simulación promediada de la cuarta versión de la corona

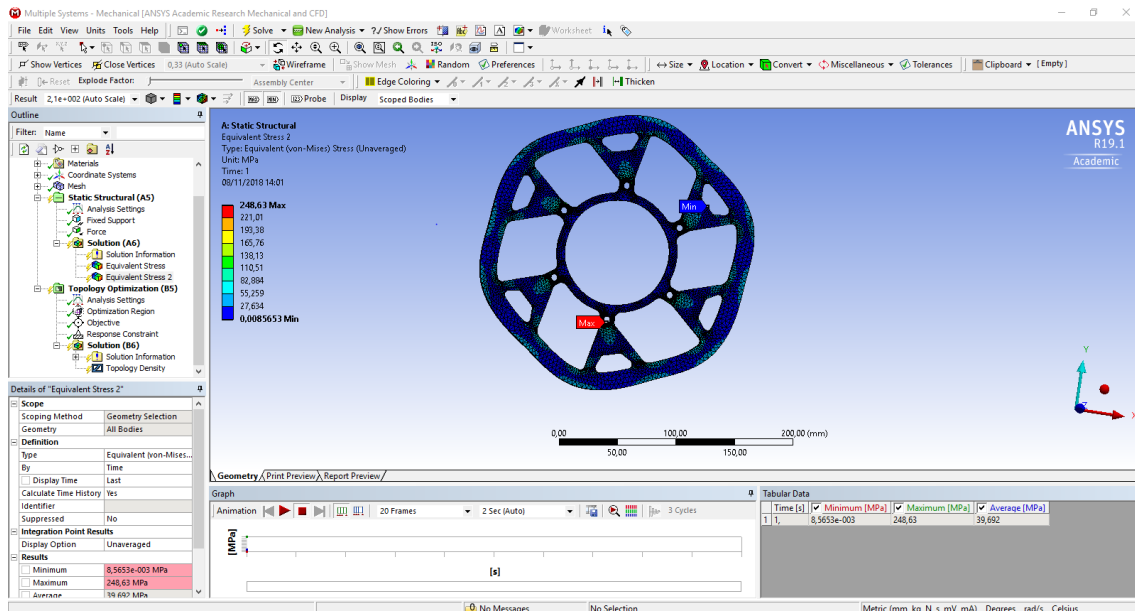


Figura 52: Simulación sin promediar de la cuarta versión de la corona

En esta última versión ya sí que los esfuerzos máximos soportados se acercan a los 250 MPa que se había impuesto como valor límite para asegurar que la pieza no sufrirá bajo ningún caso deformaciones plásticas. Por lo que no se continuará haciendo más vaciados a la pieza.

5.3 Eje de salida del motor (Responsable: Ignacio Victoria)

El objetivo principal del eje de salida del motor es transmitir el movimiento de rotación al piñón para que éste se lo transmita a la transmisión.

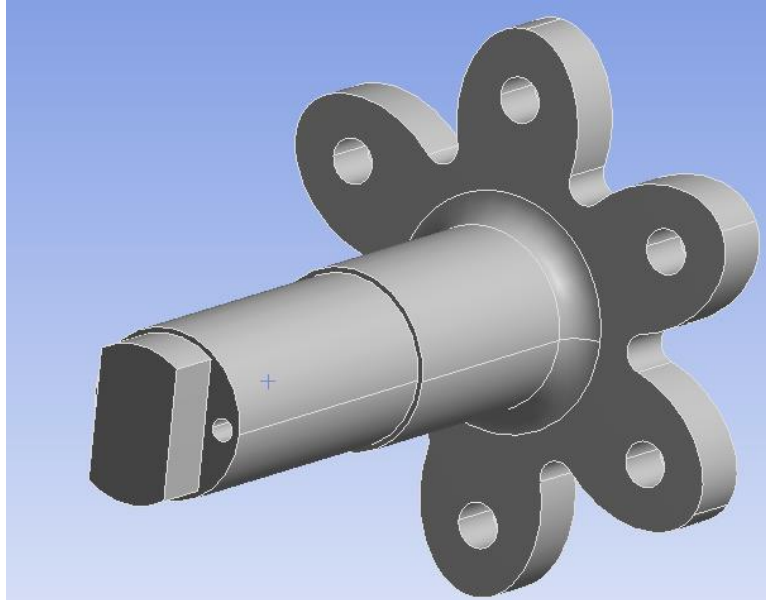


Figura 53: Eje de salida del motor

Este año se busca diseñar un eje de salida del motor lo más compacto posible, ajustando la longitud y la anchura del eje para que ocupe el menor espacio posible en la parte posterior del coche, con la esperanza de reducir así el espacio ocupado por todo el sistema de transmisión, para colaborar a diseñar un coche pequeño y ligero.

Como con todas las piezas que se diseñan, lo primero es hacer un pequeño estudio de cómo va a funcionar esa pieza cuando este montada en el coche analizando las fuerzas que va a soportar y donde van a estar ejercidas, así como por donde estará fijada la pieza.

La pieza se puede separar en diferentes geometrías en función de la especificación que deba cumplir. Como son: la alineación axial con la salida del motor y una longitud específica para alinear el plano de la cadena de transmisión mientras se fija al soporte con un rodamiento de bolas que impide la aparición de fuerzas no deseadas en el eje.

La circunferencia exterior debe tener un radio de 50 mm para adaptarse a la salida del motor y a la actual geometría axial, evitando cualquier reacción indeseada al girar.

Los agujeros M8 (6 agujeros separados 60°, y a 37,5 mm del centro) han sido diseñados para coincidir con las roscas de salida del motor (M8x1,25) y permiten que la pieza transfiera 240 Nm, lo cual abarca los 200 Nm esperados más un 20% de margen de seguridad.

A la pieza se le realizarán todos los vaciados posibles que permitan aligerar la pieza permitiendo su correcto funcionamiento.

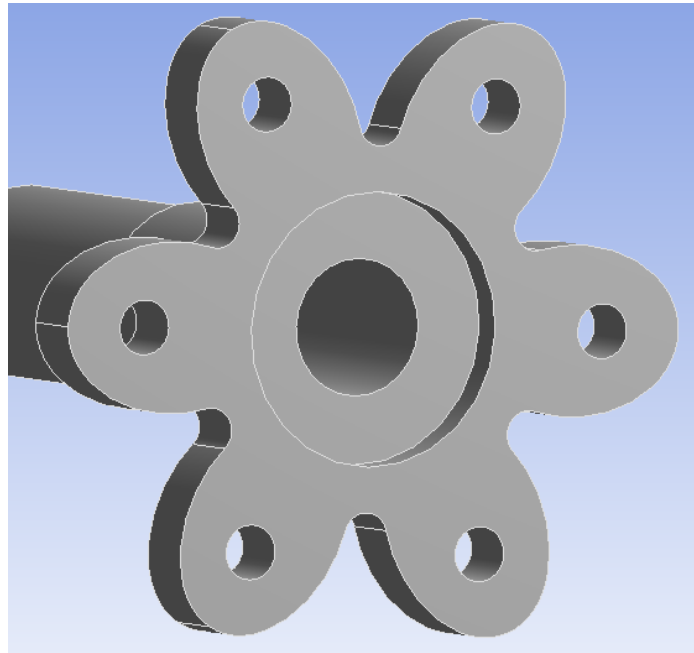


Figura 54: Parte inferior del eje

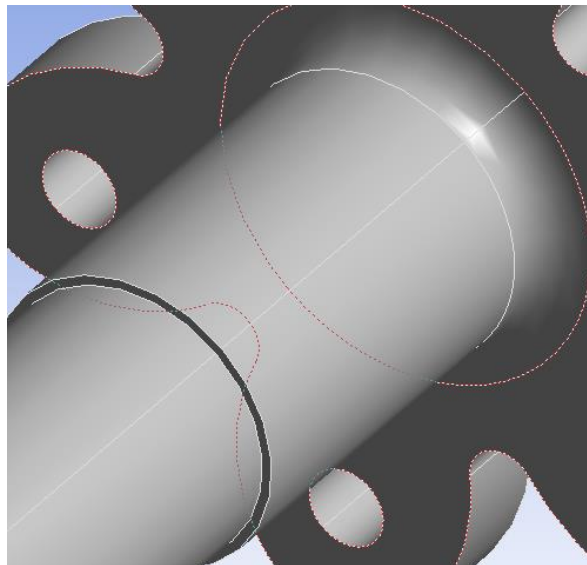


Figura 55: Cambio de diámetro en el eje

El eje tiene una parte ancha y una más estrecha, esta parte ancha al principio ayuda a reducir la tensión en la pieza en su paso hacia abajo. También tiene un orificio de radio 10mm y profundidad 55mm que solo sirve para reducir el peso de la pieza.

La reducción de 1mm de radio, también sirve para actuar como un bloque de detención para el rodamiento de bolas. Requerido para sujetar la pieza a la estructura de soporte, estando a una distancia total de 155,5mm del otro soporte, logrando así el ancho de la estructura de soporte.

Tras la reducción de radio, tenemos un eje delgado de radio 15mm y longitud 37,7mm que deja una pieza de 107,2mm de longitud, lo cual es un poco más corto que la separación real entre la cadena y el final del motor, para dejar espacio para colocar pequeñas láminas de metal que permitan corregir cualquier desalineamiento que pueda ocurrir en la etapa de producción.

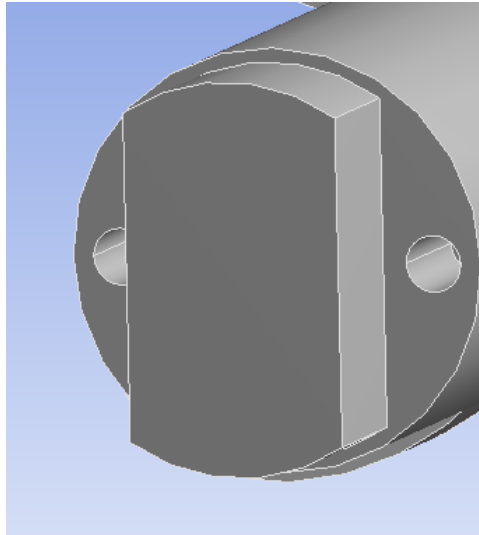


Figura 56: Cara en contacto con el piñón

En la cara exterior junto a la chaveta, se encuentran dos taladros M4x10mm que están ahí por dos razones principales: una es sujetar el piñón, y otra sujetar las láminas de metal que evitan los posibles desalineamientos.

Ahora que se conoce un poco más la pieza se procede a realizar las simulaciones para comprobar que resiste los esfuerzos aplicados.

Para simular como funcionaria esta pieza en sus condiciones de trabajo críticas, vamos a someterla a un par de 240 Nm, que como se ha comentado anteriormente es un 20% superior al par máximo que se espera que soporte la pieza, este par estará aplicado en la chaveta y se seleccionará como soportes fijos los agujeros de los tornillos que fijarán el eje al motor EMRAX 228.

