ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL CHASIS DE UN QUAD DE COMPETICIÓN

Oscar Pavón Vela

Miguel Ángel Arizcuren Galar

Pamplona, 27 de Junio de 2012

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa

Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

ÍNDICE

Pág.

TABLAS……4

FIGURAS……..5

0.- INTRODUCCIÓN……...7

1.- EL QUAD……9

1.1.- Descripción del quad……....9

1.2.- Historia del quad……..……10

1.3.- Partes del quad……...……..11

1.4.- Tipos de competición……...13

2.- ELECCIÓN DE MATERIAL……..18

2.1.- Acero……...……18

2.1.1.- Acero de construcción 355……..……..19

2.1.2.- Acero 4130……20

2.1.3.- Reynolds 631……20

2.1.4.- Acero 25CrMo4……21

2.1.5.- Acero T45……21

2.2.- Conclusiones……22

3.- DISEÑO DE UN CHASIS TUBULAR……..24

3.1.- Distribución de masas (ligereza)……..……26

3.2.- Criterios de rigidez……..27

3.2.1.- Rigidez a flexión……...27

3.2.2.- Rigidez torsional……...28

3.3.- Criterio sobre costes……29

3.4.- Especificaciones técnicas……30

3.5.- Diseño 3D……...……31

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

3.6.- Anclajes……43

3.6.1.- Anclajes de amortiguadores……..….44

3.6.2.- Anclaje para trapecio de la suspensión delantera……..…..46

3.6.3.- Anclajes para el motor……...47

3.6.4.- Anclajes para el basculante…….……49

3.6.5.- Anclajes para el subchasis….……49

3.6.6.- Guías para el manillar y eje de dirección……..50

3.7.- Diseño final……52

4.- CÁLCULO DE CARGAS……..53

4.1.- Ensayo de torsión…….....……..54

4.2.- Peso propio……...……..……55

4.3.- Frenada brusca……..……...……56

4.4.- Salto de 5 metros……...……..……60

5.- CÁLCULO ESTRUCTURAL MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS….……63

5.1.- Mallado……63

5.2.- Aplicación de las cargas y condiciones de contorno……....……66

5.2.1.- Ensayo de rigidez……66

5.2.2.- Peso propio……...66

5.2.3.- Frenada brusca…….……67

5.2.4.- Salto de cinco metros……...67

5.3.- Resultados……68

5.3.1.- Desplazamientos peso propio……..……68

5.3.2.- Desplazamiento frenada brusca……..…..69

5.3.3.- Desplazamiento salto de 5 metros……..……..69

5.3.4.- Rigidez……..…...70

5.3.5.- Von Mises……70

6.- MÉTODO DE FABRICACIÓN……..……74

7.- ESTUDIO ECONÓMICO……76

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

7.1.- Costos de ingeniería, equipos y programas informáticos……..….76

7.2.- Costes de fabricación……..78

7.3.- Presupuesto general……....80

7.4.- Rentabilidad……....80

8.- CONCLUSIONES……....81

9.- BIBLIOGRAFÍA……..……83

ANEXOS……84

ANEXO I: Cálculos……85

ANEXO II: Planos……..93

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

TABLAS

Tabla 1. Características de aceros

Tabla 2. Anchura máxima

Tabla 3. Alturas

Tabla 4. Distribución de pesos

Tabla 5. Fuerzas del basculante (peso propio)

Tabla 6. Fuerzas del subchasis (peso propio)

Tabla 7. Fuerzas de la suspensión delantera

Tabla 8. Fuerzas del basculante (frenada brusca)

Tabla 9. Fuerzas del subchasis (frenada brusca)

Tabla 10. Fuerzas de la suspensión delantera (frenada bruscas)

Tabla 11. Fuerzas del basculante (salto de 5 metros)

Tabla 12. Fuerzas del subchasis (salto de 5 metros)

Tabla 13. Fuerzas de la suspensión delantera (salto de 5 metros)

Tabla 14. Precios unitarios

Tabla 15. Precios totales

Tabla 16. Precios unitarios (fabricación)

Tabla 17. Precios totales (fabricación)

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

FIGURAS

Figura 1. Quad
Figura 2. Trike
Figura 3. Partes del quad
Figura 4. Chasis
Figura 5. Basculante
Figura 6. Suspensión delantera
Figura 7. Subchasis
Figura 8. Quadcross
Figura 9. Superquad
Figura 10. Quadtrial
Figura 11. Freestyle ATV
Figura 12. Pont de vaux
Figura 13. Circuito PDV
Figura 14. Chasis ejemplos
Figura 15. Flexión del chasis
Figura 16. Ensayo a torsión
Figura 17. Ancho de vía
Figura 18. Distancia entre ejes
Figura 19. Longitud total
Figura 20. Base del chasis
Figura 21. Boceto A, B, C y D
Figura 22. Perfil chasis
Figura 23. Inclinación de barras
Figura 24. Diseño 3D preliminar
Figura 25. Barras transversales
Figura 26. Vistas del chasis
Figura 27. Anclaje de amortiguadores delanteros
Figura 28. Anclajes amortiguador trasero
Figura 29. Anclajes triángulos de suspensiones

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Figura 30. Anclaje motor 1

Figura 31. Anclaje motor 2

Figura 32. Anclajes motor

Figura 33. Anclaje basculante

Figura 34. Anclaje subchasis

Figura 35. Guías de la dirección

Figura 36. Diseño final

Figura 37. Anclajes basculante y subchasis

Figura 88. Anclajes suspensión delantera

Figura 39. Anclajes basculante y subchasis

Figura 40. Anclajes suspensión delantera

Figura 41. Anclajes basculante y subchasis

Figura 42. Anclajes suspensión delantera

Figura 43. Mallado tetraédrico

Figura 44. Estructura con curvas

Figura 45. Mallado

Figura 56. Fuerzas-restricciones rigidez

Figura 57. Cargas peso propio

Figura 58. Cargas frenada brusca

Figura 59. Cargas saldo de 5 metros

Figura 60. Deformaciones peso propio

Figura 61. Deformaciones frenada brusca

Figura 62. Deformaciones salto de 5 metros

Figura 63. Peso propio

Figura 64. Frenada brusca

Figura 65. Caída de 5 metros

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

0.- INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto final de carrera, consiste en el diseño de un chasis tubular de un quad de competición, de manera que se puedan controlar todos los parámetros que conciernen al diseño para poder obtener un chasis ligero y resistente, capaz de seguir los movimientos y soportar cada bache o encontronazo que se pueda encontrar el quad por el camino y eso si, lo más económico posible. Para ello se debe elegir una combinación adecuada de los tubos que conforman el chasis, elegir los materiales más apropiados para los tubos, etc.

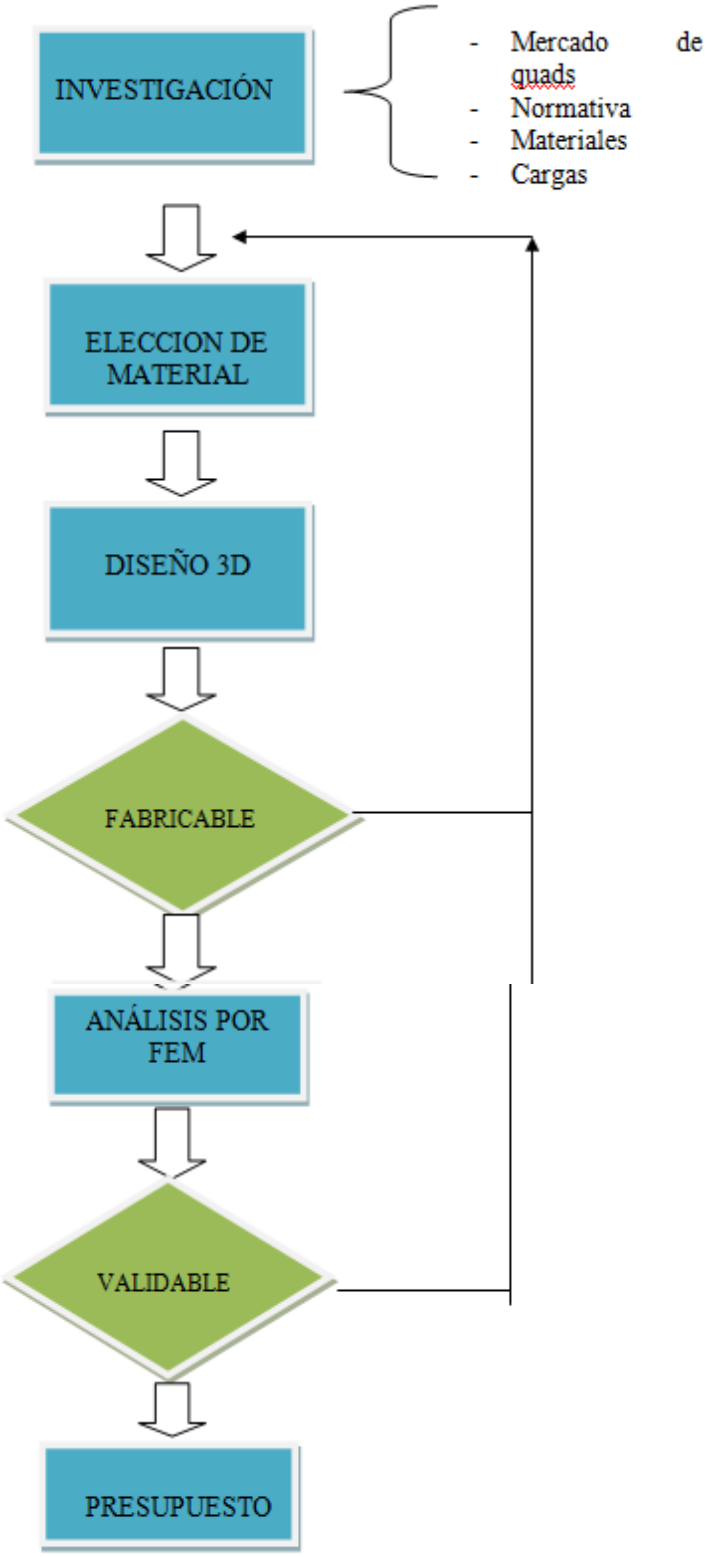
En la actualidad no hay una normativa específica sobre cómo diseñar chasis tubulares en cuanto a diseño no a competición. Existen normativas para calcular edificios, como por ejemplo el Eurocódigo. Evidentemente, un chasis no está en la misma situación que un edificio, ya que sus cargas tienen una mayor variabilidad y además su condición en el especio no es estática. En otras palabras, un chasis se mueve durante la conducción. Por ello hay que aplicarle unas cargas y unas condiciones de contorno que tenga todo ello en cuenta. Lo que se pretende es analizarlo como si fuera un edificio pero teniendo en cuenta cual es su situación en realidad

El diseño de este chasis tiene como objetivo ser válido para la participación de la carrera "Campeonato del mundo de quads PONT de VAUX", que es una prueba que nació en el año 1987 y que no ha parado de crecer año tras año. Comenzó llamándose "12 horas de Pont de Vaux" y ha pasado a llamarse "Mundial de Quad". Hoy en día es una prueba reconocida en todo el mundo y un título en Pont de Vaux se considera un campeonato del mundo.

Para poder comprobar que el diseño del chasis es válido, la estructura diseñada se ha analizado mediante un método de elementos finitos realizando diferentes análisis, como el ensayo de torsión para obtener la rigidez de la estructura, el de peso propio, frenada brusca y salto de cinco metros de altura, comprobando en cada uno de los análisis que el diseño realizado con los tubos, no rompe y soporta las cargas aplicadas.

Este proyecto se realizara siguiendo el diagrama de flujo que se muestra a continuación, donde el proyecto se divide en diferentes apartados que son, la investigación, donde se investigará todo sobre los quads, esto es, normativa, materiales, partes, cargas, etc. la elección del material, el diseño 3D, el análisis del diseño y el presupuesto. No se podrá avanzar al siguiente apartado si no se ha desarrollado primeramente el apartado anterior.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira



upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

1.- EL QUAD

1.1.- DESCRIPCIÓN DEL QUAD

Para empezar a introducirse en el mundillo de los quads, primeramente se debe conocer lo que en realidad es un quad.

Los quad o ATV (all-terrain vehicle) como también son conocidos, son vehículos especiales de cuatro o más ruedas, fabricado para usos específicos muy concretos, con utilización fundamentalmente fuera de carretera, Proceden de los primero triciclos o hat-trick, los cuales disponían de dos ruedas traseras y una delantera, con los consecuentes problemas de estabilidad y seguridad, además de la falta de propulsor. Disponen de un sistema de dirección mediante manillar en el que el conductor va sentado a horcajadas y dotado de un sistema de tracción adecuado al uso fuera de carretera y cuya velocidad puede estar limitada en función de sus características técnicas o uso.

figura 1. Quad

Los Quads se podían situar en un espacio intermedio entre una moto de todo terreno y un vehículo 4 x 4, en cuanto a sus posibilidades de recorrido.

Son vehículos de gran fiabilidad y respuesta a distintas exigencias de diferentes tipos de usuarios. Potencia, agilidad y resistencia son algunas de las principales cualidades de estas máquinas. Los ATV/Quads son multifuncionales, en cuanto a sus prestaciones y pueden vérseles trepando angostos caminos, circulando sobre superficies arenosas, cruzando arroyos o atravesando frondosos bosques. La ligereza y fiabilidad de estos vehículos los hacen capaces de superar terrenos donde otros vehículos no deben adentrarse o no pueden hacerlo. Un potente motor y una flexible combinación de la caja de cambios automática son características deseables para este tipo de vehículos.

Su único inconveniente como en los vehículos 4 x 4 son las inclinaciones laterales, que solo puede mantener hasta unos ciertos grados

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

1.2.- HISTORIA DEL QUADS

Hace más de treinta años, los distribuidores de motocicletas, cansados de experimentar cómo dejaban de vender sus vehículos cuando llegaba el mal tiempo, solicitaron a los fabricantes que creasen un producto capaz de circular en condiciones climáticas adversas. Aunque las primeras ideas se basaban en el concepto de motocicleta por su fácil manejabilidad y poco peso, estos proyectos se descartaron ya que las dos ruedas nunca representarían seguridad ante terrenos de baja adherencia. Fue por este motivo, por el que comenzaron a pensar en vehículos de tres, cuatro y hasta seis ruedas.