- Simulación de deformación elástica

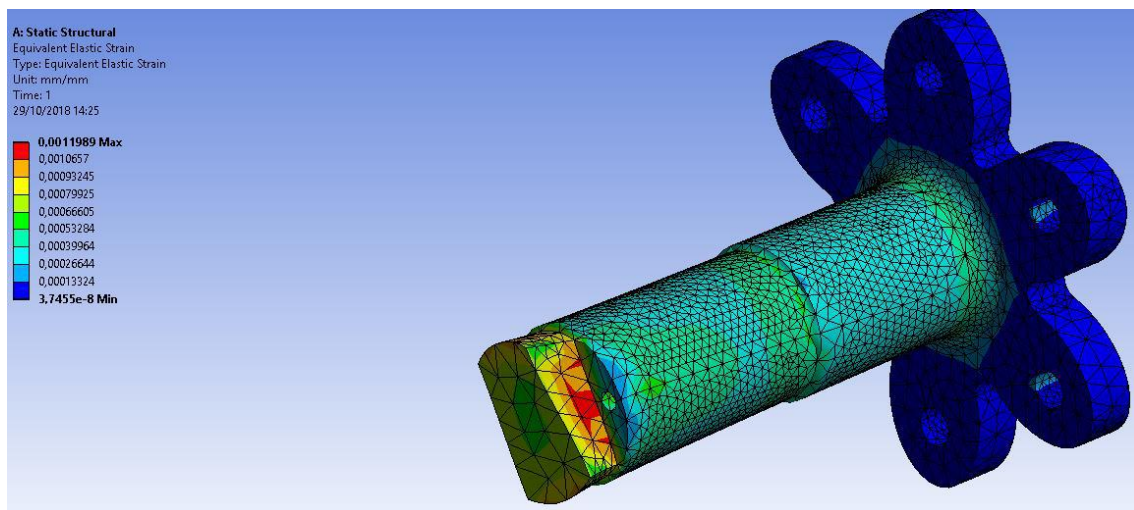


Figura 57: Simulación de la deformación elástica de la pieza

Details of "Equivalent Elastic Strain"	
By	Time
☐ Disp...	Last
Calcula...	Yes
Identifier	
Suppre...	No
Integration Point Results	
Display ...	Averaged
Averag...	No
Results	
☐ Mini...	3,7455e-008 mm/mm
☐ Maxi...	1,1989e-003 mm/mm
☐ Aver...	2,3354e-004 mm/mm
Minimu...	salida_motor_H-FreeParts
Maximu...	salida_motor_H-FreeParts
Information	

Figura 58: Datos de la simulación

La variación máxima de longitud que obtenemos en la simulación es de 1.989 μm en la base de la chaveta, junto a los orificios de perforación M4, con un promedio de 0.234 μm , al aplicar el par de 240 Nm, por lo que podemos suponer que la pieza no se va a deformar para dificultar su correcto funcionamiento.

- Simulación de tensiones

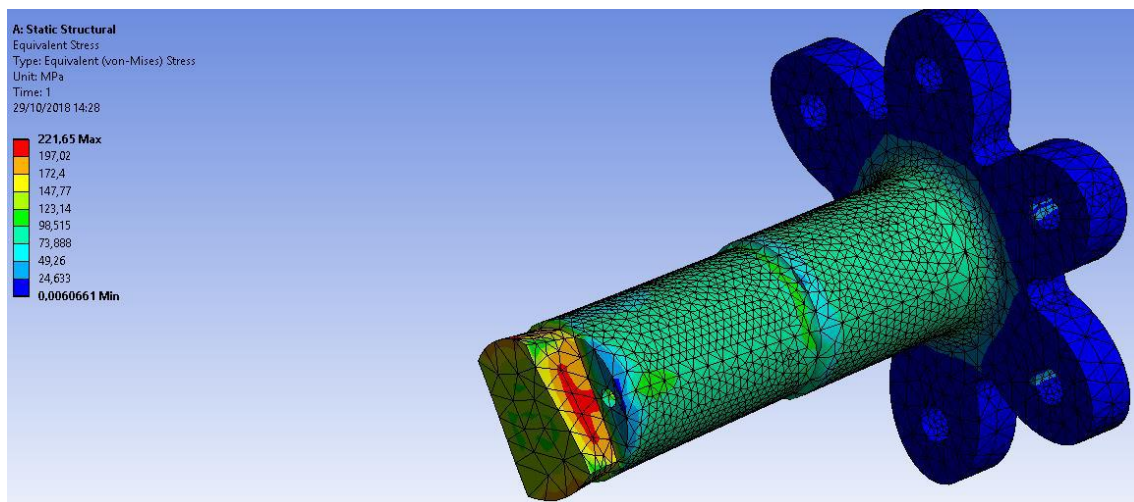


Figura 59: Simulación de las tensiones que sufre la pieza

By	Time
☐ Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No
Integration Point Results	
Display Option	Averaged
Average Across Bodies	No
Results	
☐ Minimum	6,0661e-003 MPa
☐ Maximum	221,65 MPa
☐ Average	46,263 MPa
Minimum Occurs On	salida_motor_H-Free...
Maximum Occurs On	salida_motor_H-Free...
Information	

Figura 60: Datos de la simulación de tensiones

Cabe destacar que el material usado en esta pieza será acero ya que es una pieza que debe soportar grandes esfuerzos y es muy pequeña, por lo que además se le ha realizado un pavonado para que aguante más. Otra razón es que además esta pieza está en contacto con el piñón, y al ser este de acero, se la iría comiendo por el choque si no fuese de acero también.

Establecemos una tensión máxima soportada de 250 MPa para trabajar como mínimo con un coeficiente de seguridad de 2. La tensión máxima soportada será de 221.65 MPa, lo cual está dentro del rango permitido y con un 10% de margen por si acaso.

- Deformación total

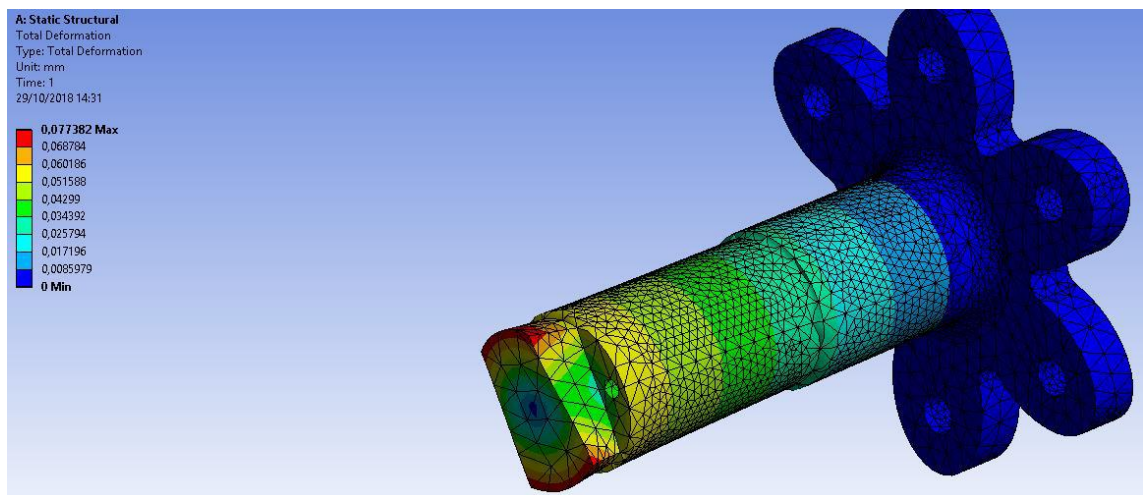


Figura 61: Simulación de deformación total

Geometry	All Bodies
Definition	
Type	Total Deformation
By	Time
☐ Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No
Results	
☐ Minimum	0, mm
☐ Maximum	7,7382e-002 mm
☐ Average	1,4753e-002 mm
Minimum Occurs On	salida_motor_H-FreeP...
Maximum Occurs On	salida_motor_H-FreeP...
Information	

Figura 62: Datos de la simulación de deformación

La deformación total de la pieza tiene un máximo de 0.07382mm al aplicar el par de 240 Nm, por lo que se puede decir que no se romperá durante su funcionamiento.

5.4 Piñón del eje de salida (Responsable: Ignacio Victoria)

Esta pieza se encarga de transmitir el movimiento rotacional a la cadena de transmisión para que esta la transmita a la corona mediante una relación de transmisión. La relación de transmisión buscada en un principio era 4, lo cual hacía que la corona recibiese un par de 800 Nm al funcionar el motor a 200 Nm, y como la corona se había pensado para 44 dientes, el piñón debía tener 11 diente. Actualmente la relación de transmisión es menor ya que por cuestiones de tamaño, hubo que cambiar la corona por una de 38 dientes, y el piñón se mantuvo con 11.

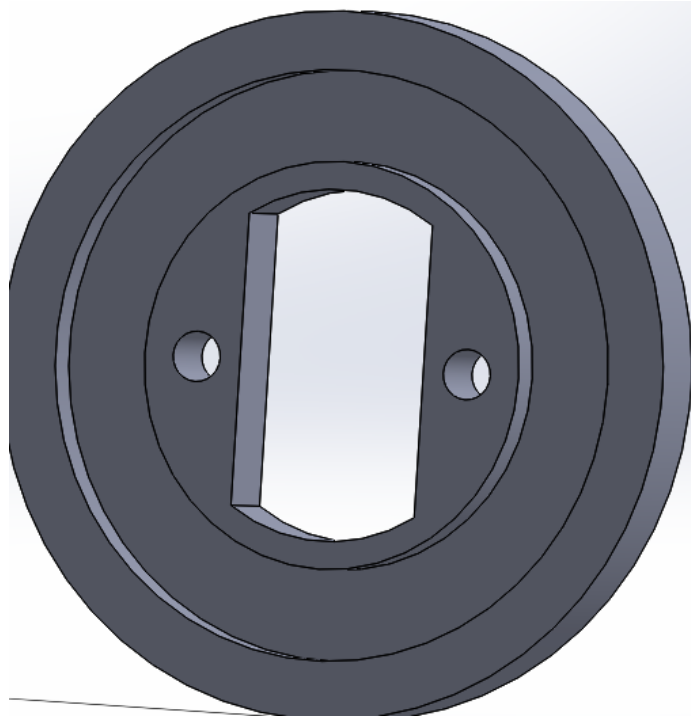


Figura 63: Piñón

Al igual que anteriormente en la corona, calculamos el diámetro primitivo que tendrá el piñón, mediante la fórmula:

$$D_p = \frac{P}{\sin\left(\frac{\pi}{Z}\right)} = \frac{15,875}{0,28173} = 56.3477mm$$

Y con el diámetro primitivo obtenemos el diámetro total que tendrá el piñón que vamos a diseñar mediante la fórmula:

$$D = D_p + 2x\left(\frac{D_p}{Z}\right) = 56.3477 + 2x\left(\frac{56.3477}{11}\right) = 66.593mm$$

Y tiene que ser capaz de soportar el par suministrado por el motor de 200 Nm.

El piñón tendrá pues un diámetro de 66.6 mm y los dos agujeros M4 por los que se conectará esta pieza al eje de salida del motor, por los que se le transmitirán los 240 Nm de par que estamos utilizando como par máximo que podría entregar el motor.

El desnivel que se observa en la figura 57 simplemente es para aligerar la pieza, no tiene ninguna función específica, se hace este vaciado solo desde un radio de 13 mm hasta 22,5 mm para no comprometer la integridad de los dientes del piñón que estarán en contacto con la cadena y es donde soportara esfuerzos.

El agujero del medio es por donde se introducirá la chaveta del eje de salida del motor, por lo que la pieza estará fijada por esas caras y sufrirá

una fuerza radial aplicada en el extremo de la circunferencia donde se mecanizarán los dientes.

Se procede a la realización de las simulaciones que confirmen la validez del diseño. Esta pieza aguantará un par máximo de 200 Nm teóricamente, pero para asegurar que resistirá se hace la simulación para el caso de que el motor ofreciese un par de 240 Nm, en este caso, la fuerza que soportaría el exterior del piñón, al tener este un radio primitivo de 28.175 mm sería:

$$F = \frac{M}{r} = \frac{240}{0.028175} = 8518.19 \text{ N}$$

Se realizan las simulaciones aplicando esta fuerza en el exterior del piñón y marcando como base fija el agujero para la chaveta y los agujeros de los tornillos.

- Deformación total

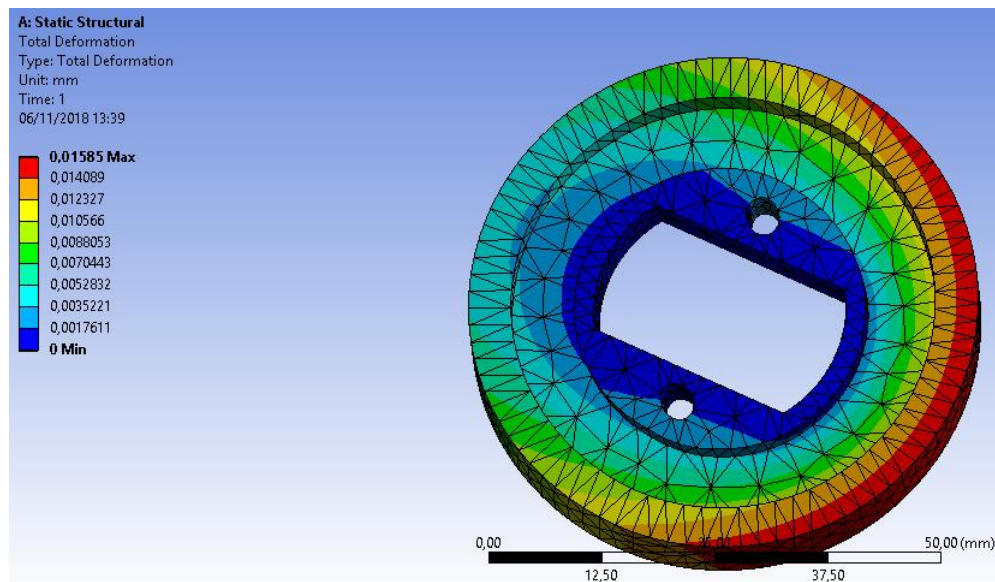


Figura 64: simulación de deformación total

Geometry	All Bodies
Definition	
Type	Total Deformation
By	Time
☐ Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No
Results	
☐ Minimum	0, mm
☐ Maximum	1,585e-002 mm
☐ Average	6,557e-003 mm
Minimum Occurs On	04_pinon_A_ANSYS-FreeParts
Maximum Occurs On	04_pinon_A_ANSYS-FreeParts
Information	

Figura 65: Datos de la simulación de deformación

La deformación total de la pieza tiene un máximo de 0.01585mm al aplicar el par de 240 Nm, por lo que se puede decir que no se romperá durante su funcionamiento.

- Simulación de deformación elástica

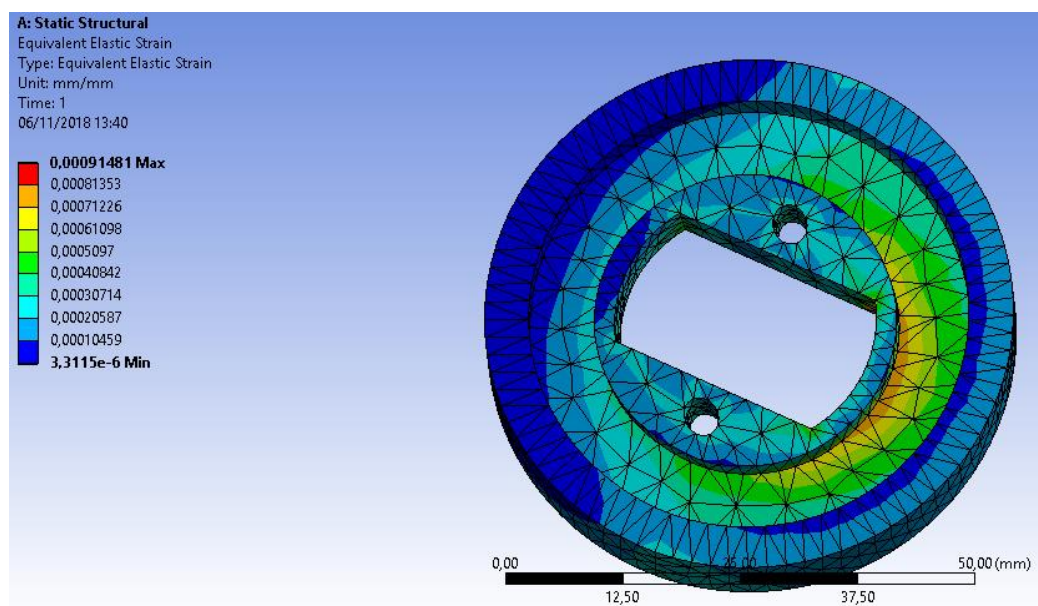


Figura 66: Simulación de deformación elástica

By	Time
☐ Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No
Integration Point Results	
Display Option	Averaged
Average Across Bodies	No
Results	
☐ Minimum	3,3115e-006 mm/mm
☐ Maximum	9,1481e-004 mm/mm
☐ Average	2,3001e-004 mm/mm
Minimum Occurs On	04_pinon_A_ANSYS-FreeParts
Maximum Occurs On	04_pinon_A_ANSYS-FreeParts
Information	

Figura 67: Datos de la deformación elástica

La variación máxima de longitud que obtenemos en la simulación es de $0.9148\mu\text{m}$ en la base de la chaveta, junto a los orificios de perforación M4, con un promedio de $0.23\mu\text{m}$, al aplicar el par de 240 Nm, por lo que podemos suponer que la pieza no se va a deformar para dificultar su correcto funcionamiento.

- Simulación de tensiones

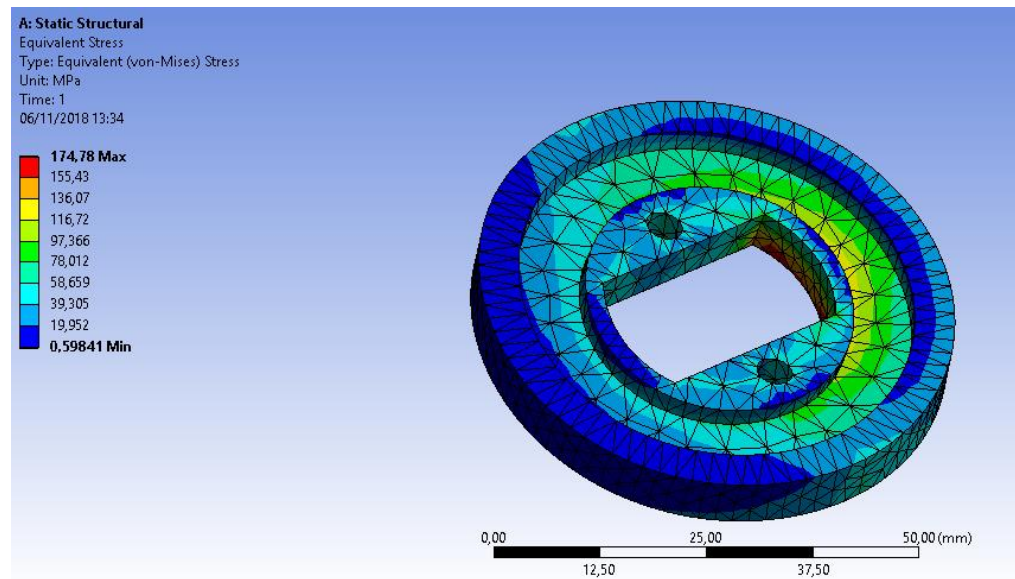


Figura 68: Simulación de tensiones en el piñón

By	Time
☐ Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No
Integration Point Results	
Display Option	Averaged
Average Across Bodies	No
Results	
☐ Minimum	0,59841 MPa
☐ Maximum	174,78 MPa
☐ Average	43,165 MPa
Minimum Occurs On	04_pinon_A_ANSYS-FreeParts
Maximum Occurs On	04_pinon_A_ANSYS-FreeParts
Information	

Figura 69: Datos de la simulación de tensiones en el piñón

El material usado en el piñón será acero, ya que es una pieza que debe soportar grandes esfuerzos y es muy pequeña, además se le ha realizado un pavonado para que aguante más.

Establecemos una tensión máxima soportada de 250 MPa para trabajar como mínimo con un coeficiente de seguridad de 2. La tensión máxima soportada será de 174.78 MPa, lo cual está dentro del rango permitido.

5.5 Soporte (Responsable: Marcos Fleire)

El objetivo principal del diseño del soporte del diferencial y del motor es simplificar los esfuerzos sufridos en el chasis. Con este soporte, todos los esfuerzos producidos en el automóvil por la transmisión se distribuyen entre dos estructuras diferentes con cuatro tornillos en total.

Otro objetivo importante de este diseño es reducir el espacio de toda la transmisión, que es una de las principales partes funcionales del automóvil que genera una mayor pérdida de espacio. Con el diferencial y el motor en el mismo soporte, podemos ajustar esta pérdida de espacio al mínimo, dejando más espacio a otras partes como los acumuladores.