Se trataba por tanto de unir en un mismo concepto la manejabilidad de una motocicleta y la estabilidad de los vehículos de más de dos ruedas. Así, fue como en 1970 nacieron los triciclos motorizados, popularmente conocidos como Trike. Este tipo de vehículos se popularizaron de tal forma que en pocos años se habían extendido de forma masiva en Estados Unidos. Sin embargo, fue precisamente esta masificación la causa de la desaparición de los 'trikes'. El elevado número de accidentes, bien por exceso de velocidad o bien por la inexperiencia de sus conductores, llevó a la *Asociación de Consumidores Norteamericana* a presentar una serie de informes ante el gobierno estadounidense confirmando la peligrosidad de estos vehículos. Este hecho, obligó a los fabricantes a alcanzar un acuerdo para que se dejaran de fabricar los Trikes en 1988.

Figura 2. Trike

A pesar de que los Trikers murieron a finales de los 80, su "alma" se reencarnó en otro tipo de vehículo. Fue ahí cuando surgieron los ATV/Quads, principalmente en zonas agrícolas. Estos vehículos mantenían por tanto la filosofía de las motocicletas (ligeros y manejables) al mismo tiempo que eran válidos en cualquier terreno y ante las condiciones climatológicas más duras. Inicialmente, los ATV fueron utilizados en labores de ayuda del trabajo diario, para pasar unos años después a convertirse también en vehículos destinados al ocio y a la competición.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Su aparición estuvo ligada inicialmente al mercado norteamericano y japonés. En la actualidad, en Estados Unidos circulan alrededor de siete millones de vehículos. En España, el mercado ha multiplicado sus ventas en los últimos cinco años, llegando a comercializar cerca de 8000 unidades en 2002, la mayoría de ellos destinados al ocio y al uso deportivo. Fue entonces, cuando se empezó a diferenciar el uso agrícola y recreacional (ATV) del más próximo a la competición (Quad).

1.3.- PARTES DEL QUAD

Uno de los principales problemas del usuario cuando observa un quad es el desconocimiento de las partes que lo integran. Este desconocimiento normalmente proviene del poco interés por estudiar sus partes, debido a la complejidad de alguna de las partes integrantes. En este apartado no se pretende enseñar ni describir todas las partes del quad al detalle, si no que, se hará una breve descripción de aquellos componentes del conjunto del quad que son necesarios conocer para seguir el desarrollo de este proyecto, pero antes de esta breve descripción, en la siguiente imagen se puede ver como van colocadas alguna de estas piezas sobre el chasis:

Figura 3. partes del quad

- Chasis: El chasis de un vehículo es la estructura en la que se montan y sujetan los demás componente que forman parte del vehículo. Soporta sus cargas y ofrece una resistente protección en caso de accidente. La información sobre el chasis se ampliará en apartados siguientes, ya que es el objeto a diseñar en este proyecto.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

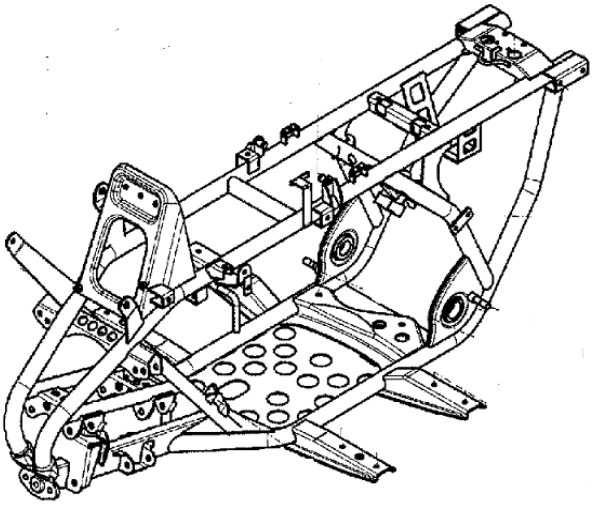


Figura 4. chasis

- Basculante: Es la parte del quad que une el chasis con el eje rígido donde van alojadas las dos ruedas traseras del vehículo. Éste pivota alrededor del chasis unido a un amortiguador, que en conjunto forman la suspensión trasera del quad. El basculante también es el encargado de sostener la transmisión que transmite la potencia del motor al eje trasero mediante un sistema de piñón y cadena.

Figura 5. Basculante, amortiguador y transmisión

- Suspensión delantera: Es la suspensión que se sitúa en el tren delantero, esta suspensión consta de dos trapecios uno superior y otro inferior, de forma triangular por lo general, que unen las ruedas delanteras con el chasis y un amortiguador que une el chasis con el trapecio inferior anteriormente mencionado. El objetivo de esta suspensión como toda suspensión es absorber las irregularidades del terreno, mantener el contacto entre vehículo y suelo y facilitar la conducción del piloto durante la carrera.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Figura 6. Suspensión delantera

- Subchasis: Se trata de una prolongación del chasis, que se une al chasis en la parte posterior mediante tornillos y sobre el cual se sitúa el asiento del piloto.

Figura 7. Subchasis

Como se ha mencionado al principio de este apartado estas no son todas las partes de las que consta el quad pero si son las partes más importantes o las que más se van a tener en cuenta a la hora de diseñar el chasis de éste proyecto

1.4.- TIPOS DE COMPETICIONES

Hay que analizar previamente las diferentes formas de competir con quads existentes hoy en día, dado que el chasis del quad a diseñar será el chasis de un quad de competición.

Hoy en día existen varias modalidades diferentes de competir con estos vehículos. Estas competiciones, vienen a ser muy parecidas a las que se realizan con las motocicletas. Estas competiciones son: Quad Cross, Superquad, Quad Trial y Freestyle ATV.

- Quad Cross: El quad cross es una disciplina de motociclismo que se desarrolla en circuitos sin pavimentar con saltos grandes, en la que los

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

distintos participantes disputan una carrera con el objetivo de finalizar en primera posición en la meta.

Combina la velocidad con la destreza necesaria para controlar la quad ante las irregularidades del terreno, con curvas cerradas, montículos, baches y cambios de rasante, y sobre una superficie de tierra que, generalmente, se encuentra embarrada con la finalidad de evitar el peligro que supone el polvo por lo que se suele regar todo el circuito antes de cada carrera. Todo ello hace que en las carreras de motocross se sucedan saltos y derrapes.

El quad cross demanda mucha resistencia y fortaleza física del piloto. Un quad de cross de competición es capaz de desarrollar una aceleración en tramos cortos comparable a los mejores automóviles deportivos, sin la comodidad de ir sentado y sobre terreno muy áspero; esto deriva en un trabajo constante de todos los músculos del cuerpo, en especial de los brazos y espalda.

Figura 8. Quadcross

- Superquad: es una modalidad de motociclismo semejante al supermoto pero que se disputa mediante cuatrimotos en vez de motocicletas normales. Por tanto, se realiza sobre una pista de karting pavimentada donde se le acopla un tramo de tierra que ocupa un 20-30% del recorrido y algún que otro salto o dubbie, pero sin exceso de ellos.

  Esta especialidad requiere otra técnica diferente a la del quadcross, ya que no deben afrontar numerosos saltos en la pista, pero sí curvas de diferentes tipos. Además, la falta de peralte exige que el piloto se incline hacia el lado interno para evitar que el vehículo vuelque. La zona de tierra de esta especialidad también contiene saltos, pero no son igual de grandes que los que podemos encontrar en el QuadCross. En el superquad, las máquinas están preparadas principalmente para asfalto, lo que genera que al llegar a la zona de tierra con saltos, la cosa se complica bastante más al llevar unos amortiguadores bajos y un despeje al suelo menor.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Figura 9. Superquad

- Quad Trial: El Quad Trial es una disciplina en la que los pilotos deben superar obstáculos sin tocar el suelo con el cuerpo ni caerse. Las habilidades esenciales son el equilibrio y la planificación de los movimientos para avanzar en el recorrido.

  El trial se disputa en zonas naturales, por lo que los obstáculos pueden ser piedras, troncos de árboles, arroyos y barrancos. Aunque también en algunas competiciones denominadas Indoor se disputan en recintos cerrados con obstáculos artificiales.

Figura 10. Quadtrial

- Freestyle ATV: El Freestyle ATV o lo que es lo mismo "Estilo libre con quad", es una de las modalidades más espectaculares del Freestyle. Los pilotos vuelan a más de 10 metros de altura y varios metros de longitud, en el tiempo que están suspendidos en el aire deben ejecutar alguna figura. Esta modalidad tiene mucho riesgo ya que los pilotos vuelan a muchos metros de altura con sus aparatos de cuatro ruedas y de más de 200 kilos. Los trucos más comunes son el Heel Cleaker, Superman, Bar Hop, incluso hay algunos pilotos que ejecutan un Back Flip.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Figura 11. Freestyle ATV

En la actualizad, España goza de una muy buena salud en cuanto a competiciones de quad se refiere, existen competiciones de quad en todas las disciplinas anteriormente mencionadas, siendo la de quad cross la más popular entre los quatreros españoles, la cual tiene incluso un campeonato de España oficial anual que se divide en varias carreras en diferentes zonas de la geografía española. Debido a que esta modalidad de competición es la que más afición atrae y en la que más competiciones diferentes se realizan, es por lo que se ha optado diseñar un chasis para una competición de quad cross.

Entre las diferentes competiciones de quad cross que hay alrededor del mundo, se ha pensado en diseñar un chasis adecuado para competir en la competición "MAXXIS PONT DE VAUX" (PDV). Una prueba que nació en el año 1987 en la población francesa de Pont De Vaux próxima a Lyon y que no ha parado de crecer año tras año. Simplemente el poder participar en esta carrera, ya da prestigio al piloto que la realiza.

Figura 12. PONT DE VAUX

Comenzó llamandose "12 horas de Pont de Vaux" y ha pasado a llamarse "Mundial de Quad". No es un ejercicio de marketing, sino realidades. Es la máxima

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

competición deportiva del "12:00", es una competición reconocida en todo el mundo y un título en Pont de Vaux se considera como una victoria en un campeonato del mundo.

El circuito de PDV, es un circuito más largo de lo que en España estamos habituados a ver. Se trata de un circuito de 3750 metros de longitud y una anchura que varía entre 8 y 13 metros y un desnivel acumulada de 15 metros. Está dividido en dos zonas la primera mas técnica con mucha curva y algún salto y la otra zona más rápida con la recta más larga del circuito de 555 metros de longitud.

Figura 13. Circuito PDV

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

2.- ELECCIÓN DE MATERIAL

A la hora de la elección del material para la construcción del diseño del quad, la primera pregunta que se ha de hacer es si hay alguna otra alternativa al acero, y la verdad es que si, podrían utilizar materiales como el aluminio o el titanio, bueno en realidad se podría hacer casi de cualquier material. Pero a la hora de elegir el material hay que tener en cuenta también el coste, el comportamiento mecánico y las posibilidades de moldeabilidad que tiene.

El aluminio es un material que se podría utilizar para alguna parte del chasis pero no para toda la estructura dado que este material en forma tubular soldado no aguantaría las cargas a las que suele estar sometida esta estructura.

El titanio es un material con una muy buena relación fuerza/peso pero lo que hace que este material no sea el adecuado para la realización de esta estructura es que la soldabilidad es muy complicada y a la vez es un material caro en comparación con otros materiales.

Rechazando estos dos materiales analizados se ha optado por elegir un acero ya que poseen las siguientes ventas respecto al resto de materiales:

- Su precio es relativamente bajo
- Su soldabilidad es buena
- Es un material dúctil
- Su módulo de elasticidad es superior al de muchos otros materiales, como por ejemplo el titanio y el aluminio, con lo que el tamaño de la sección del tubo necesario para tener una misma rigidez es menor.

También hay que decidir a la hora de elegir el material si se necesita un material acabado en caliente o conformado en frío. Los perfiles tubulares conformados en frío se sueldan siempre, y los perfiles tubulares acabados en caliente, aunque la mayoría se suelda, pueden no presentar costura. Entonces para el caso de la construcción de un chasis tubular lo más usual es utilizar perfiles tubulares conformados en frío.

2.1.- ACERO

Las aleaciones de hierro, son las aleaciones más comunes utilizadas en la construcción de este tipo de estructuras. El acero es una solución sólida del hierro y el carbono. Es llamado una solución porque el carbono es disuelto en el hierro. El hierro es el disolvente y el carbono es la solución.

Cuando se adhiere carbono al hierro, las temperaturas son alteradas. Cuando mas carbono se adhiere (hasta cierto punto), más baja la temperatura de fase. El carbono también crea nuevas fases que existen en el hierro puro. La perlita es una mezcla de cementita (Fe_3C) y ferrita. La mayor cantidad de carbono que puede ser disuelto es

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

austenita en un 0.80%. A esto se le llama "eutéctico". Otras aleaciones pueden ser descriptas como aleaciones autecticas. Estas aleaciones contienen la máxima cantidad del elemento de aleación que puede ser disuelto en un material paterno.

En cuanto mas carbono es adherido (por encima del 0.20%), más perlita es el acero, hasta 0.80%. Por encima de 0.80%, se obtienen carburos. De hecho, si el acero contiene menos del 0.20% de carbono, todo lo que se puede obtener es ferrita. Si el acero contiene 0.40% de carbono, se obtiene perlita y ferrita. Si el acero contiene 0.90% de carbono, se obtienen perlita y carburos.

Para interpretar la química de un acero conociendo sus grados, se utiliza la siguiente regla: Aceros con aleación de carbono simple 10xx. El 10 es acero de carbono simple y las xx son el contenido de carbono. Ejemplo., 1030 contiene un 0.30% de carbono. Los aceros de grado 10 también contienen Mn, P, y Si. Los dos últimos números de todos los grados de acero designan el contenido de carbono. E.g., 4130 contiene 0.30% de carbono.

Una vez que se ha conocido lo que es un acero y decidido que se empleara un acero como material para el chasis, analizaremos tres posibles aceros que se cree que pueden funcionar mejor para el diseño del chasis del quad. Los aceros a analizar son los siguientes: acero de construcción 355, acero 4130 cromo-molibdeno, Reynolds 531, acero 25CrMo4 y acero T45.

2.1.1.- ACERO DE CONSTRUCCIÓN 355

Estos aceros son los típicos aceros de construcción utilizados en arquitectura en general. Se trata de un material extremadamente barato pero con unas propiedades un tanto limitadas. Posee una rigidez alta, al igual que todos los aceros, pero la resistencia y la tensión que aguantan queda muy lejos de ser la adecuada para soportar las enormes cargas que a las que está sometido el chasis del quad a diseñar.

A pesar de todo esto mencionado, no tiene porque ser descartado este material ya que con una buena colocación de los tubos y un diseño adecuado por parte del diseñador se podría obtener una estructura del chasis capaz de resistir las cargas y tensiones a las que va a estar sometido. Esto es solo en teoría, ya que a la hora de la verdad, nadie con cabeza realizaría este tipo de estructura con un acero como éste, porque para conseguir la misma resistencia que se conseguiría con un acero de alta resistencia, las cantidades de acero necesario serían mucho mayores, ya que habría que aumentar los diámetros y las secciones de los tubos, lo que supone un incremento considerable del peso. A pesar de los inconvenientes que puede llegar a tener este acero, no se descartara hasta hacer la comparación con los otros aceros que se analizaran al final de este apartado.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

2.1.2.- ACERO 4130

El objetivo de este tipo de aleaciones Cromo-Molibdeno no es más que proveer al material de una fuerza suplementaria mientras se mantiene su soldabilidad así como la capacidad de deformación en frío, no siendo tampoco demasiado sensible al corte y a formarse muescas. Son aleaciones con poco contenido en carbono un 0.30 por ciento de contenido de carbono concretamente. Este es un valor que se considera próximo al máximo para soldar con facilidad. Aleaciones con más del 0.30 por ciento de carbono serian muy difíciles de soldar sin la posibilidad de rupturas en las juntas de soldaduras. Otra forma seria aumentar el contenido de carbono y a la vez aumentar el manganeso para contrarrestar el efecto.

4130 es la aleación de acero de media resistencia. Su bajo precio refleja la relativa simplicidad de fabricación que puede llevarse a cabo en menos pasos que en aceros parecidos. Un proceso de producción típico de este acero sería el siguiente: recocido del material sin tratar a 720º C, laminado consiguiendo una reducción de área al 37%, recocido a 720º C y una segunda pasada con una reducción de área hasta el 36% y finalmente un temple a 550º C.

La mayor parte de este material se fabrica en Estados Unidos, Canadá, Méjico, Europa, Australia y Brasil en diferentes variables tales como, barras, varas, tubos placas, láminas, fundido y forjado. Utilizado para hacer varas de conexión automotriz chasis de montaje de motores, ejes, accesorios, cojinetes, engrasajes, tornillos, cilindros de gas, componentes aeronáuticos… El problema del 4130 es que hay que asegurarse de que tenga suficiente ductilidad ya que en las antiguas especificaciones se daba un valor mínimo de 10% de elongación, lo cual no lo hace muy apropiado para trabajos en frío.

2.1.3.- REYNOLDS 631

Este acero, es un acero fabricado por la empresa británica Reynolds, su composición química está formada por carbono 0,14-0,18%, manganeso 1,6-1,8%, cromo 1,9-2,1%, molibdeno 0,45-0,60%, silicio 0,15-0,30 y cobre max. 0,2% además de silicio, fósforo, azufre, níquel, titanio y aluminio en pequeñas cantidades..

La interacción entre todos estos elementos mencionados, dan como resultado aleaciones con una estructura de grano fino que se forma mediante un enfriamiento por aire a diferencia de otros aceros a los que se les aplica un tratamiento térmico final como es el "temple" (enfriamiento rápido en agua o aceite) como forma de enfriamiento. Esto da a lugar a un material con muy buenas propiedades mecánicas, un acero de alta resistencia en fase bainítica.

Se trata de un material que tiene muy buena disposición para ser trabajado en frío especialmente indicado para estructuras soldadas debido a su óptima soldabilidad mediante soldadura T.I.G. Apenas se produce distorsión y las tensiones internas que se

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

dan por la soldadura son bastante escasas. Además la resistencia que se pierde debido al proceso de soldadura es casi insignificante

En la práctica es un material muy utilizado en el ciclismo, proporcionando marcos resistentes, duraderos y confortables. Pero el Reynolds 631 también se puede utilizar para chasis de coches deportivos, unidades de suspensión, chasis de motocicletas, etc. en cualquiera de estas aplicaciones no debería ser necesario aliviar la zona de la soldadura.

2.1.4.- ACERO 25CrMo4

Se trata de un acero aleado al CrMo con una elevada tenacidad y una buena soldabilidad para máquinas y el sector de la automoción.

Una aleación con una composición muy parecida al 4130, salvo en que utiliza un porcentaje menor de carbono por lo que ayuda a la hora de la soldadura. Es un material moderadamente caro utilizado, no solo en el sector de la automoción como se ha mencionado sino que tiene muchas aplicaciones en el sector de la aviación a los que proporciona una alta dureza.

Hay alguna opción más barata como es la opción comercial 1.7218 que suministra el material laminado y normalizado. Es una opción menos cara además que mantiene unas propiedades muy buenas similares a la de 4130 incluso reduciendo esa fragilidad a la hora de la soldadura. Sin embargo, ha habido un poco de inconsistencia en lo que se ha denominado tubo normalizado, de ahí que los suministradores estén tomando cartas en el asunto.

2.1.5.- ACERO T45

Nos encontramos ante un acero al carbono-manganeso con una composición habitual de 0,2% de carbono y 1,5% de manganeso. Se ha usado habitualmente desde hace tiempo en aviación para trabajos de reparación por su ligereza y del mismo modo es una opción adecuada para nuestros requerimientos.

El acero T45 fue formulado especialmente para estructuras soldadas y a las que les proporciona una alta resistencia. Los tubos de T45 tienen al menos un 18% de elongación por lo que se comporta extremadamente bien a la hora de doblarse. Esto no quiere decir que sea fácil de doblar, ni mucho menos, ya que estamos hablando de tubos muy resistentes.

Este material es realmente caro debido a que para alcanzar los valores de resistencia y ductilidad tan buenos que tiene debe de sufrir trabajo en frío continuados

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

además de tratamientos térmicos como por ejemplo un templado que al final es lo que se paga.

El T45 es, por tanto un muy buen material para usarse en todo tipo de estructuras soldadas, no habiendo problemas de soldadura ni de ningún tipo. La mayor limitación que tiene es una caída de alrededor del 30% de las tensiones admisibles tras la soldadura. De todas formas, y pese a esta limitación, las estructuras soldadas de este tipo de material siguen siendo más resistentes que la mayoría de aceros templados sin soldar.

2.2.- CONCLUSIÓN

Una ve vistos las posibilidades de materiales que se pueden utilizar en el diseño del chasis, llega la hora de la elección de éste. Como se ha mencionado al principio del capítulo, se utilizara un acero como material, pero ¿cuál de los cinco posibles aceros analizados es el más adecuado para el uso que se le quiere dar?

La elección del acero es complicada, ya que cualquiera de los cinco aceros analizados son aptos para el diseño del chasis, asique su elección dependerá de pequeños detalles. En la siguiente tabla se han recogido los datos más característicos de cada uno de los aceros, límite elástico, tensión de rotura, soldabilidad… de esta forma se pueden ver los datos de todos los materiales conjuntamente para poder analizar y elegir y así facilitar la elección de éste.

ACEROS	355	Reynolds 631	4130	T45	25CrMo4
Límite elástico mímimo (MPa)	400	950	930	770	680
Precio	barato	medio	Medio/ bajo	Precio caro	Muy caro
% elongación mínima	17%	10%	15%	--	13%
Soldabilidad	optima	Muy buena	Regular	Buena	Buena

Tabla 1. Características de aceros

Echando un vistazo a la tabla se puede ver como se ha dicho a principio de este apartado que cualquiera de los cinco aceros que aparecen en la tabla puede ser válidos

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

para el uso que se le quiere dar. Por eso primero se han descartado aquellos aceros que se ha creído que son menos aptos.

El primero que se ha descartado ha sido el acero de construcción 355 por las razones que se han mencionado cuando se ha hablado de este material, esto es, que no es un acero de alta resistencia, lo que supone que habría que aumentar las dimensiones de los tubos a utilizar en la estructura con sus correspondientes inconvenientes de aumento de peso, volumen, etc.

El otro acero que se descarta en un principio es el acero 25CrMo4, para descartar este material se ha mirado el precio que es muy elevado comparado con el resto y la otra característica a la que se ha recurrido para descartar este acero ha sido el del límite elástico que a pesar de no ser malo, hay otros aceros que lo mejoran.

El siguiente acero que se descarta para utilizar en la estructura es el acero 4130, que a pesar de ser un acero de alta resistencia, existen dos aceros en la lista de los analizados que tienen una resistencia superior y también debido a que su cantidad de carbono está próximo al límite del máximo permitido para una buena soldadura, por lo que la soldadura de este acero no será mala pero tampoco la ideal.

Una vez hecha una primera criba de los cinco aceros analizados queda tomar la decisión final. La elección está entre los siguientes dos aceros: acero Reynolds 631 y el acero T45. Cualquiera de las dos opciones sería una buena elección, debido a esto la elección de uno de estos dos materiales se dará por pequeños detalles y quizá menos objetivos que los que se pueden ver en la tabla.

Finalmente se ha optado por el acero Reynolds 631. Las razones principales por las que se ha decidido utilizar tubos de este tipo de aleación y no de acero T45 son básicamente las siguientes:

- Es un material que puede trabajarse en frío con facilidad, lo que supone mayor facilidad para doblarse.
- El proceso de soldadura es relativamente sencillo y eficaz, obteniendo resultados realmente buenos
- El precio del material también es aceptable, no es barato pero si más barato que el acero T45.
- Se trata de un acero que se ha empleado con anterioridad para la construcción de chasis de competición, especialmente de bicis, pero que se puede adaptar de igual manera para el de un quad.
- Posee de una alta resistencia, la cual se cree que es suficiente para soportar las cargas a las que va a estar sometida la estructura. Lo que supone no tener que usar tubos de diámetros y espesores mayores que empeorarían el diseño.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

- La empresa Reynolds ofrece gran variedad de diámetros y grosores de tubos, lo cual nos facilitara la elección del tamaño de estos que se usarán en el diseño.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

3.- DISEÑO DE UN CHASIS TUBULAR

Las funciones principales de un chasis de un quad son principalmente de dos tipos: estáticas y dinámicas. Desde el punto de vista estático el chasis debe de ser capaz de soportar el peso de toda pieza o parte del quad que va unida al chasis así como el del piloto, del motor, la transmisión con el basculante, del subchasis, suspensiones y de todos los demás accesorios necesarios para el correcto funcionamiento, como pueden ser los depósitos de aceite y gasolina. La otra función es la que se refiere a la dinámica de la moto, el chasis junto a otros elementos como las ruedas son los encargados de proporcionar una buena adherencia, manejabilidad y confort.

Para que el quad sea capaz de seguir la dirección deseada, el chasis debe ser capaz de proporcionar una buena resistencia a la flexión y a la torsión. Además debe conseguir mantener las ruedas en el mismo plano y que no se modifiquen los parámetros geométricos impuestos, ante las fuerzas a las que será sometido debido a las irregularidades de la pista sobre la que se ruede, la propia transmisión, las frenadas y las curvas.

Otra de las características que debe cumplir un quad es la manejabilidad y el mantener el contacto de los neumáticos con la pista. Para estos dos aspectos la rigidez del chasis toma un papel importante, siendo muchas veces las necesidades contradictorias entre sí. Por lo tanto, para realizar un buen diseño habrá que buscar la mejor relación entre ambas.

En resumidas palabras, los parámetros fundamentarles que se tendrán en cuanta a la hora de diseñar el chasis son las siguientes:

- Ligereza: Se puede mejorar mucho la potencia y rendimiento de un motor, pero debe ir acompañado de un chasis ligero, en otro caso se está desperdiciando potencia. Por otro lado, el chasis es uno de los elementos más pesados del vehículo, y un aumento de ligereza proporciona una disminución de consumo importante.

- Rigidez. Sin duda éste es el parámetro fundamental de funcionamiento del chasis. Es importante conseguir una estructura resistente a impactos para la protección del piloto, siendo la rigidez el factor del chasis que más influye en el comportamiento del vehículo en pista.

- Economía. La fabricación debe ser económicamente viable. Los chasis con presupuestos elevados son únicamente utilizados en series cortas de vehículos de gama alta

Una vez desarrollados los requerimientos funcionales que el chasis debe cumplir se ha empezado a diseñar los distintos componentes y los mecanismos de funcionamiento de la estructura. Para ello se han hecho bocetos con el fin de explicar mejor las ideas y teniendo como base de partida diferentes chasis en especial el chasis de un Yamaha Raptor 660.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

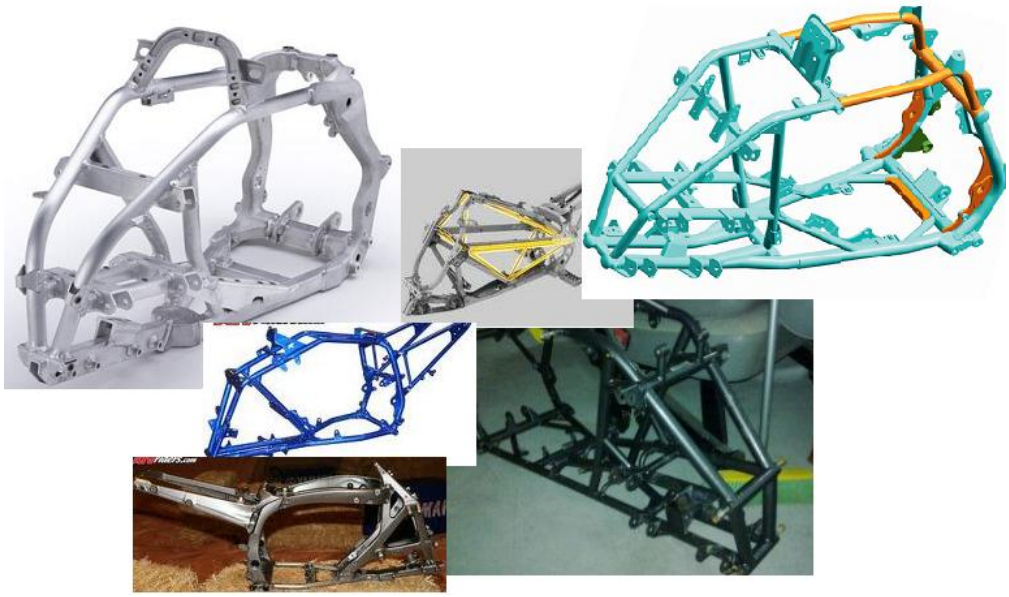


Figura 14. Chasis ejemplo

Para un correcto diseño del chasis se divide el diseño en dos partes principales. La primera consiste en la configuración geométrica de las barras que unirán el basculantes y el amortiguador trasero con los trapecios y amortiguador delanteros. Las cotas de estos puntos vienen determinadas por el estudio dinámico del comportamiento del quad. La función principal del chasis es unir estos puntos de forma que permanezcan invariables. Por lo tanto se tratará de realizar un chasis lo más rígido posible, sin descuidar el peso, siguiendo los parámetros fundamentales que se han considerado como necesarios para un buen diseño.