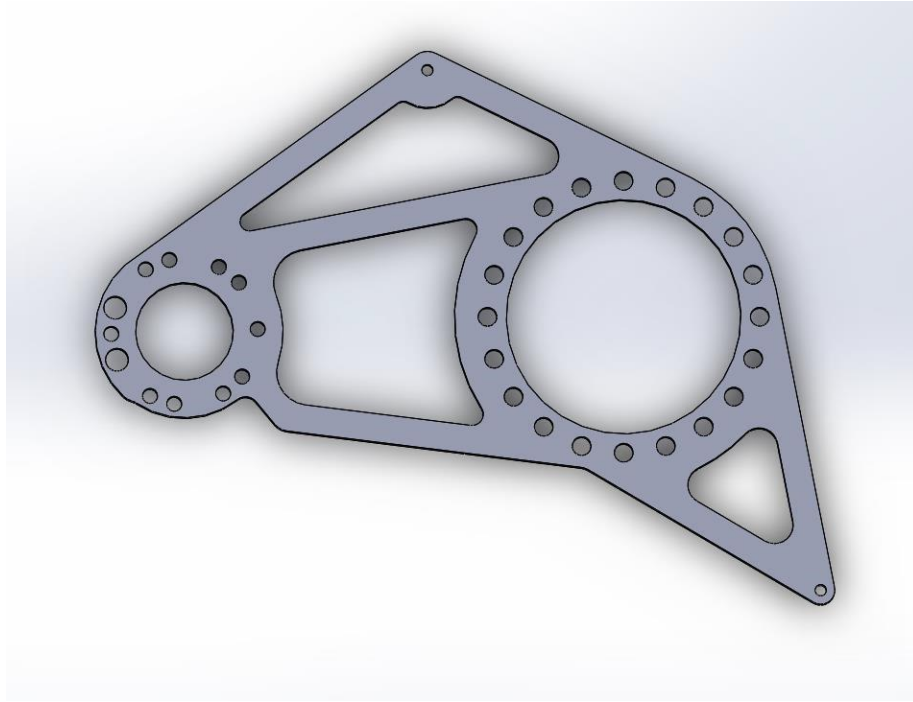


Figura 70: Soporte de 16 mm

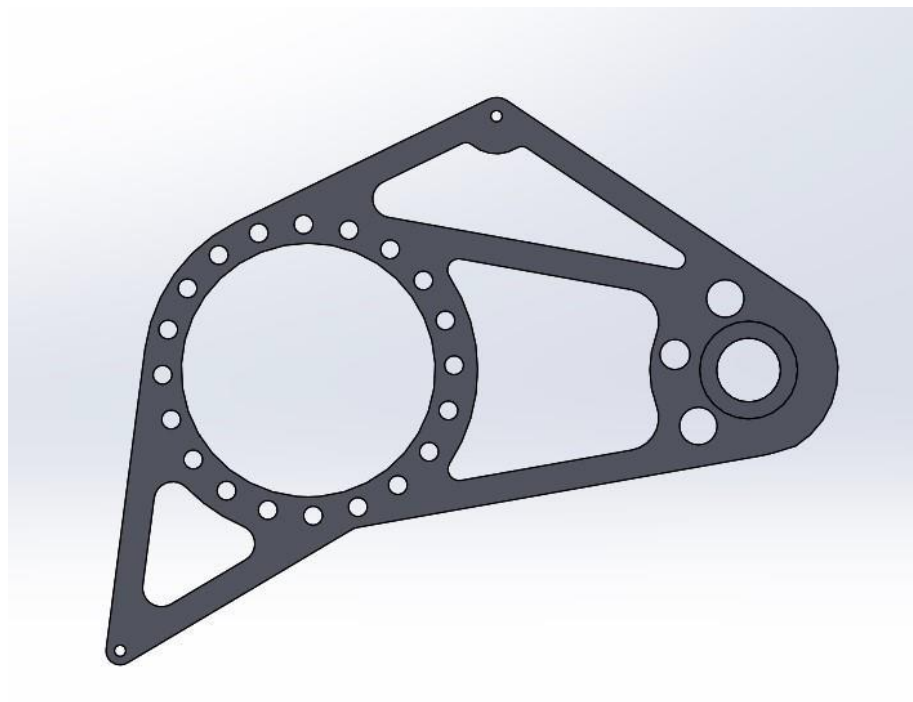


Figura 71: Soporte de 18 mm

Hay dos soportes que conforman todo el sistema, uno de 16 mm y otro de 18 mm, esta diferencia de anchura se debe a la necesidad de estos de resistir diferentes cargas. El más delgado debe absorber los esfuerzos del motor y solo un poco del diferencial, mientras que el más grueso debe absorber principalmente los esfuerzos del diferencial y solo

el peso del motor. El grosor de los soportes es el mismo que se utilizó en el Formula Student del año pasado. El objetivo de esto es reciclar los excéntricos y ahorrar gastos. El primer soporte diseñado fue el de 16mm y el de 18 mm es una modificación de este.

- 5.5.1 Soporte de 16 mm

El tamaño del orificio principal es el tamaño de la excéntrica del año pasado, y el segundo orificio tiene las dimensiones de la portadora Emrax adaptadas a una posición que garantiza el soporte del motor. El diferencial y el motor están a 234 mm. Esta distancia es la mitad del diámetro exterior del diferencial ($100\text{mm}/2$) más el diámetro exterior del motor con su protección ($268\text{mm}/2$) más la mitad de la excentricidad ($20\text{mm}/2$) más una distancia de seguridad de 40mm, esta distancia se fija en caso de colisión entre las partes móviles.

Los veinte orificios se colocan para permitir el cambio de posición de la excéntrica, de modo que se pueda tensar la cadena.

La pieza está diseñada de modo que el centro del diferencial y el centro de la rueda estén alineados. Esto permite que los semiejes vayan directamente del diferencial a la rueda.

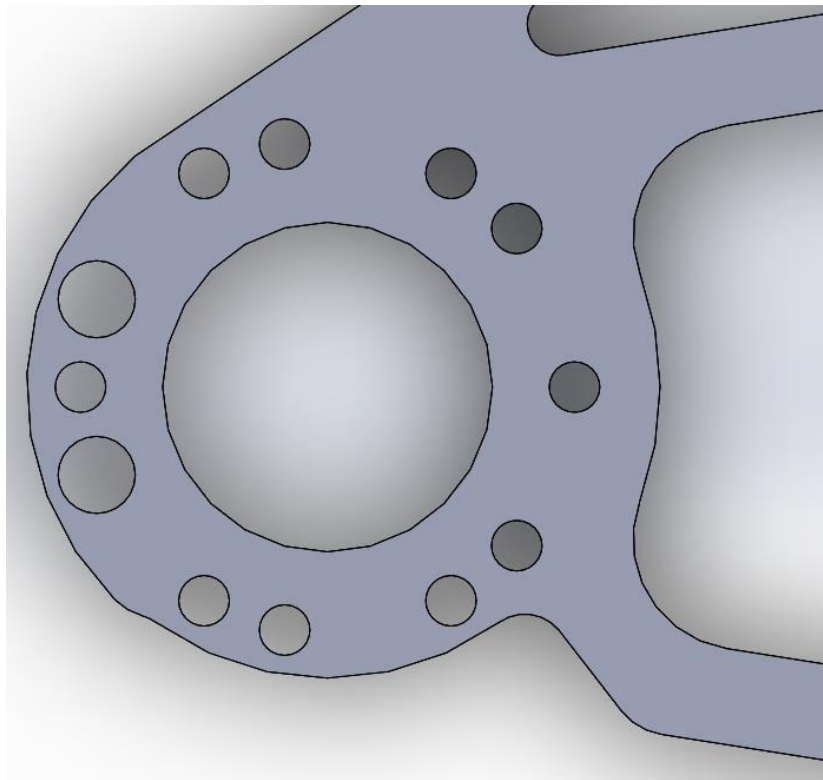


Figura 72: Detalle del alojamiento del motor

La forma del alojamiento del motor, como se dijo antes, se basa en la forma del portador x provisto por Emrax. Los orificios ubicados en el lado izquierdo se modifican para tener un espacio libre mayor para el sistema de refrigeración.

La parte inferior se modifica para permitir suficiente espacio para los conectores R S T del motor.

- 5.5.2 Soporte de 18 mm

La estructura es similar a la de 16 mm, pero con unas pequeñas modificaciones.

El diámetro del orificio principal de la excéntrica es mayor que en el soporte de 16 mm.

El lugar para el alojamiento del motor se cambia a un alojamiento de un cojinete. Este rodamiento se utilizará para repartir los esfuerzos entre los dos soportes, y la carcasa está diseñada para que el rodamiento no se mueva axialmente. Se han realizado algunos agujeros en ese área para reducir el peso.

Finalmente hubo que cambiar el diseño del soporte, con la modificación principal de mover la parte superior del soporte a la inferior. Esta modificación tuvo que hacerse para que la suspensión tuviera suficiente espacio y el diferencial estuviera alineado con el centro de las ruedas.

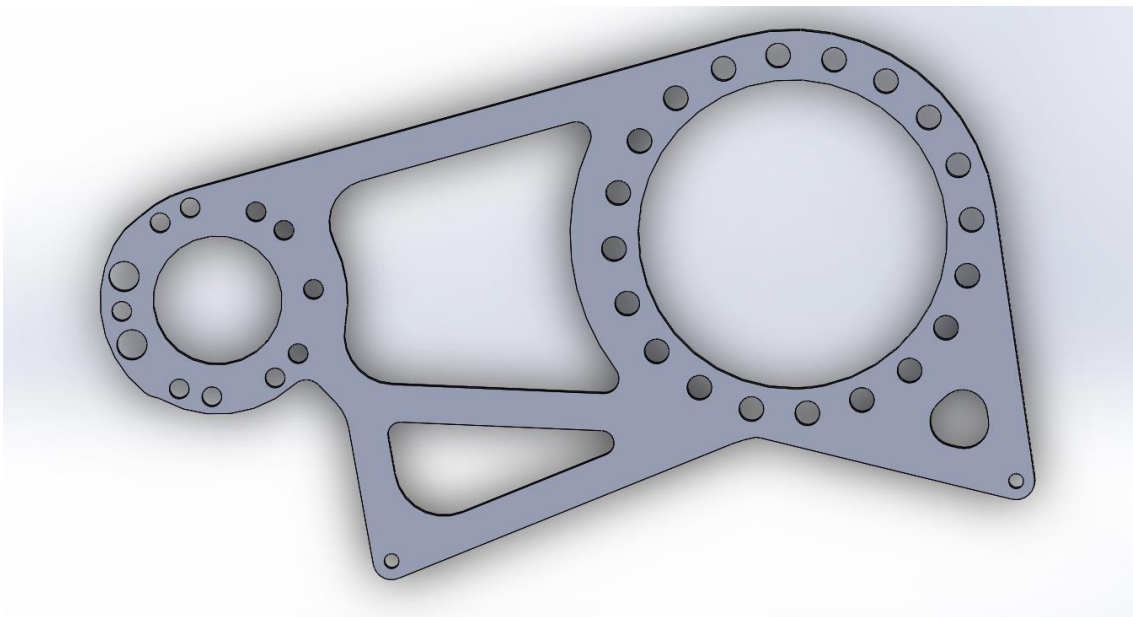


Figura 73: Diseño final del soporte

Una vez hechos los diseños se pasa a la parte de simulaciones para comprobar la validez de los mismos.

Esta pieza se analizará bajo la tensión producida por el par del motor y el par que se transmite al diferencial. Este par se calculó suponiendo que la transmisión era completamente estacionaria para simular un bloque completo para todo el sistema, este es el peor caso posible. Se tuvo en cuenta también el peso del conjunto motor y diferencial.

El análisis de esta pieza implica que la otra pieza del soporte (la de 18 mm) puede soportar los esfuerzos que sufrirá. La pieza de 18 mm representa menos esfuerzos ya que es más gruesa, lo que ayuda a disminuir los esfuerzos sufridos y hace que solo sea necesario asegurarse de que esta pieza resistirá.