La otra parte del diseño se centrará en el diseño de todos los anclajes y uniones, debido a que el chasis es el encargado de soportar todas las fuerzas que se ejercen sobre el quad, estas deberán ser estudiadas en detalle para luego poder utilizarlas en un análisis de elementos finitos. Además la necesidad de permitir la variabilidad de ciertas cotas hará que cada uno de los anclajes deba ser estudiado de forma individual.

3.1.- DISTRIBUCIÓN DE MASAS (LIGEREZA)

El centro de gravedad de un vehículo juega un papel fundamental en el comportamiento del mismo sobre la pista. Para evitar el balanceo en las suspensiones y mejorar el comportamiento global del quad el centro de gravedad ha de estar lo más bajo posible. El chasis es uno de las masas más importantes del vehículo pero por otro lado el diseño del chasis determina donde estarán situados el resto de componentes del monoplaza.

Otro dato a tener en cuenta sobre la disposición de las masas en el vehículo es que en una vista lateral del mismo el centro de gravedad ha de estar por delante del

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

centro de presiones. Esto garantiza una mayor estabilidad por ejemplo ante una racha de viento lateral. En este caso no se dispone de una gran libertad a la hora de situar las masas dentro del vehículo, por lo que la variación posible de la posición del centro de gravedad es bastante limitada. De este modo corresponderá al diseño aerodinámico asegurarse de que el centro de presiones está en un punto posterior.

3.2.- CRITERIOS DE RIGIDEZ

Se puede estimar que la rigidez es una función lineal que se podría definir según la fórmula:

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

Dónde *K* representa el parámetro de rigidez, *P* la fuerza ejercida sobra la estructura y Δ el desplazamiento.

En el mundo del automovilístico se emplea la rigidez a torsión, por lo que la fórmula anterior se modifica a la siguiente fórmula:

$$K = \frac{M}{\theta}$$

Es el caso más común y normalmente se utilizan las unidades: [N · m / grado def], siendo lo más habitual expresar el par ejercido para un grado de deformación.

Es cierto que esta relación puede no ser lineal y variar dependiendo de la θ, pero en este caso θ se considera pequeño, con lo que K se tomará simplemente como un parámetro que mide el comportamiento del chasis, no como un valor que se pueda extrapolar a momentos o a θ mayores.

En un principio se podría pensar en estudiar dos tipos de rigidez en un chasis, la rigidez a flexión y la rigidez a torsión.

3.2.1.- RIGIDEZA FLEXIÓN

El coche va a estar sometido a unas cargas que tienden a deformar el chasis cuando el automóvil se apoya en las suspensiones como se muestra en la Figura 15.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

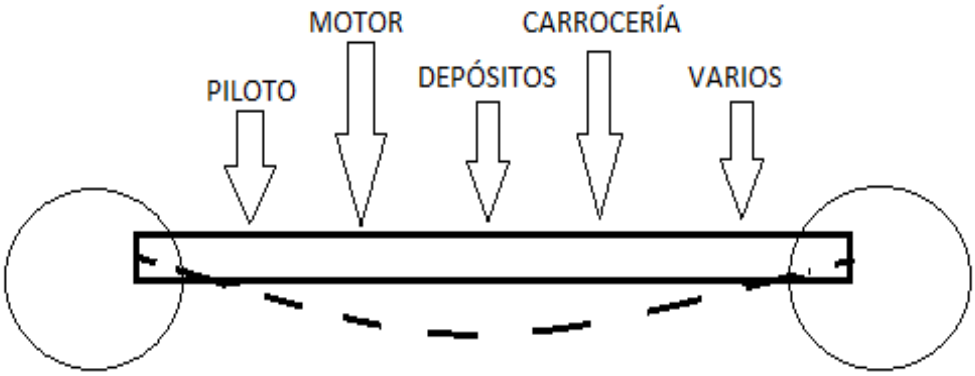


Figura 15. Flexión del chasis.

Sin embargo la experiencia de los fabricantes de chasis de diferentes vehículos admite que no es un problema a la hora del diseño, ya que al ser más restrictivas las condiciones de rigidez torsional, si se sobrepasan éstas, se superan también los requisitos de rigidez a flexión.

3.2.2.- RIGIDEZ TORSIONAL

La rigidez a torsión se suele expresar en N・m de par por grado de deformación. En el caso de la fórmula SAE (carrera de monoplazas) los resultados de los equipos que llevan más tiempo en la competición se sitúan alrededor de los 4000 N・m / grado en el caso del quad se exigirá una rigidez igual o mayor a la de un monoplaza de la formula SAE. Esta medida se toma al ejercer un par torsor en la zona delantera del quad donde está la suspensión delantera y fijando los desplazamientos en la parte trasera del quad, como se puede observar en la Figura 16 donde la zona marcada en rojo tiene bloqueado los desplazamientos y la zona gris es donde se ejerce el momento torsor.

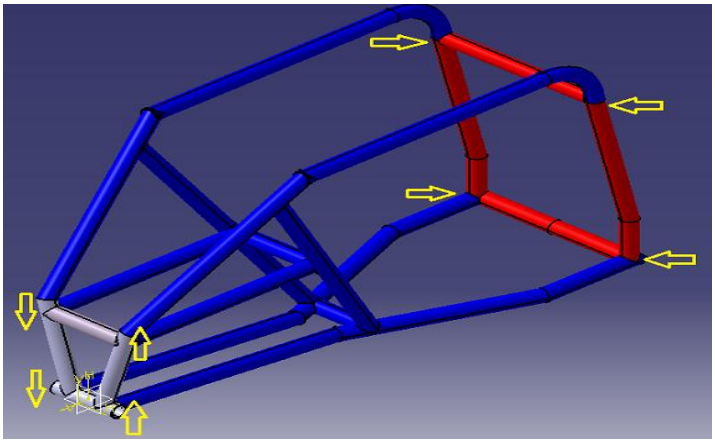


Figura 16. Ensayo a torsión.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

En los coches convencionales se pueden encontrar valores muy dispares de rigidez, desde los 7000 N・m / grado hasta los 40000 N・m / grado de un Rolls-Royce Phantom [W 16]. Por otro lado los avances dan grandes resultados también en el mundo de las carreras, pasando de los chasis tubulares del Porsche 917 con 6000 N・m / grado al monocasco con 20000 N・m / grado del Porsche 962.

Estos esfuerzos son causados por las suspensiones cuando el coche entra en una curva, o pasa por un bache, alcanzando su valor máximo cuando la rueda de un lado del vehículo pasa por encima de un piano a una velocidad alta.

Para la construcción del chasis hay que tener en cuenta distintos factores tales como:

- Hay elementos que no forman parte directa de la estructura pero que aportan rigidez y han de tenerse en cuenta, como por ejemplo el motor.

- Los elementos que suponen las mayores masas del vehículo deben anclarse en los nodos

- Si se utilizan materiales con menor módulo elástico E como el aluminio o el titanio en tubos que estén sometidos a esfuerzos importantes, será necesario aumentar la sección o cambiar la disposición de algunas barras para conseguir los mismos resultados, aunque en este caso solo usaremos acero.

3.3.- CRITERIOS SOBRE COSTES

Al contar con un presupuesto limitado es necesario disminuir los costes lo máximo posible. Por ello se han tomado las siguientes medidas:

- La selección de tubos variará lo menos posible en cuanto a diámetros se refiere.

- Se intentará reducir el número de uniones con gran número de tubos, ya que cuántos más tubos haya se dificulta más la soldadura.

- Dada la gran gama de precios que existe para tubos ya sean de acero como otros materiales, será importante escoger un tipo de material que cumpla requisitos y que a su vez no dispare los costes y sobrepase las previsiones. En este caso, siguiendo también estos criterios se ha elegido el acero Reynolds 631 que será el que se utilizará en el diseño a menos que el análisis por medio de elementos finitos diga lo contrario.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

- Los perfiles escogidos serán aquellos que se encuentren en las empresas distribuidoras en stock permanente. Por un lado tiene un coste más bajo y además no es necesario encargarlos, con el retraso y problemas que esto podría conllevar. Esto lo conseguimos con la empresa británica Reynodls que proporciona gran variedad de diámetros de tubos.

3.4.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

A la hora de realizar este diseño, hay que tener en cuenta las especificaciones técnicas que la organización de la carrera "Pont de Vaux" describe en su reglamento, si bien estas especificaciones o exigencias por parte de la organización no son demasiadas, si son de obligado cumplimiento:

- Como la intención es utilizar esta chasis en la competición Clase 2, el quad puede ser de dos o cuatro tiempos y deberá tener una cilindrada superior a 450 cm3.

- La anchura del quad no deberá exceder los 1300mm.

- El nivel sonoro según la normativa vigente, no deberá exceder de 93 decibelios (13m/s).

- Los parachoques delanteros y traseros deberán estar dentro de la normativa deportiva vigente.

- La placa posterior trasera, no deberá ser de un material rígido no metálico por razones de seguridad, esta deberá tener unas dimensiones de 28cm de largo y 23cm de alto y estará colocada a una distancia mínima de 140mm del suelo.

- Los chasis que se utilizarán en esta prueba no pueden ser modificados, estos es, de ser el original ofrecido por el fabricante y tan solo se permiten refuerzos siempre y cuando no modifiquen las medidas originales ni la geometría del mismo.

En cuanto a configuración geométrica nos referimos a la disposición de las barras que unen la suspensión delantera con el anclaje del basculante. Se tratará de optimizar la geometría que proporcione una mayor rigidez en ciertos ensayos. Sin entrar con demasiada profundidad en cómo se producen algunos anclajes como los de los depósitos, carrocería, etc.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Cuanto mayor sea el numero de barras y mayor sea el espesor de estas conseguiremos una mayor rigidez. El problema es que un aumento excesivo del peso del chasis penaliza en carrera por lo que para nuestro caso buscamos una relación rigidez/peso adecuada.

3.5.- DISEÑO 3D

Existe gran variedad de programas de diseño asistido por ordenador (CAD) con los cuales se puede realizar el diseño del chasis del quad en tres dimensiones. De entre esta amplia gama de posibles programas a utilizar se ha optado por elegir el programa "CATIA V5". ¿Por qué catia? Porque se trata de un programa utilizado por muchas empresas de automoción para el diseño de distintas partes de vehículos y también por la posibilidad que ofrece este programa para poder importar el diseño realizado en un programa de elementos finitos.

Una vez realizada la elección del programa a utilizar y antes de comenzar a utilizarlo en el diseño, hay que definir o elegir las dimensiones generales que va a tener el chasis. Como se ha mencionado con anterioridad las restricciones geométricas exigidas por la organización de la competición son escasas, únicamente limita la anchura del quad a 1300 mm, esto implica que la geometría del diseño dependerá del diseñador a pesar de esto, se tendrán en cuenta las restricciones que exige la real federación española de motociclismo para las competiciones de quadcross en España, de esta forma el chasis diseñado además de la carrera para la cual se quiere diseñar, se podrá utilizar en cualquier competición española dentro del circuito de quadcross español, las restricciones que exige esta federación tampoco son muchas pero si alguna más que en el PDV, que son las siguientes:

- Ancho de vía máximo de 1.300 mm (misma restricción que exige la PDV)

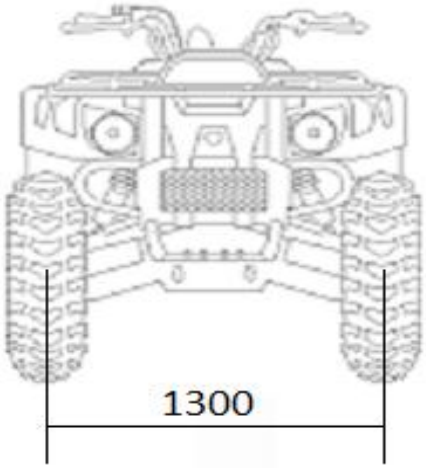


Figura 17. Ancho de vía

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

- Distancia máxima entre ejes de 1.400 mm

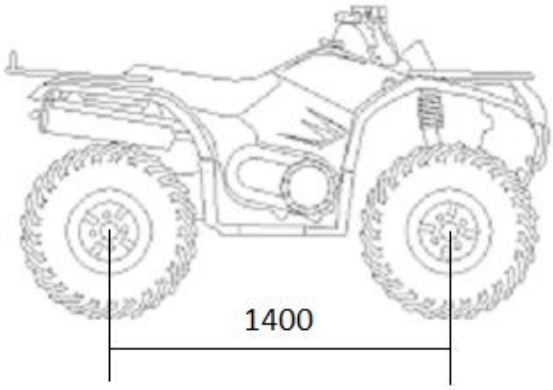


Figura 18. Distancia entre ejes

- Longitud máxima de 2.100 mm (tomando desde la parte más avanzada del quad hasta la punta trasera del mismo)

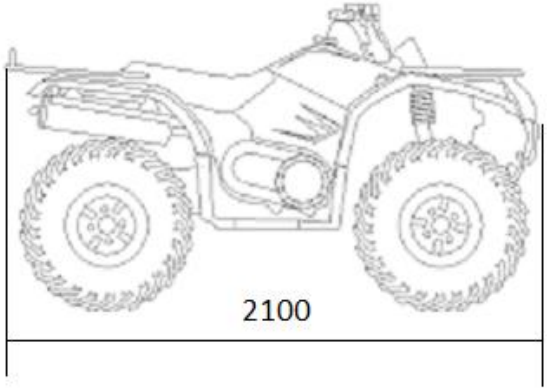


Figura 19. Longitud total

Estas restricciones tampoco son muy exigentes a la hora de diseñar, el ancho de la vía no supone mucho problema ya que para cumplir esta condición, lo que más habrá que tener en cuenta es la longitud de los triángulos superiores e inferiores de la suspensión delantera, de la misma forma la longitud total del quad tampoco restringe mucho el diseño a realizar ya que influyen mas otro elementos como el subchasis, la carcasa, la defensa delantera, etc. a diferencia de estas dos restricciones de la organización la tercera, esto es, la de la distancia entre ejes, sí que es una condición a tener en cuenta a la hora de diseñar el chasis.

La distancia entre ejes se podría aproximar a la distancia que tiene el chasis y el basculante juntos, en realidad esta distancia es menor a la distancia que hay entre los ejes pero sirve para hacerse una idea de las dimensiones que puede llegar a tener el chasis a diseñar.

Ahora bien, el basculante puede tener diferentes dimensiones, pero la gran mayoría suele rondar alrededor de los 400 mm y 500 mm de longitud, por lo que se

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

podría diseñar un chasis con una longitud aproximada que puede variar entre los 900 mm y 1000 mm. También se ha cogido como referencia la longitud del chasis de quad "Yamaha Raptor 660" que es de 1000 mm aproximadamente. Hay que tener en cuenta que este quad es de 660cc y el chasis que se quiere diseñar es para un quad de 450cc por lo que la longitud de éste será algo menor. Tras pensarlo un poco se ha optado por darle una longitud de 920 mm de longitud.

Tomada esta primera decisión, ahora queda elegir la anchura que se le va a proporcionar a la base del diseño. La forma de la base de todos los chasis que se utilizan en la competición quadcross son iguales, la parte delantera es más estrecha que la delantera a la cual se une el triángulo inferior y con consiguiente la parte trasera es más ancha con anchura suficiente para que el motor pueda alojarse en esa zona sin ningún problema de espacio.

A pesar de que la parte delantera del chasis sea más estrecha que la trasera, la anchura que pone como máxima la organización restringe la dimensión de la parte delantera, ya que con los triángulos de la suspensión trasera hacen que la parte delantera del quad sea de mayor dimensiones que la trasera. Para poder decidir estas dos anchuras se analizarán las dimensiones de otros quads de competición siempre teniendo en cuanta que no se supere la longitud del ancho de le vía de 1300 mm, los datos de los seis diferentes quad analizados son los que aparecen en la tabla siguiente:

MARCA	MODELO	ANCHURA MÁXIMA (mm)
	HONDA TRX 450	1280
	SUZUKI FT-R 450	1245
	POLARIS OUTLAW MXR450	1194
	KTM XC 540	1198
	GOES 350 S	1150
	YAMAHA YFZ-450	1240

Tabla 2. Anchura máxima

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Analizando estas anchuras máximas se puede ver que todos estos quad de competición tienen una anchura máxima entorno a 1200 mm de longitud, inferior al máximo ancho de vía de 1300 mm autorizado por la organización. Por lo que asignaremos una dimensión de 1200 mm a nuestro quad teórico. A esta distancia se le deberá quitar la anchura de las ruedas y la longitud de los triángulos de la suspensión delantera.

Los neumáticos delanteros de prácticamente todos los quad de competición tienen las dimensiones de 21-7-10 donde la primera cifra corresponde al diámetro del neumático, la segunda a la anchura del neumático y la tercera al diámetro de la llanta, todas estas medida están en pulgadas. En este momento la medida que interesa es el ancho del neumático, para poderlo restar a la anchura máxima de 1200 mm que se ha decidido anteriormente. Luego la anchura del neumático es de 7 pulgadas lo que equivale a 179 mm aproximadamente.

Por otro lado, a esta anchura máxima, hay que restarle la longitud de los triángulos de la suspensión delantera. Esta longitud varía mucho en función del modelo de triángulos que se usen, lo que implica que la anchura delantera del chasis a diseñar no está tan ajustada y se pueda diseñar a gusto del diseñador sin grandes restricciones. Una longitud media de estos triángulos puede ser de unos 350 mm o 400 mm.

Sabiendo estas dos dimensiones y restándoselas a la anchura máxima de 1200 mm que se ha considerado antes, da que la anchura delantera del chasis podría estar alrededor de los 90 mm. Como se ha dicho antes también, casi ninguna longitud que se proporcione a la anchura entraría en conflicto con lo exigido por la organización y basándose en los datos analizados de otros quads, se le otorgará a esta anchura una longitud de 80 mm.

Para la anchura de la parte posterior de la base del quad, hay que tener en cuenta las dimensiones del motor, ya que es en ese lugar donde irá alojado. Existe gran variedad de motores de diferentes dimensiones que se pueden utilizar, por ello para el diseño se ha optado por coger como referencia las dimensiones de un motor de 4T de 450cc que utiliza el quad "Yamaha YFZ 450" la dimensión principal que interesa de este motor es la anchura que anda alrededor de los 320 mm. Conocida esta dimensión se le otorgará una anchura de 350 mm a la base del chasis.

Otro detalle importante para realizar este diseño en tres dimensiones, es el diámetro de tubos que se va a utilizar. Primero se ha pedido información a cerca de diámetros y grosores de los que dispone la empresa Reynodls del acero Reynolds 631, la cual ha informado que se disponen diámetros comprendidos entre 22,2 y 44,5 mm y espesores que varían entre 0,4 y 2,2 mm.

Entre esta variedad de dimensiones disponibles por la empresa, en primer momento se optó por la utilización de tubos de 30 mm de diámetro y un espesor de 2 mm. Respecto al diámetro sí que se estaba seguro de querer esa dimensión pero en cuanto al espesor no se tenía la certeza de estar haciendo la elección adecuada. Pero a la hora de ver los tubos que esta empresa disponía en stock, se ha podido ver que la

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

elección hecha no estaba entre ellos, lo que supondría un considerable incremento en el precio. Por lo que se ha optado por cambiar esta primera decisión y elegir unas dimensiones que la empresa tenga en stock. Las dimensiones finalmente seleccionadas han sido las siguientes, diámetro de 28,4 mm y un grosor de 1,2 mm. Reynolds suministra estos tubos con una longitud de 635 mm y su precio varía en función de los tubos necesarios.

Con toda esta información recopilada de diferentes longitudes, se ha recurrido al programa Catia y se ha comenzado con el diseño de la base del chasis en tres dimensiones. Se han utilizado las dimensiones de los tubos que se han seleccionado en el catálogo de Reynolds, esto es, 28,4 mm de diámetro y 1,2 mm de espesor y dotando de una anchura delantera de 80 mm y en la parte trasera una anchura de 350 mm.

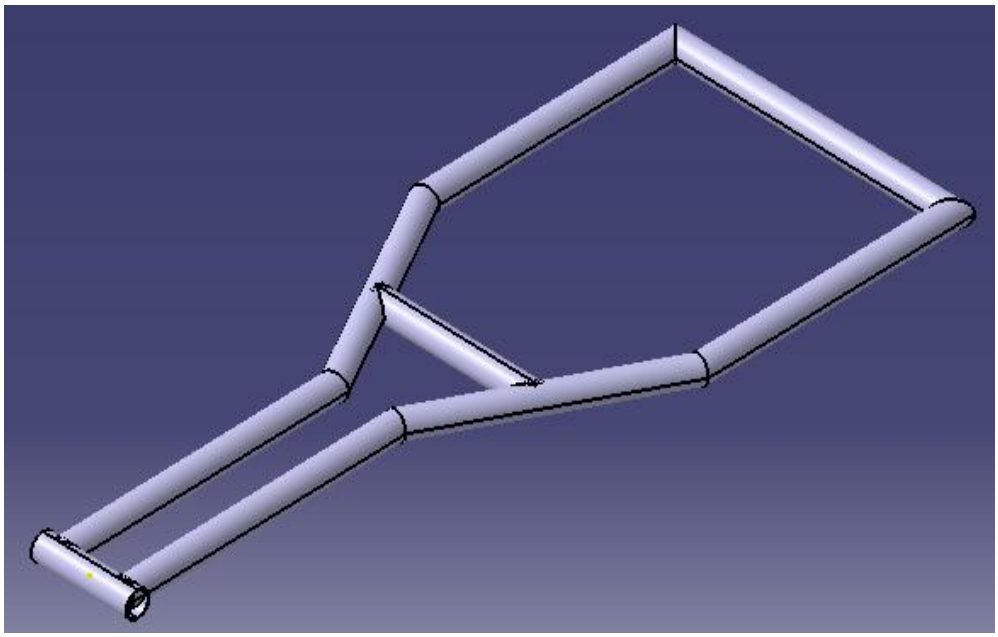


Figura 20. Base del chasis

En la imagen de arriba se puede ver como quedaría la base el chasis, se pude ver como en la parte delantera, la más estrecha, el tubo que está puesto transversalmente tiene la entrada y la salida libre, el fin de esto es que se pueda alojar bien la defensa del quad, en este tubo. Otra barra a destacar en esta imagen es la barra transversal que está en mitad de la base, esta barra tiene las mismas dimensiones que el resto de la base y el objetivo de que esta barre esté situada en ese lugar es el de dotarle de una mayor rigidez a la estructura.

Una vez que se ha diseñado la base del chasis, hay que darle altura a la estructura. Como bien se ha dicho antes la base es prácticamente igual en todo los quads únicamente varían las dimensiones y varía ligeramente la geometría. Pero el resto de las

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

barras que componen la estructura puede ser muy diferente, por ello es aquí donde el diseñador tiene más libertad a la hora de darle forma al chasis.

Primero se han hecho varios bocetos a mano, con el fin de poder analizar las diferentes posibles formas que se le pueden dar a la estructura, para estos bocetos se han tenido en cuenta chasis de diferentes modelos de quads y se han intentado combinar unos modelos con otros con el fin de dibujar una estructura útil, sencilla pero a la vez estéticamente atractiva. Los cuatro bocetos que se han dibujado son los que se pueden ver en la siguiente figura.

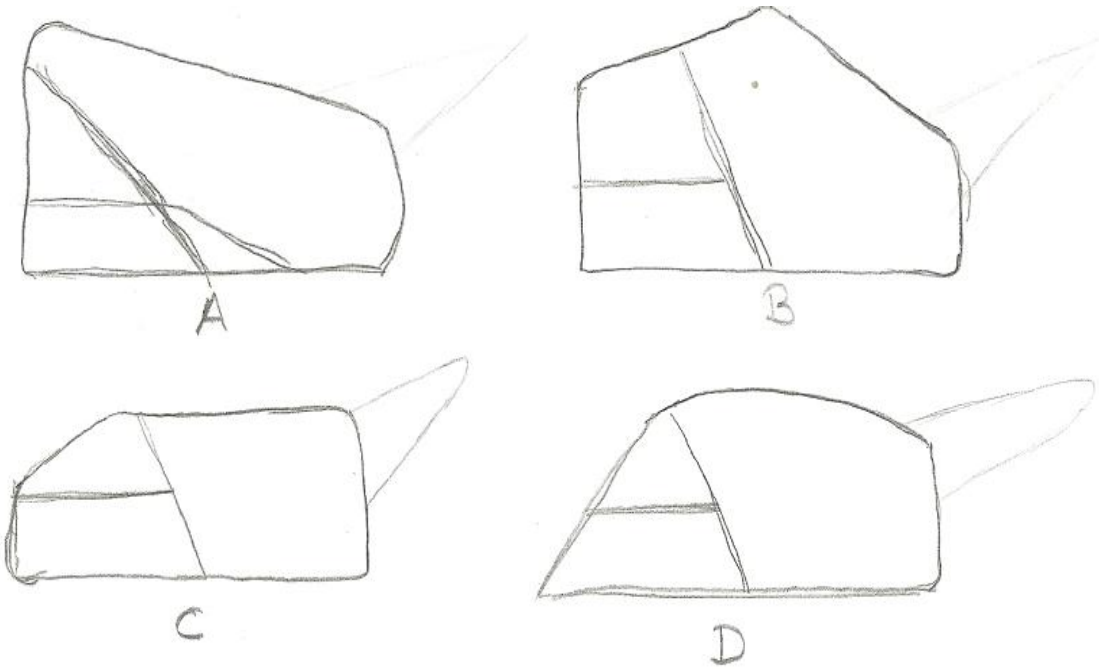


Figura 21. Boceto A, B, C y D

Estos son los cuatro bocetos que se han realizado, pero tras mucho pensarlo no se ha optado por diseñar ninguno de ellos, sino que lo que se ha hecho ha sido una combinación entre dos de los bocetos. Se ha pensado que el chasis tenga la parte delantera del boceto C, ¿por qué? Porque aunque la aerodinámica nos es un factor de vital importancia en las carreras de quadcross, dotar a la estructura con un diseño frontal más aerodinámico siempre sería más beneficioso a la hora de competir que si no lo tuviese como en el caso A y B y a parte se ha optado también por esta opción debido a que posee una estética más atractiva que el resto.

Respecto a la parte trasera de la estructura, ha habido más dudas, ya que se consideran soluciones válidas cualquiera de las partes traseras de los cuatro bocetos. Pero al final se ha decidido dotar al diseño con la forma del boceto B, de esta forma de la estructura del chasis junto con la del subchasis, crean una cavidad en forma de V, la cual proporciona un alojamiento muy bueno para la colocación del asiento y así el piloto vaya mejor acoplado al vehículo.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Una vez que ya se ha decidido la forma que se le va a dar a la estructura, queda dimensionar esa forma que se tiene en la cabeza gracias a los bocetos. Para ello habrá que dotar al chasis de una altura, pero ¿cómo decidir que altura darle? Esta dimensión no es fácil de decidir para un diseñador poco experimentado en este tipo de diseños como es el caso. Por ello para decidir esta altura se han tenido en cuenta diferentes datos de alturas de quads que se utilizan normalmente en la competición de quadcross, las alturas que se han tenido en cuenta han sido las de altura máxima del vehículo y la de la altura del asiento, estos datos se pueden ver en tabla siguiente.