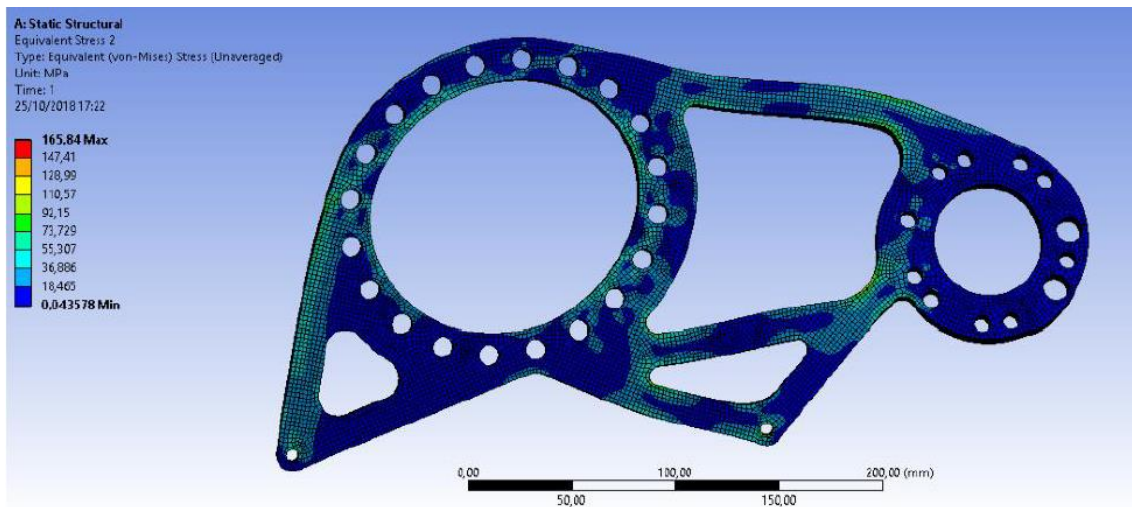


Figura 74: Simulación sin promediar del soporte

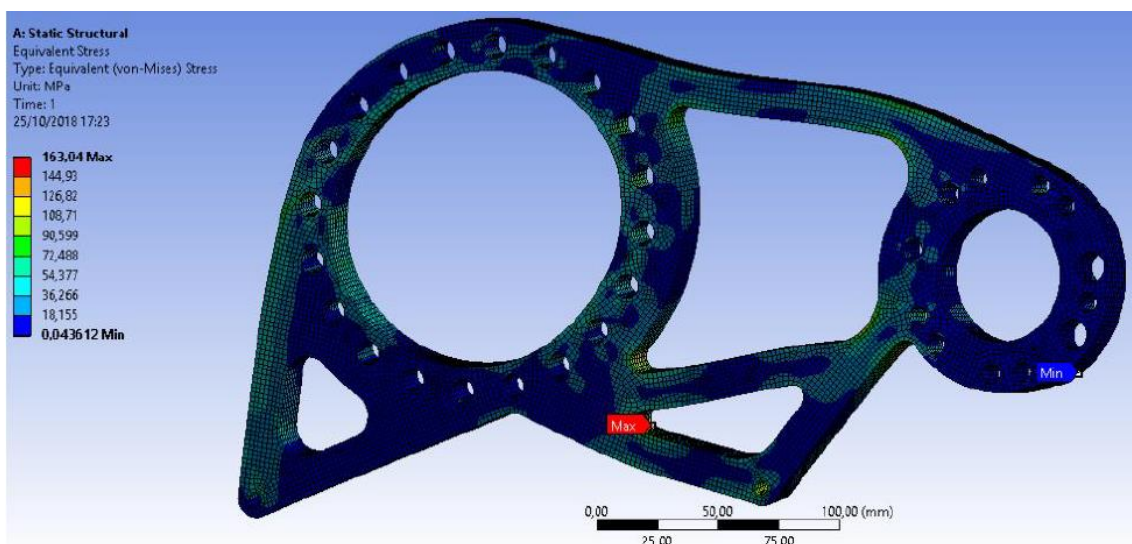


Figura 75: Simulación promediada del soporte

La tensión en el soporte se analizó con dos simulaciones diferentes, una con resultados promediados y otra con resultados sin promediar. El cambio entre ambos es de solo 2 MPa, que es inferior al 2%, lo que significa que la malla tiene buena calidad y los resultados son fiables.

La máxima tensión es de 165 MPa, que es un valor seguro de la tensión, ya que los esfuerzos están sobredimensionados, por lo que el soporte nunca estaría cerca de colapsar.

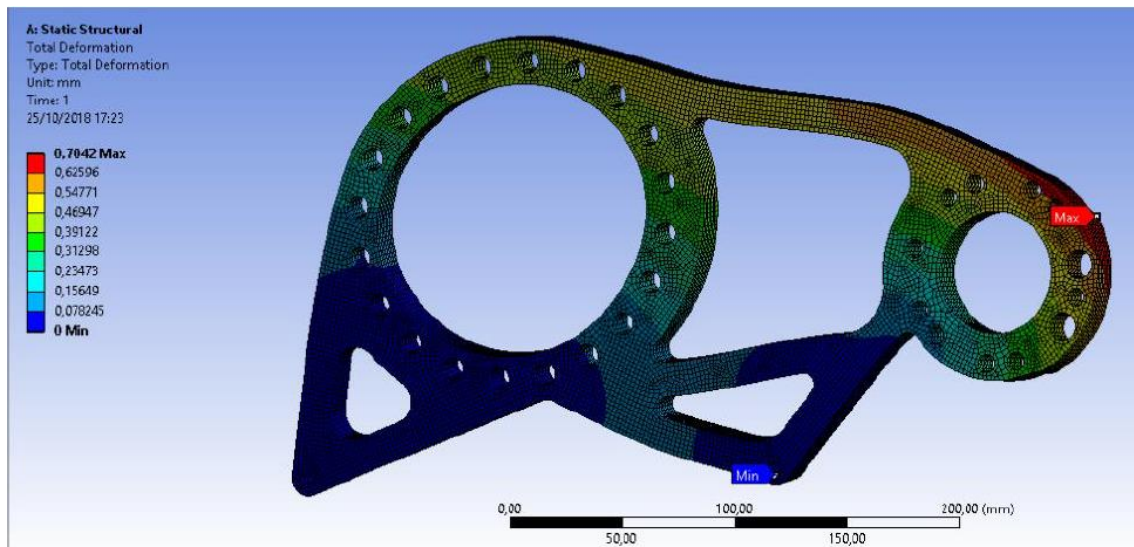


Figura 76: Simulación de deformaciones del soporte

La deformación máxima es de 0,7 mm que puede pasarse por alto.

En conjunto la transmisión que obtendremos será:

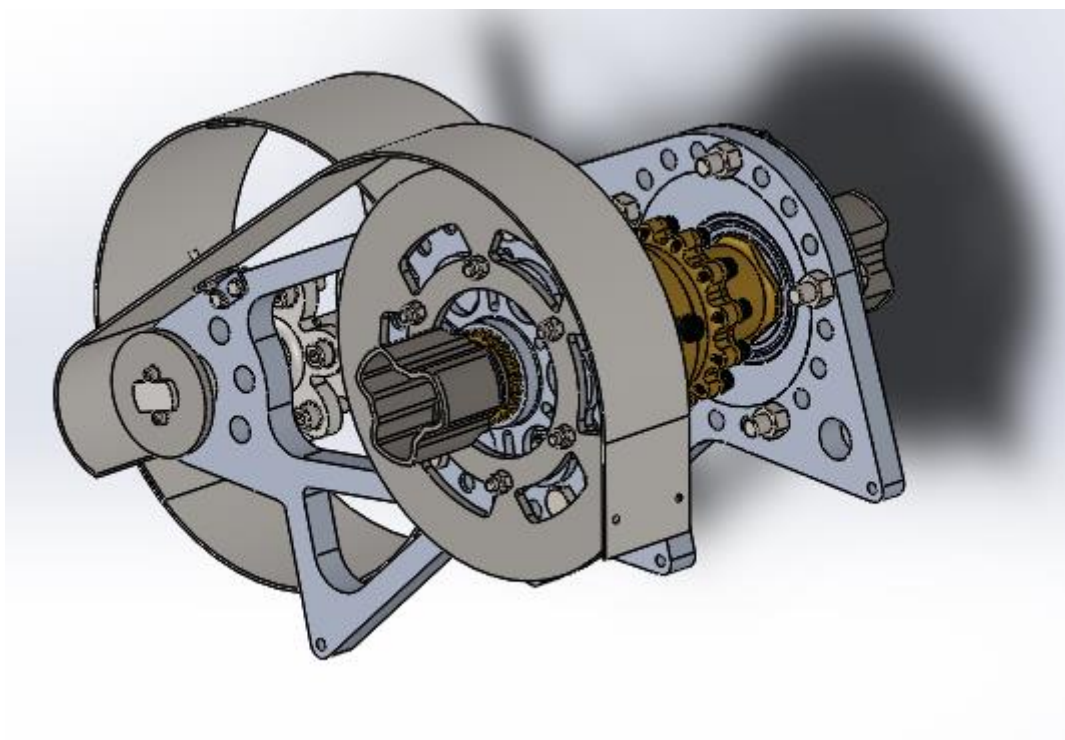


Figura 77: conjunto de la transmisión

6. CONCLUSIONES

Se han cumplido la mayoría de los objetivos propuestos para este proyecto, se ha conseguido unificar el soporte del diferencial y del motor y se ha hecho la abertura para el eje de salida del motor para poder hacerlo más largo, se ha centrado el diferencial para que los palieres queden rectos, se ha disminuido el tamaño del porta coronas para reducir su peso y se ha hecho más alargado para llegar desde el hueco para el circlip del Drexler hasta el propio diferencial, se ha reducido considerablemente el tamaño de la corona desde 50 dientes hasta 38, reduciendo la relación de transmisión también. Todas estas reducciones han servido para contribuir desde el departamento de transmisión al objetivo de conseguir un coche pequeño, compacto y ligero. Todas las piezas se han hecho mirando cuidadosamente el reglamento de Formula Student 2019, por lo que se espera que no haya ningún problema a este respecto. En definitiva se han cumplido todos los objetivos menos el de hacer un piñón más pequeño puesto que a la hora de fabricarlo no se encontraron fabricantes con piñones de 11 dientes en el catálogo, lo que no se esperaba que fuese un problema, pero se ha unido a que la máquina de corte por agua del laboratorio de ICAI se encuentra estropeada durante la fase de fabricación por lo que no sabemos si seremos capaces de fabricarla antes de llegar a la competición de Montmeló.

7. PLANES FUTUROS

Los planes a futuro más cercanos de este proyecto son presentar el monoplaça habiendo ensamblado todas las partes de cada uno de los departamentos para consolidar un vehículo tipo Formula que sea capaz de presentarse a la competición de Formula Student de Montmeló y pasar las pruebas técnicas para que el monoplaça pueda participar en las pruebas dinámicas, en estas pruebas pondremos realmente a prueba el monoplaça y con los resultados obtenidos se hará una valoración de lo que se debe mejorar para el año siguiente, apoyándonos de nuevo en las valoraciones que nos dan los jueces y de conocer de primera mano cómo funcionan otros equipos y consejos que dan, por de este modo, con el paso de los años, llegar a tener un vehículo que sea realmente competitivo y que el ISC se consolide como un equipo fuerte en la competición de Formula Student y podamos participar también fuera de España.

8. BIBLIOGRAFIA

[OSUN17] Fernando Osuna Moyano, “Diseño, fabricación y ensamblaje de un sistema de transmisión de potencia en un monoplaça de competición tipo Formula Student”, Escuela técnica superior de ingeniería Universidad de Sevilla, Sevilla 2017

[ABRI17] Pablo Abril Martín, “Diseño, fabricación e integración de la transmisión de un vehículo de competición tipo Formula Student”, Escuela técnica superior de ingeniería ICAI, Madrid 2017

[LEON14] León Ramalle, Andrés, “Modelización del comportamiento de un diferencial LSD Drexler de un vehículo tipo monoplaça”, universidad politécnica de Madrid, Madrid 2014

“Formula Student rules 2019”

<https://www.fsaonline.com/cdsweb/gen/DownloadDocument.aspx?DocumentID=a17857ef-0d18-48e3-b059-f9fd3ad63a5d>

ISC, OneDrive del ISC Formula Student.

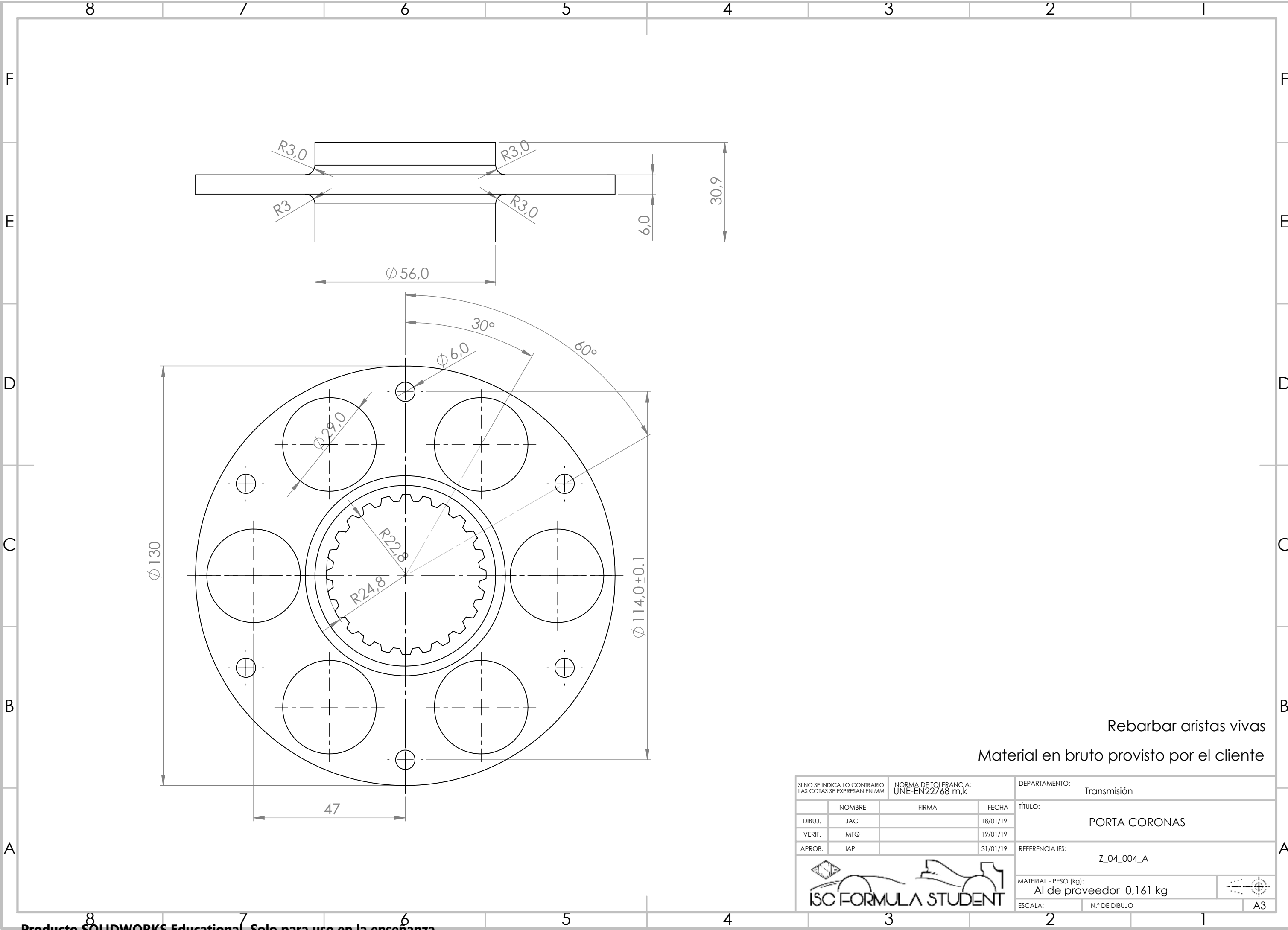
[https://upcomillas-](https://upcomillas-my.sharepoint.com/personal/201303047_alu_comillas_edu/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2F201303047%5Falu%5Fcomillas%5Fedu%2FDocuments%2FISC%20Formula%20Student%2018%2D19&parent=)

[my.sharepoint.com/personal/201303047_alu_comillas_edu/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2F201303047%5Falu%5Fcomillas%5Fedu%2FDocuments%2FISC%20Formula%20Student%2018%2D19&parent=](https://upcomillas-my.sharepoint.com/personal/201303047_alu_comillas_edu/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2F201303047%5Falu%5Fcomillas%5Fedu%2FDocuments%2FISC%20Formula%20Student%2018%2D19&parent=)

9. Planos

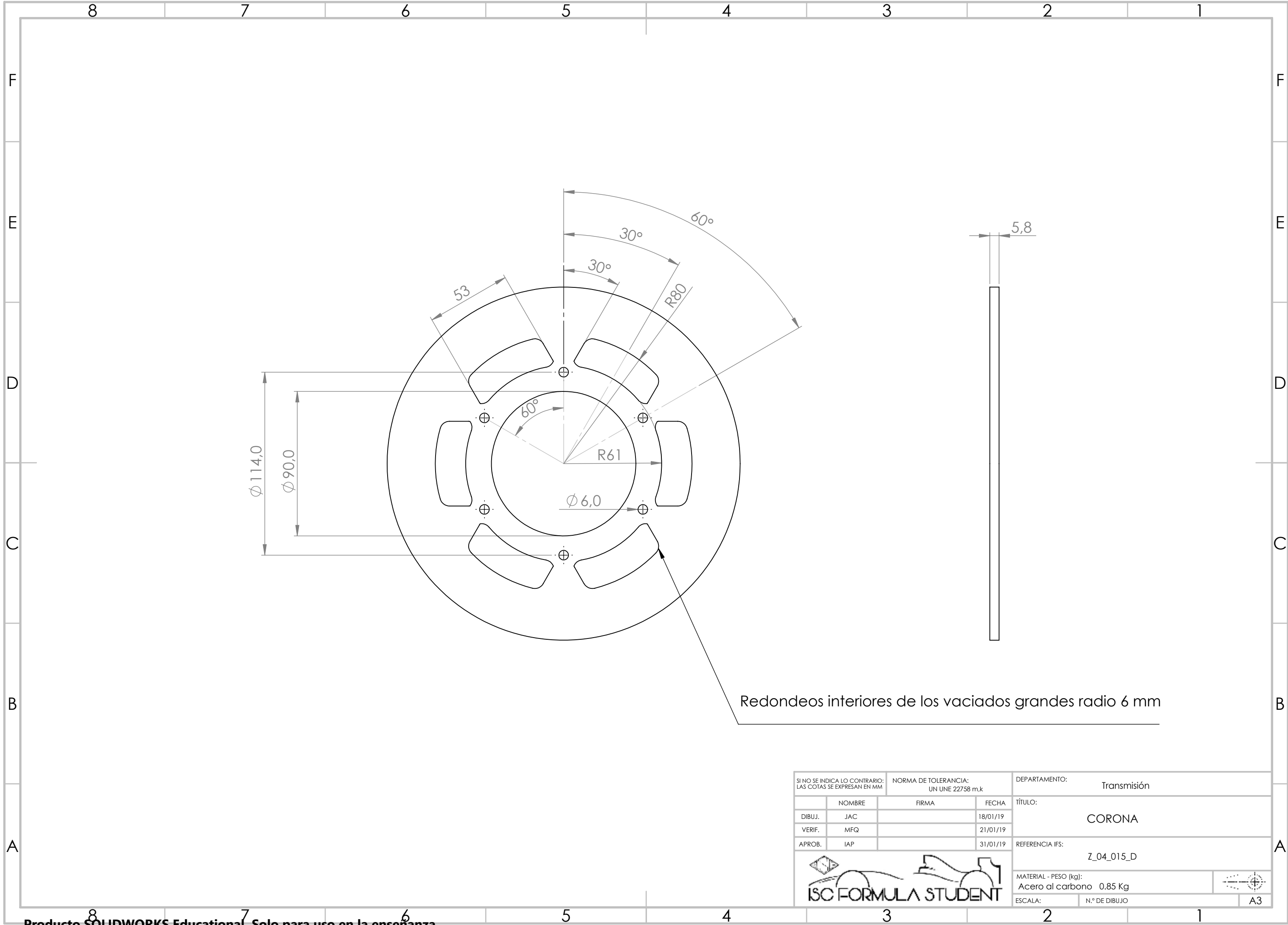
Casi todas las piezas se mandarían a fabricar a fabricantes externos debido a la poca disponibilidad de las maquinas del laboratorio de fabricación necesarias, unido al poco conocimiento de manejo de dichas maquinas por parte de los integrantes del equipo, ya que las maquinas que se necesitarían, como por ejemplo la de corte por agua, no se han manejado con anterioridad. La única excepción es el piñón unido al eje de salida del motor, ya que, al querer realizarlo tan pequeño, con tan solo 11 dientes, ningún fabricante tenía en su catálogo piñones como el buscado. Por este motivo se decidió fabricar esta pieza en el laboratorio, por medio de corte por agua, lo que hace necesario que este piñón sea de acero, a pesar del desconocimiento de la máquina, lo que esperábamos que no fuese problema con la ayuda de algún profesor de la universidad pero se tuvo la mala suerte de que se estropeará la máquina de corte por agua para cuando llegó el bloque bruto de acero, por lo que esta pieza nos ha sido imposible fabricarla finalmente.

El resto de las piezas se fabrican por medio de fabricantes externos a los que se le envían los planos adjuntos a continuación.