MARCA	MODELO	ALTURA MÁXIMA (mm)	ALTURA ASIENTO (mm)
	HONDA TRX 450	1060	780
	SUZUKI FT-R 450	1085	--
	POLARIS OUTLAW MXR450	1100	780
	KTM XC 540	1095	790
	GOES 350 S	1155	845
	YAMAHA YFZ-450	1095	810

Tabla 3. Alturas

Estas alturas van a ayudar a determinar la altura que se le va a proporcionar al chasis, tal y como se puede ver en la tabla 3, las alturas máximas y las de los asientos de todos los quads analizados no divergen demasiado. La altura máxima media ronda los 1100 mm y la de los asientos 800 mm aproximadamente. Lo que nos lleva a pensar que son unas alturas muy a tener en cuenta en el diseño, no sirven para determinar una altura concreta para el chasis, pero si para hacerse una idea de la altura que se le puede proporcionar sobre todo la altura del asiento de 800 mm. La altura total no influye tanto en el diseño ya que dependiendo del manillar a utilizar y la posición en la que esté la altura puede variar un poco.

El asiento se apoyo sobre el subchasis y ligeramente sobre la parte trasera del chasis. El subchasis se coloca en la parte trasera del chasis como se ha explicando en

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

apartados anteriores, a una altura inferior a la altura máxima de la estructura a diseñar. Cuando se coloca el asiento sobre el subchasis, la altura que alcanza el asiento respecto al suelo, suele ser algo superior a la altura máxima del chasis. Luego la altura que se le proporcionará al diseño será algo menor de 800 mm, a esta altura habría que quitarle el radio de las ruedas delanteras. Las ruedas delanteras tienes dimensiones 21-7-10, de estos datos interesa el diámetro del neumático 21 pulgadas lo que equivale aproximadamente a 532 mm, de los cuales se deberá restar la mitad a la altura de 800 mm que se tiene como referencia de la altura del asiento, lo que da a una altura del chasis algo inferior a 535 mm.

Sabiendo estas longitudes que se han obtenido como referencia, se ha pensado dotar a la estructura una altura de 515 mm en la parte más alta, pero esta solo es una pequeña cota de las que consta el perfil del chasis.

Otra cota importante que hay que determinar, es la de la barra longitudinal donde se fijará el triángulo superior de la suspensión delantera, para este diseño es importante saber la inclinación que suelen tener los triángulos desde la rueda hacia el chasis. El diseño de los tubos necesarios para la colocación de los triángulos se ha hecho en colaboración con Alexander Alonso que en su proyecto final de carrera a diseñado el trapecio para un quad de competición, por ello se ha colocado la barra que sujetara el trapecio superior a 80 mm de distancia respecto a la barra donde se unirá el trapecio inferior.

Para el resto de las dimensiones del perfil de la estructura, no hay que tener tanto en cuenta otras piezas que puedan obligar o exigir a que la geometría de las distintas barras tengan una longitud o estén colocadas en una posición determinada, luego aquí es donde entra más la imaginación del diseñador siempre teniendo en cuenta la geometría descrita en los bocetos hecho al principio del diseño, de esta forma el perfil que se ha diseñado es el que se puede ver en la siguiente imagen, en la cual se marcan las cotas más representativas.

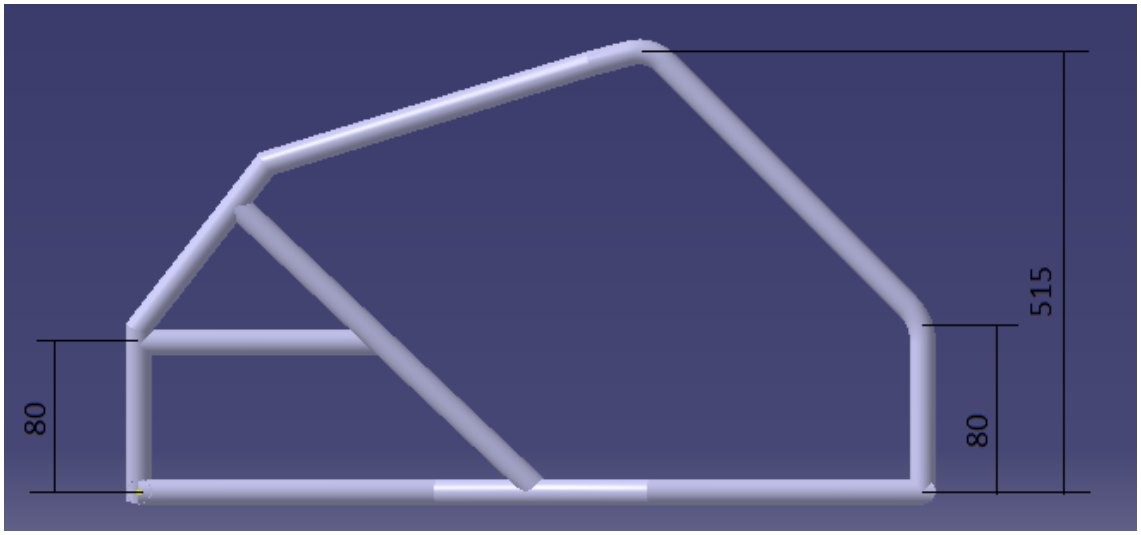


Figura 22. Perfil chasis

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

En esta imagen se puede ver como la barra donde se sujetará el triángulo superior de la suspensión delantera está a 80 mm de distancia de la barra que sujeta el triángulo inferior. Por otro lado se puede ver como el punto más alto está a 515 mm, de este punto bajan dos tubos con diferente pendiente tal y como se había dibujado en el boceto inicial, el tubo que baja por la parte trasera, el de mayor pendiente, es donde se sujetara el subchasis que sujetará el asiento del piloto y por el otro lado el tubo tiene una menor pendiente, en este tubo se sujetara el tubo que servirá de guía para el manillar. Seguido a este tubo le sigue otro con mayor pendiente que se une con el tubo transversal habilitado para el apoyo del triángulo superior de la suspensión delantera. En este perfil también se pude ver una barra en diagonal que tiene doble utilidad, la primera es para que la barra que sujeta el triángulo superior de la suspensión tenga un segundo apoyo y la otra misión es proporcionar una mayor rigidez a la estructura.

Este es el perfil de la estructura, pero se necesita más información para seguir diseñando. Se necesita determinar las inclinaciones en dirección al eje y de los tubos ya que tal y como se ha visto en la base o planta del diseño, existen diferentes anchuras, esto quiere decir que el perfil que se ha visto en la figura 22 no está en el mismo plano, esto es, habrá que utilizar la base o planta diseñada y el perfil de esta última figura para dar volumen a la estructura, esto se conseguirá con la inclinación de algunos tubos en dirección al eje de coordenadas y.

Para el siguiente paso hay que decidir que inclinación debe tener cada tubo. La primera decisión que se tomará es que se conserve una cavidad lo suficientemente amplia en la parte trasera de la estructura para que se aloje el motor cómodamente, por ello, estas barras no tendrán ninguna inclinación en la dirección del eje Y, quedando una cavidad amplia como se pretendía.

Uno de los tubos que sí que habrá que inclinar, bueno en realidad son dos tubos simétricos respecto al plano XZ. Estos tubos salen desde la parte delantera del diseño, desde los dos extremos del tubo donde se va a alojar la defensa concretamente, estos tubos tienen una inclinación constante hasta alcanzar la anchura máxima de la planta, esto es 175 mm, la distancia que se ha decido dar a la parte trasera del chasis, la inclinación de estos tubos es de 74º y se unen con los tubos que carecen de inclinación en dirección al eje Y, aquellos que se han mencionado en el párrafo anterior. Este punto de unión coincide con la parte más alta del chasis que se ha visto en el perfil de la figura 22 que esta a una distancia de 590 mm del origen.

Otra de las barras a las que habrá que dotar de una cierta inclinación en dirección al eje de coordenadas Y, es aquella que se ha diseñado con el fin de dotar de mayor rigidez a la estructura, en este caso también son dos barras simétricas. El posicionamiento de estas barras no será fácil ya que estas barras están inclinadas en los tres planos, XY, XZ y YZ, esto provoca que la unión en los extremos de estas barras sea más complicada. Cuando se menciona la unión se refiere a que el posicionamiento y la inclinación de estas barras será costoso, para aclarar esto, recurriremos a la ayuda de siguiente imagen:

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

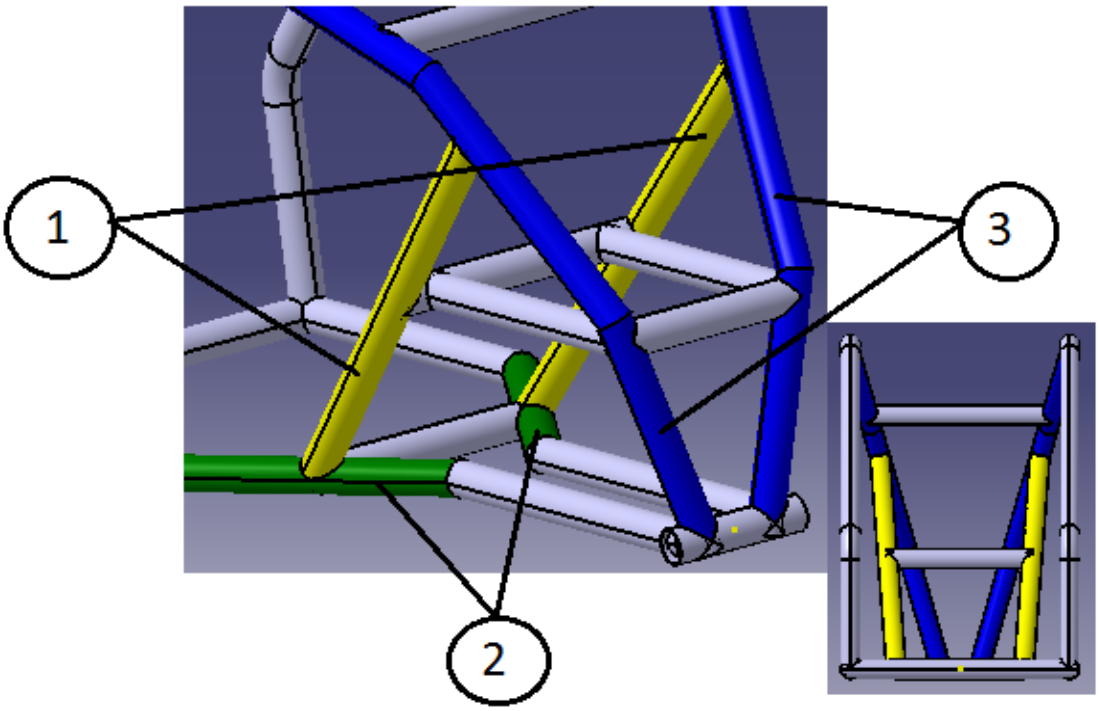


Figura 23. Inclinación de barras

Las barras 1 en amarillo, son las barras que se quieren colocar en la estructura, un extremo de estas barras es fácil de colocar, el que une con las barras 2 en verde, el punto de unión de estas dos barras, es el punto donde se une estas barras verdes con la barra transversal de la planta que se ha puesto para dar mayor rigidez al diseño. Se ha elegido ese punto, con el fin de tener menos puntos de unión entre barras lo que se considera como una mejor opción. Las coordenadas de ese punto son X: 470, Y: 105 y Z: 0 teniendo en cuenta que existe simetría respecto al plano XZ, tenemos los dos puntos iniciales de las barras amarillas 1.

El problema surge a la hora de querer unir las barras 1 con las barras 3 azules, ya que estas barras al igual que las barras amarillas están inclinadas en los tres planos. Entonces lo primero que se ha hecho ha sido situar el punto donde se quiere que se unan las barras, para ello primero se ha utilizado la inclinación de esta barra diseñada en el perfil de la figura 22, que posee una inclinación en el plano XZ de 44º. Con esta inclinación y utilizando como punto de partida el indicado en el párrafo anterior, se ha obtenido el punto en el que la barra amarilla 1 entra en contacto con la barra azul 3, ese punto tiene como coordenadas X: 115, Y: 130 y Z: 335, al igual que con el punto de partida de la barra amarilla también existe simetría respecto al plano XZ por lo que a la vez se obtiene el punto de contacto de las dos barras amarillas con las barras azules. Conociendo las coordenadas de los puntos iniciales y finales de estas barras amarillas 1, se han calculado las inclinaciones que deberán tener estas barras que son las siguientes: en el plano ZY: 85º, en el XY: 4º y la inclinación del plano XZ no ha sido falta calcularla ya que se ha obtenido de la figura 22 como ya se ha dicho con antelación y es de 44º.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Con todos estos datos, ya se tiene toda la información necesaria para dar volumen a la estructura y completar el chasis. Con lo que se ha conseguido el siguiente resultado mediante la herramienta CAD Catia.