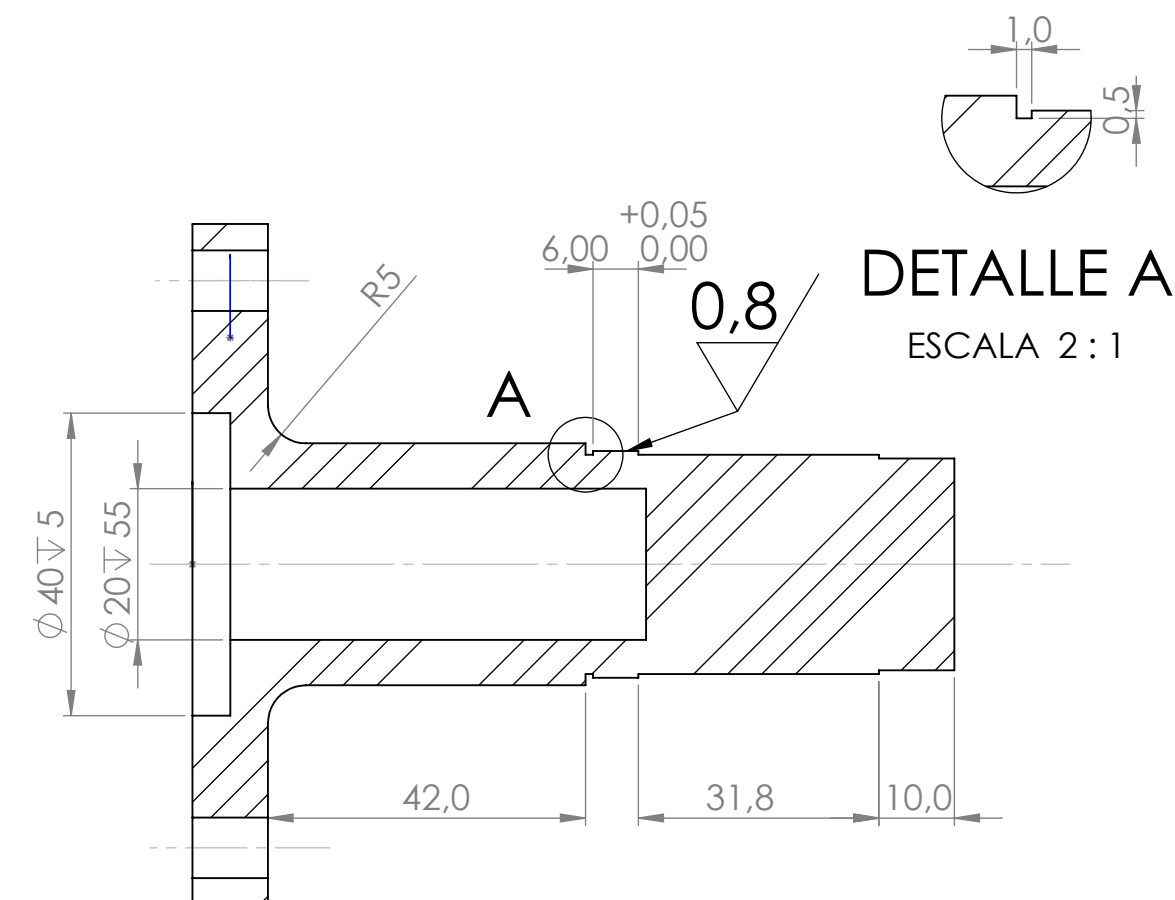
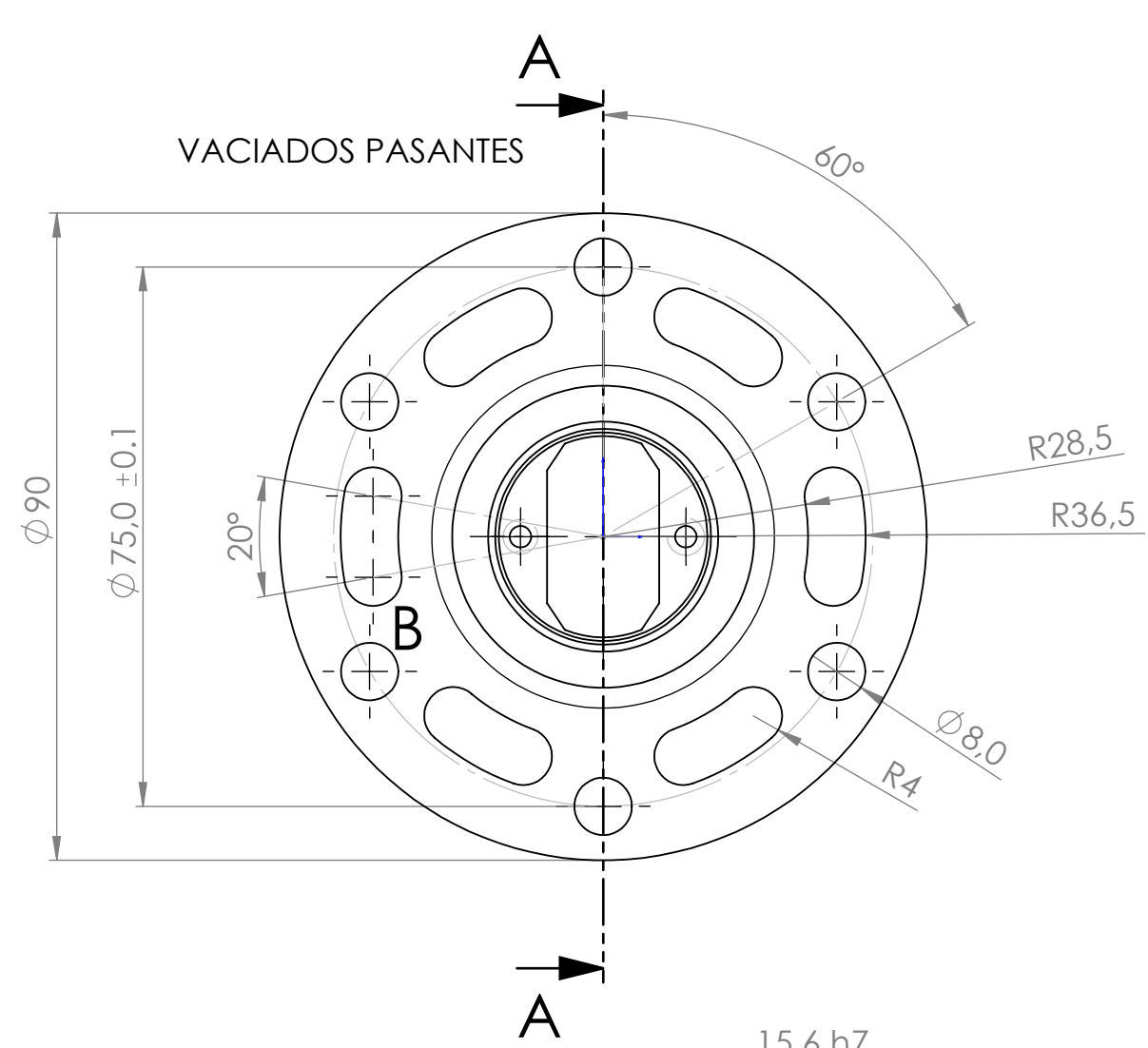


Rebarbar aristas vivas
Material en bruto provisto por el cliente

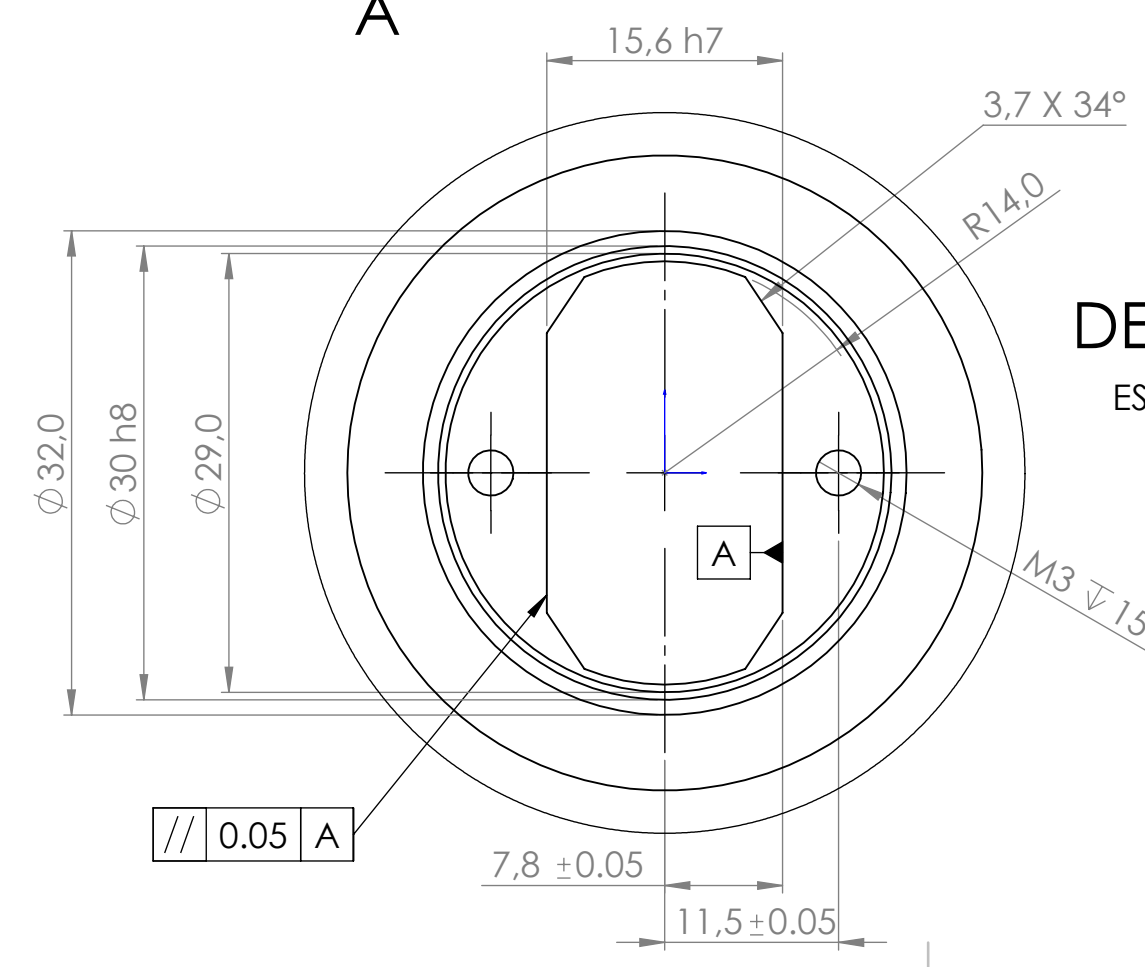
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		NORMA DE TOLERANCIA: UNE-EN22768 m,k		DEPARTAMENTO: Transmisión	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: PORTA CORONAS	
DIBUJ.	JAC		18/01/19		
VERIF.	MFQ		19/01/19		
APROB.	IAP		31/01/19	REFERENCIA IFS: Z_04_004_A	
				MATERIAL - PESO (kg): Al de proveedor 0,161 kg	
				ESCALA:	N.º DE DIBUJO
					A3



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		NORMA DE TOLERANCIA: UN UNE 22758 m.k		DEPARTAMENTO: Transmisión	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: CORONA	
DIBUJ.	JAC		18/01/19		
VERIF.	MFQ		21/01/19		
APROB.	IAP		31/01/19	REFERENCIA IFS: Z_04_015_D	
				MATERIAL - PESO (kg): Acero al carbono 0.85 Kg	
				ESCALA:	N.º DE DIBUJO A3