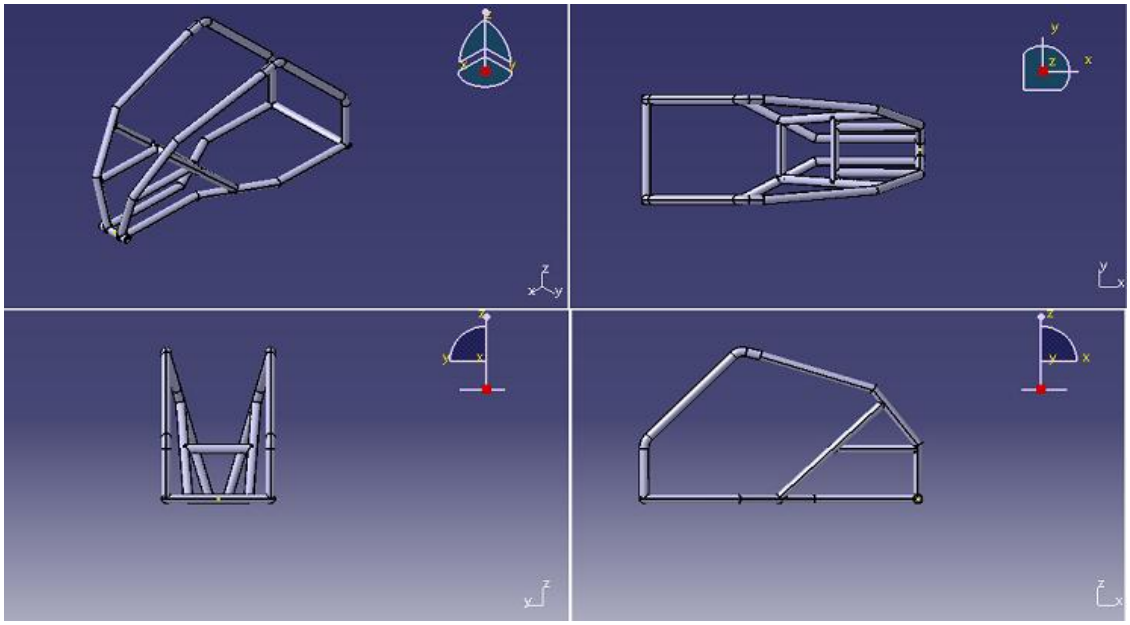


Figura 24. Diseño 3D preliminar

Viendo este diseño preliminar, se puede ver rápidamente, sin hacer ningún cálculo previo, que a la parte superior de la estructura habría que añadir alguna barra transversal más, ya que con este diseño es muy complicado que el chasis obtenga la rigidez que se estima como necesaria. Se han añadido tras barras transversales en dirección al eje Y a distintas alturas de la estructura. La primera a 80 mm de altura uniendo los dos extremos de las barras que sujetan los triángulos superiores de la suspensión delantera, la siguiente barra se ha colocado a 400 mm de altura por la parte delantera del chasis y la última se ha colocado en la parte trasera también a 400 mm, esta última además de dotar de una mayor rigidez a la estructura, se ha puesto con objeto de poder colocar sobre ella los anclajes que serán necesarios para la sujeción del amortiguador trasero.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

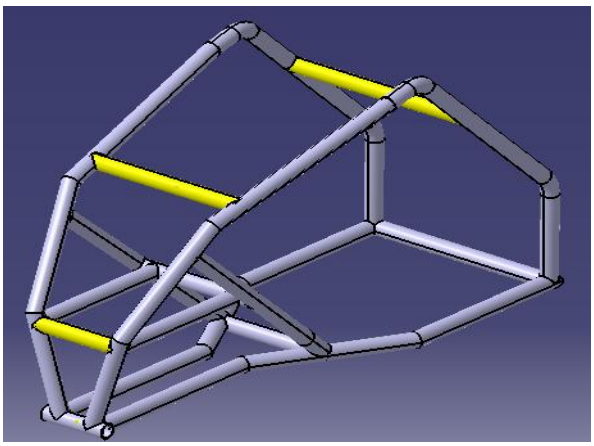
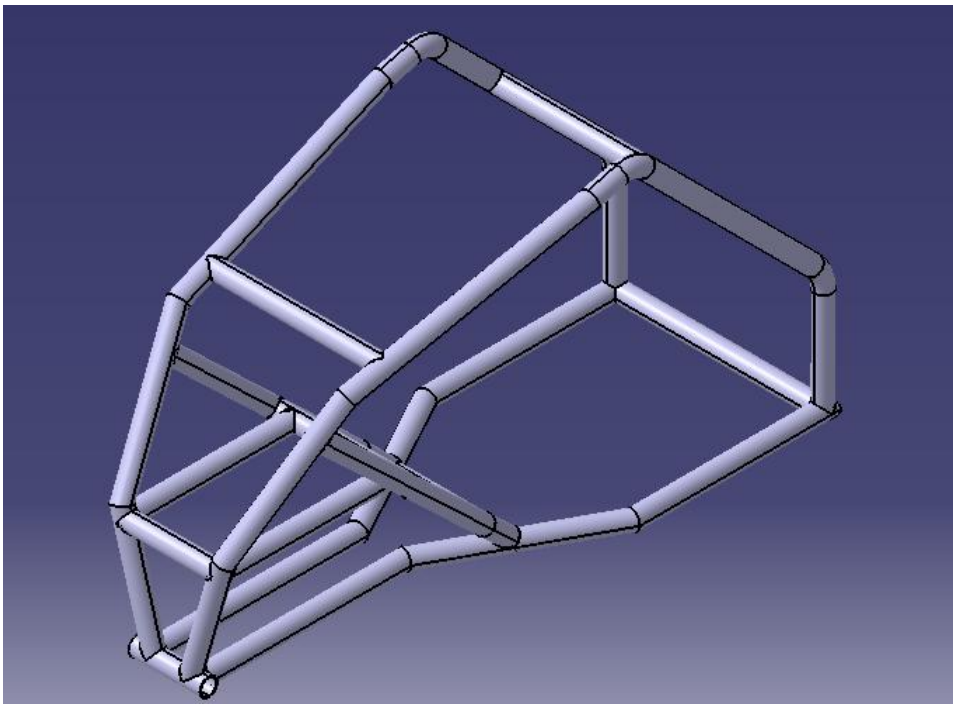


Figura 25. Barras transversales

Con la colocación de estas tres barras, se da por concluido el diseño del chasis, que da como resultado el que se puede ver en la siguiente imagen, con sus vistas en alzado planta y perfil y también la vista isométrica:



upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

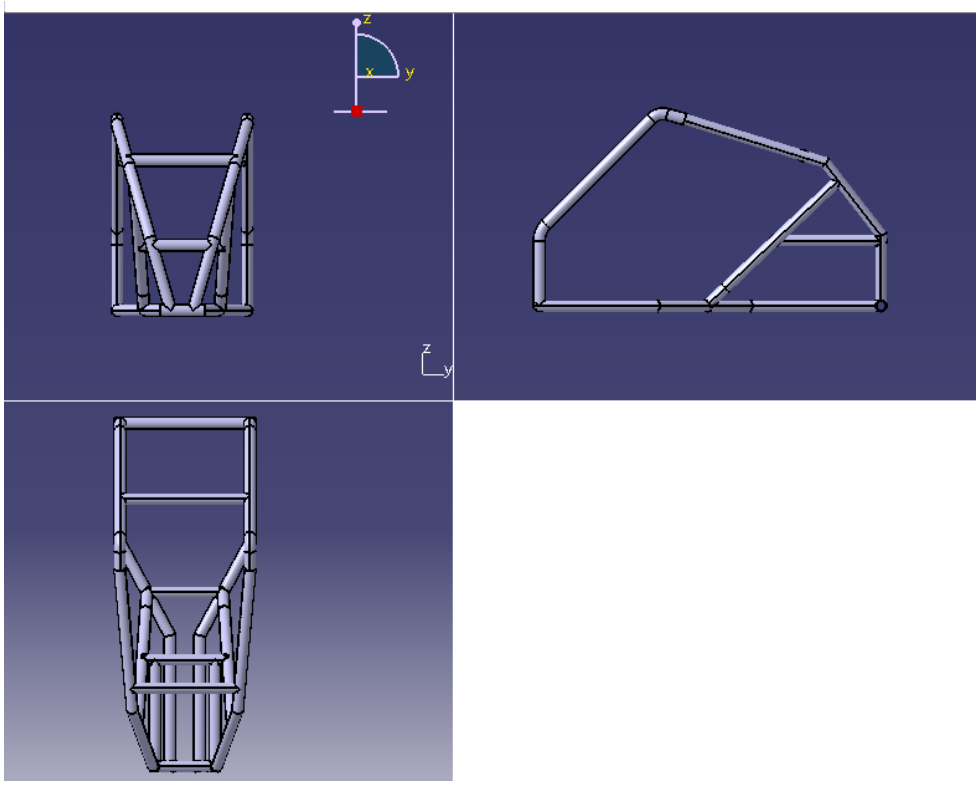


Figura 26. Vistas del chasis

3.6.- ANCLAJES

Hasta ahora se ha diseñado la estructura que va a tener el chasis, pero eso no quiere decir que el diseño esté terminado completamente, ya que quedan por diseñar pequeños detalles imprescindibles, estos pequeños detalles, hacen referencia a los anclajes de las diferentes partes que van unidas al chasis.

Primero hay que analizar los elementos que van a ir unidos al chasis y después decidir y diseñar como va a ser la unión de estos elementos al chasis. Los elementos que habrá que unir al chasis son los siguientes:

- Amortiguadores (delantera y trasero)
- Paralelogramos deformables de la suspensión delantera, tanto el superior como el inferior
- Motor
- Basculante
- Subchasis
- Manillar y eje de dirección

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Como se dijo al principio de este proyecto, existen más elementos que van unidos al chasis, como pueden ser la carcasa, la defensa, etc. pero dado que no van a influir en el diseño y en el posterior análisis de elementos finitos no se han diseñado sus correspondientes anclajes.

3.6.1.- ANCLAJES DE AMORTIGUADORES

Los quad disponen de tres amortiguadores, dos en la parte delantera uno a cada lado y uno más grande en la parte trasera de la estructura.

Los amortiguadores delanteros unen el chasis con los paralelogramos deformables (triángulos) inferiores. La forma de fijar estos amortiguadores al chasis se hará con una barra de perfil en forma de U de 320 mm de longitud y 3 mm de espesor, que atraviesa la estructura transversalmente a la altura de 320 mm y 115 mm de distancia del origen. Justo en el punto donde se unen dos barras, que en el perfil forman una V invertida. Se ha hecho coincidir con este punto para que de esta forma, se tengan más puntos de contacto y así facilitar la soldadura. A continuación se puede ver cómo será este anclaje con sus dimensiones más significativas y como quedaría soldado en la estructura.

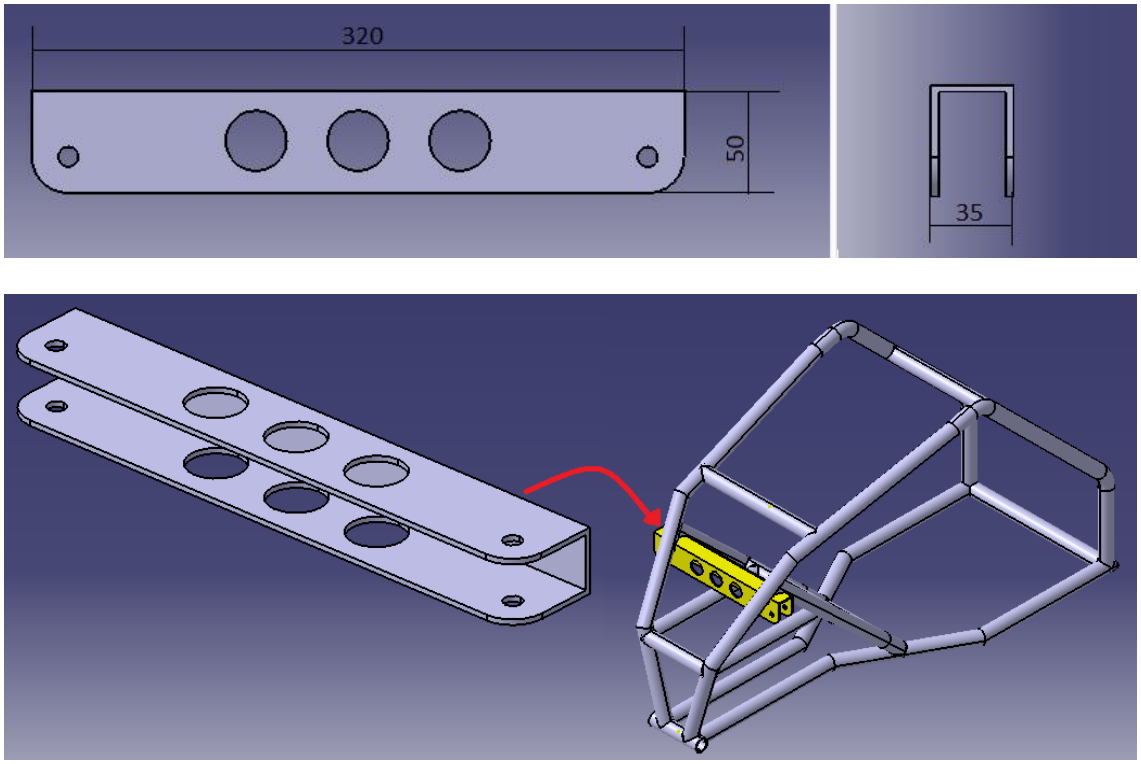


Figura 27. Anclaje de amortiguadores delanteros

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Como se puede ver en la figura 27, este anclaje además de tener las dimensiones generales descritas en párrafos anteriores, tiene en sus extremos dos orificios de 10 mm de diámetro en los que se sujetarán los dos amortiguadores uno a cada lado con un sistema tornillo tuerca. Estas esquinas también estarán redondeadas con un radio de 18 mm, con el objeto de evitar zonas puntiagudas que puedan ser molestas o peligrosas. Por otra parte en la zona central del anclaje se han hecho tres orificios de 30 mm de diámetro espaciados 50 mm entre sí, hechos con el fin de reducir material. Y por último, esta pieza se realizara con el mismo material que el resto del chasis, Reynolds 631, y se soldará con soldadura TIG al chasis.

El amortiguador trasero tiene una sujeción más simple, este amortiguador une la parte trasera del chasis con el basculante. La sujeción de este elemento al chasis, se realizará con dos orejeras que sujetarán el amortiguador con un sistema tornillo tuerca. Estas orejeras se situarán sobre la barra transversal que se puso en el último momento en el tren trasero del diseño con fin de dotar de mayor rigidez a la estructura. Estas dos orejeras estarán en el centro de esta barra separas 50 mm. La geometría de estas orejeras es la que se puede ver en la figura 28.