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1

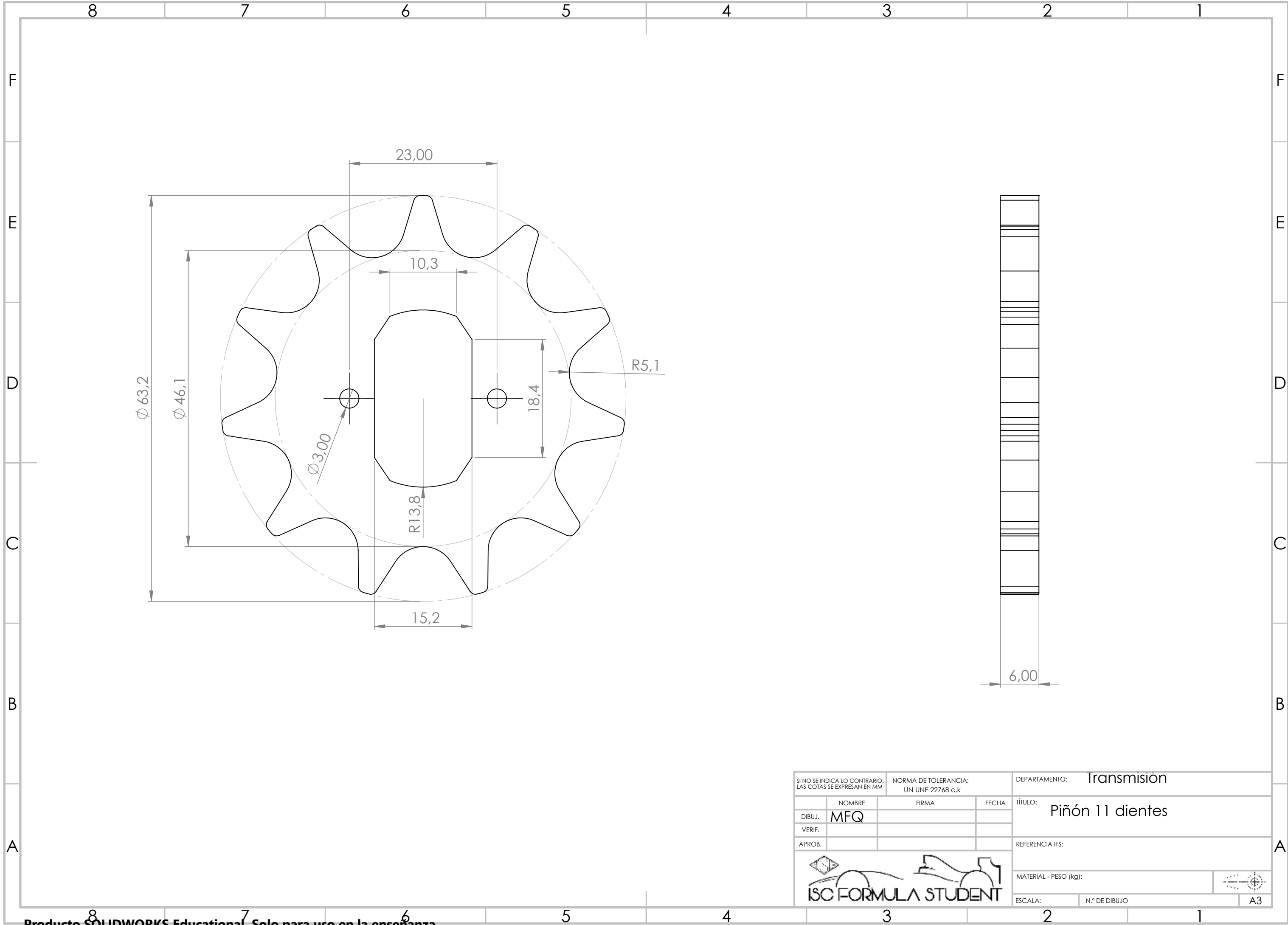


DETALLE B
ESCALA 2 : 1

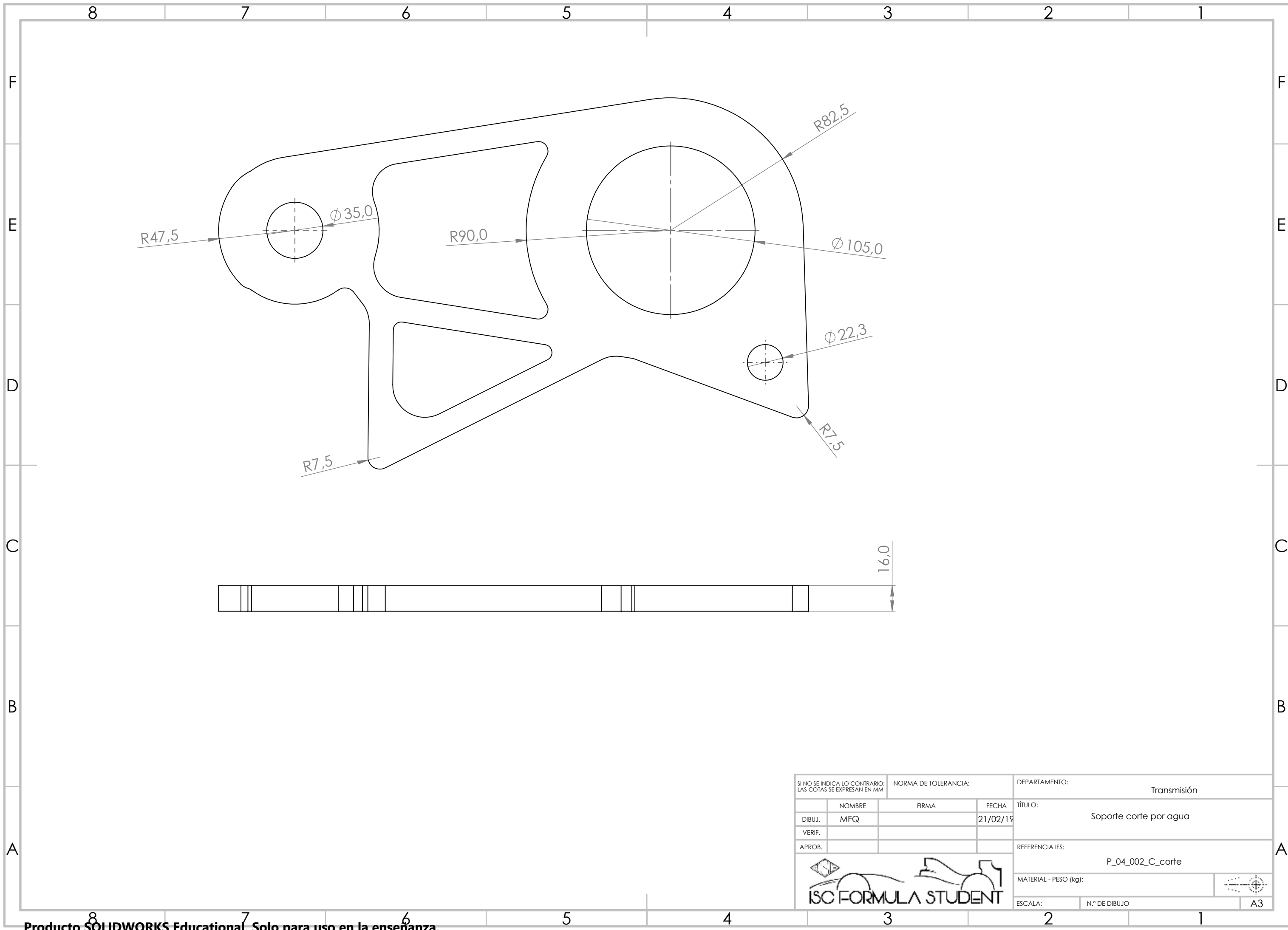
Cotas	Límites
15,6 h7	15,582
	15,600
30 h8	29,967
	30,000

Romper aristas vivas y rebarbar

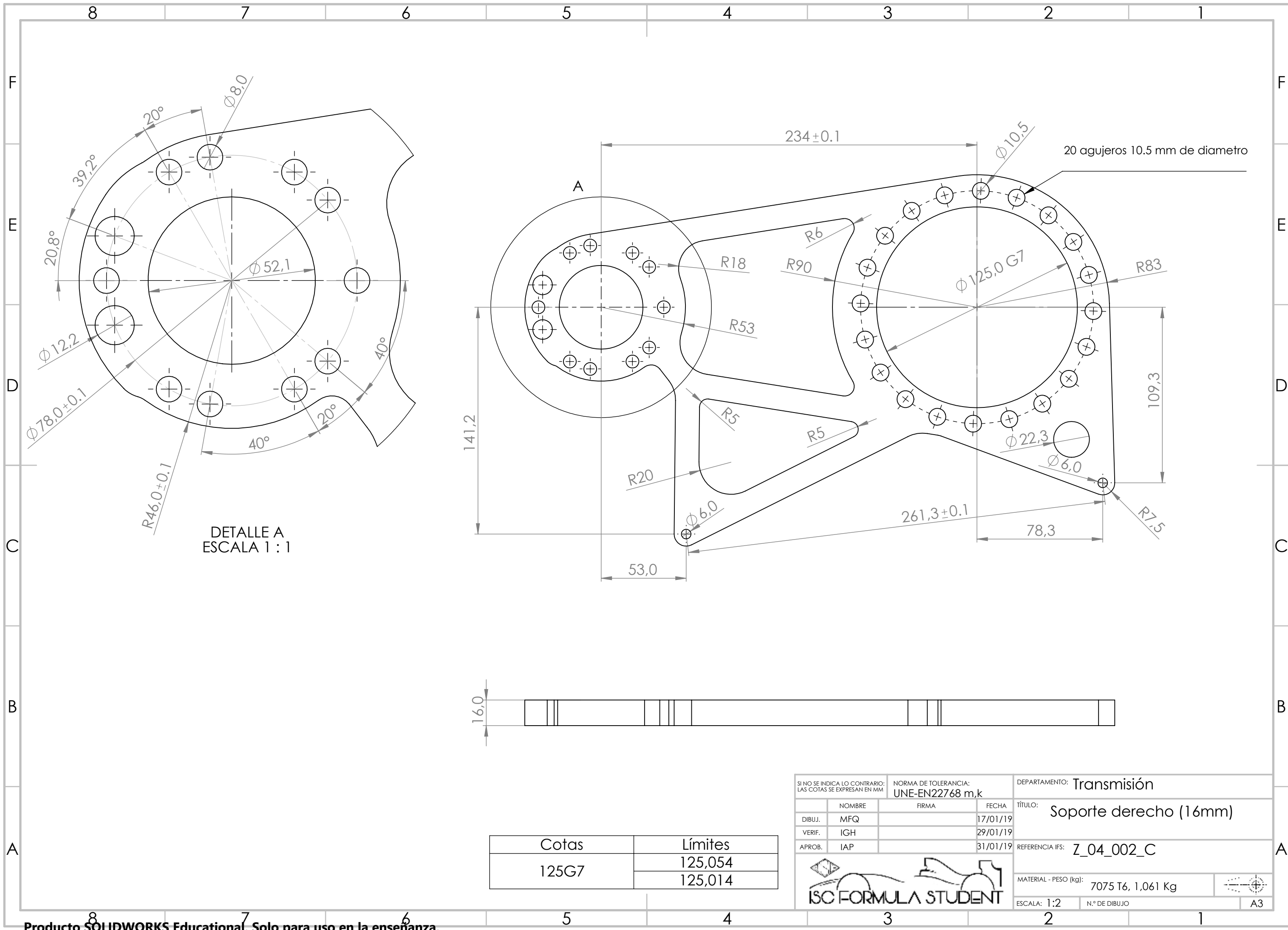
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		NORMA DE TOLERANCIA: UNE EN 22768 m.k		DEPARTAMENTO: Transmisión	
Nombre	Firma	FIRMA	Fecha	TÍTULO:	
Dibuj	IVR		18/01/19	Eje de salida del motor	
VERIF.	MFQ		19/01/19		
APROB.	IAP		31/01/19	REFERENCIAS:	
ISC FORMULA STUDENT				Z_04_001_I	
				MATERIAL-PESO(Kg): S235 0.724kg	
				ESCALA: 1:1 Nº DE DIBUJO: 1 A3	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		NORMA DE TOLERANCIA: UN UNE 22768 c,k		DEPARTAMENTO: Transmisión	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Piñón 11 dientes	
DIBUJ.	MFQ				
VERIF.					
APROB.				REFERENCIA IFS:	
				MATERIAL - PESO (kg):	
				ESCALA:	N.º DE DIBUJO
				A3	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		NORMA DE TOLERANCIA:		DEPARTAMENTO: Transmisión	
DIBUJ.	NOMBRE MFQ	FIRMA	FECHA 21/02/19	TÍTULO: Soporte corte por agua	
VERIF.					
APROB.				REFERENCIA IFS: P_04_002_C_corte	
				MATERIAL - PESO (kg):	
				ESCALA: N.º DE DIBUJO	
				A3	



Cotas	Límites
125G7	125,054
	125,014

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		NORMA DE TOLERANCIA: UNE-EN22768 m,k		DEPARTAMENTO: Transmisión	
DIBUJ.	MFQ	FIRMA	FECHA	TÍTULO: Soporte derecho (16mm)	
VERIF.	IGH		29/01/19		
APROB.	IAP		31/01/19	REFERENCIA IFS: Z_04_002_C	
ISC FORMULA STUDENT				MATERIAL - PESO (kg): 7075 T6, 1,061 Kg	
				ESCALA: 1:2	N.º DE DIBUJO A3