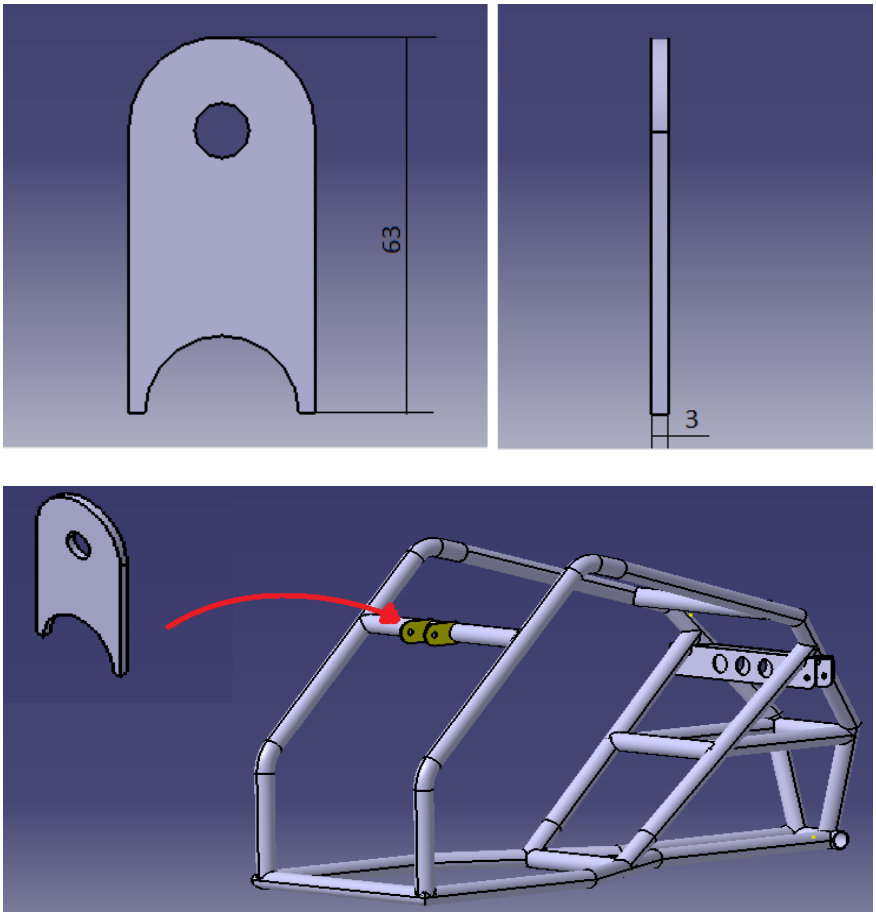


Figura 28. Anclajes amortiguador trasero

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Estas orejeras tienen en la parte inferior un redondeo de radio 14,3 mm para así poder acoplarse perfectamente sobre el contorno del tubo sobre el que va a ir unido mediante soldadura. El orificio central tiene un diámetro de 10 mm, el cual servirá para la introducir el tornillo que sujetará el amortiguador. La parte superior de este anclaje se ha redondeado con un radio de 18 mm en lugar de dejarlo con aristas puntiagudas que al igual que en el caso anterior pudieran ser molestas o peligrosas.

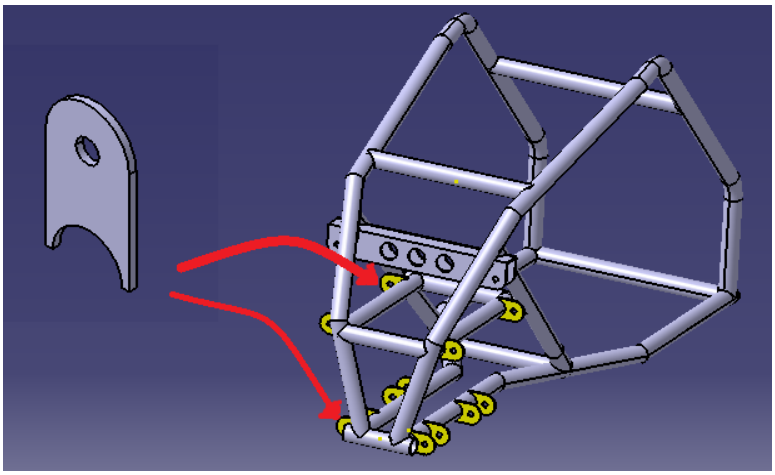
3.6.2.- ANCLAJES PARA TRAPECIOS DE LA SUSPENSIÓN DELANTERA (TRIÁNGULOS)

El quad consta de cuatro triángulos, dos superiores iguales y dos inferiores también iguales. Están situados en el tren delantero del chasis, dos a cada lado situados de forma simétrica. Los anclajes para los triángulos superiores se colocarán en las barras que se han habilitado con este objeto durante el diseño y los anclajes para los triángulos inferiores se colocarán en las barras de la base a la altura de donde se colocarán los anclajes para los triángulos superiores.

Para la sujeción de los triángulos inferiores, se utilizarán dos orejeras para cada una de las barras que llegan al chasis. Estás barras se unirán a las orejeras con un sistema de tornillo tuerca.

Para la sujeción de los triángulos superiores, se utilizarán únicamente dos orejeras. ¿Por qué dos en vez de cuatro? La razón de poner dos orejeras en vez de cuatro es que sobre los triángulos superiores se aplican menos cargas, luego no hace falta poner cuatro orejeras.

Las orejeras a utilizar para la sujeción de estos triángulos serán iguales a las que se han utilizado para sujeción del amortiguador trasero, dado que las barras sobre las que se van a soldar las orejeras son iguales a las de toda la estructura no habrá que cambiar ninguna dimensión.



upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Figura 29. Anclajes triángulos de suspensiones

Las orejeras de los triángulos superiores están separaras entre sí 220 mm. Las orejeras que sujetan cada una de las barras de los triángulos inferiores, están separadas 35 mm y de una barra a otra se ha considerado que la distancia que habrá será de 232 mm. (el posicionamiento de estas orejeras, están situadas de acuerdo a las dimensiones del chasis diseñado por Alexander Alonso. Pero también estas dimensiones pueden ser variadas sin problema si las dimensiones de los triángulos a utilizar varían).

3.6.3.-ANCLAJES PARA EL MOTOR

El motor que se va a utilizar, o el que se va a tener presente a la hora de diseñar los anclajes es un motor de 450 cc. que suele pesar entre los 35 y 40 kg. El motor se alojará en la parte trasera de la estructura diseñada, en la amplia cavidad que se ha dejado con objeto de colocar con comodidad el motor.

Se ha pensado en sujetar el motor con cuatro anclajes. Esto anclajes a diferencia de los que se han usado hasta ahora, se colocarán de en dirección longitudinal a los tubos o barras. Luego la geometría de estos anclajes, será muy parecida a la de los anclajes que se han diseñado hasta ahora con la diferencia que se ha mencionado al principio del párrafo.

Se pondrán dos anclajes, colocados simétricamente sobre las barras verticales de final de la estructura, a una altura de 137 mm. Estos anclajes serán prácticamente iguales a los diseñados hasta ahora, únicamente varía la parte inferior, esto es, la forma con la que esta pieza se acoplará a las barras.

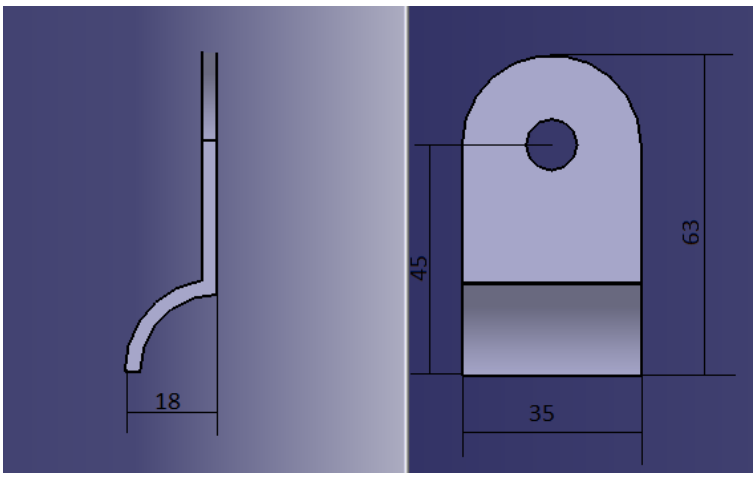


Figura 30. Anclaje motor 1

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Los otros dos anclajes que se van a utilizar para sujetar el motor, serán anclajes dobles, esto es, tendrán dos puntos de sujeción. Estos se colocarán en la barra que se ha puesto en el perfil para dotar de rigidez al diseño. Estos anclajes están a una altura de 70 mm en dirección a dicha barra.

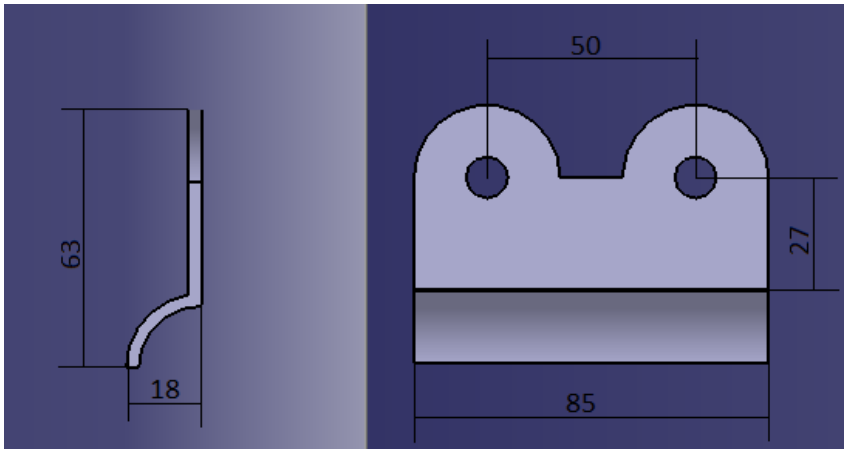


Figura 31. Anclaje motor 2

Este anclaje tal y como se pude ver, es más largo que los que se han utilizado hasta ahora con el fin de tener más puntos de sujeción. Al igual que en todos los anclajes usados hasta ahora, se han redondeado las esquinas para evitar tener aristas puntiagudas y se ha eliminado material del centro de la pieza que no aporta ningún beneficio para la sujeción.

Estos dos tipos de anclajes, al igual que los anteriores anclajes diseñados, tienen unos orificios de un diámetro de 10 mm, a través de los cuales se introducirán unos tornillos para unir estos anclajes al motor. Una vez analizados estos dos tipos de anclaje se han colocado sobre la estructura del chasis diseñado.

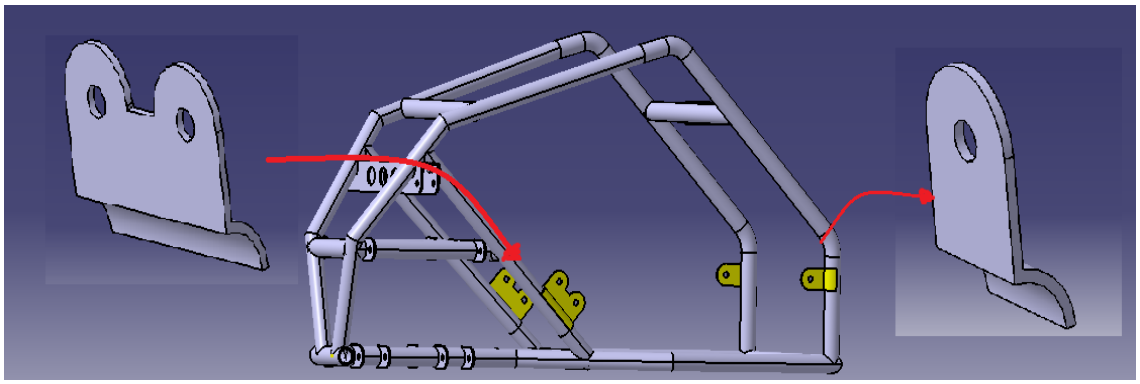


Figura 32. Anclajes motor

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

3.6.4.- ANCLAJES PARA EL BASCULANTE

El basculante está unido al chasis por la parte posterior de la estructura, sobre la barra que está colocada transversalmente en la base del diseño. Para unir este elemento se utilizarán anclajes simples como los que se ha utilizado para la sujeción de los triángulos de las suspensiones delanteras.

Conocida la geometría de estos anclajes en la siguiente figura se puede ver como quedan estos anclajes sobre el diseño. Serán necesarios dos anclajes para sujetar este elemento y estos anclajes estarán separados 120 mm entre sí. La distancia entre anclajes puede modificarse simplemente con antelación, si el basculantes que se desea utilizar es más ancho o más estrecho de lo que se estimado en este diseño.

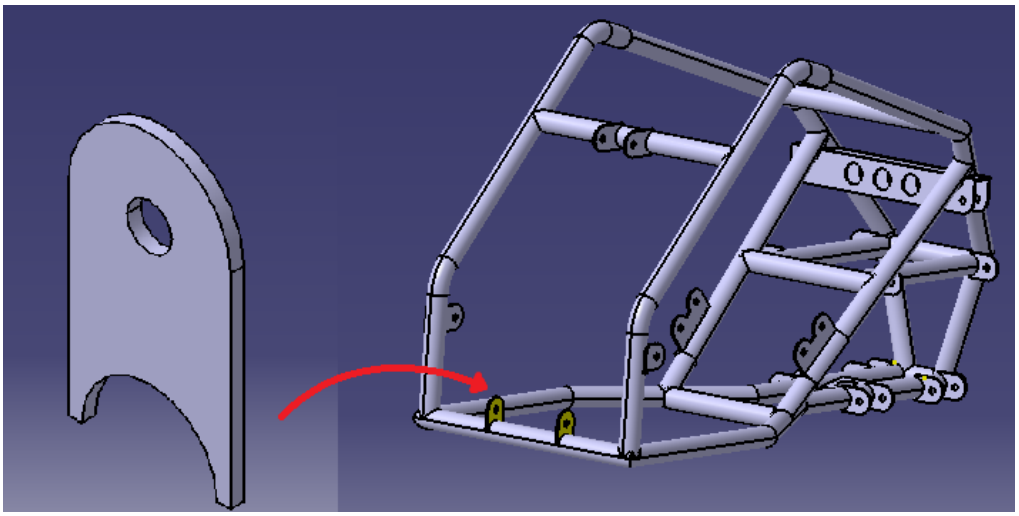


Figura 33. Anclaje basculante

3.6.5.- ANCLAJES PARA EL SUBCHASIS

El subchasis es un elemento que sirve como apoyo para el asiento del piloto tal y como se ha indicando en apartados anteriores. De este elemento llegan cuatro barras a la estructura diseñada, luego será necesaria la colocación de cuatro anclajes par a la sujeción de cada una de estas barras.

Este elemento se une al chasis en la parte trasera. Al igual que otros elementos del quad analizados, los anclajes se situarán en una posición u otra en función del subchasis a utilizar. Por eso conviene soldar los anclajes una vez conocidas las dimensiones del elemento a utilizar.

En este caso la posición de los anclajes se han diseñado para un subchasis en concreto, en el que las barras superiores tendrán un ángulo de 10º y se colocara a 450

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

mm de altura y los inferiores se situarán en la misma barra a 300 mm de distancia de los anclaje superiores.

Los anclajes se colocarán de forma longitudinal a las barras, por ello se utilizarán los mismos anclajes que se han utilizado para la sujeción del motor, los "anclaje motor 1" quedando como resultado el siguiente:

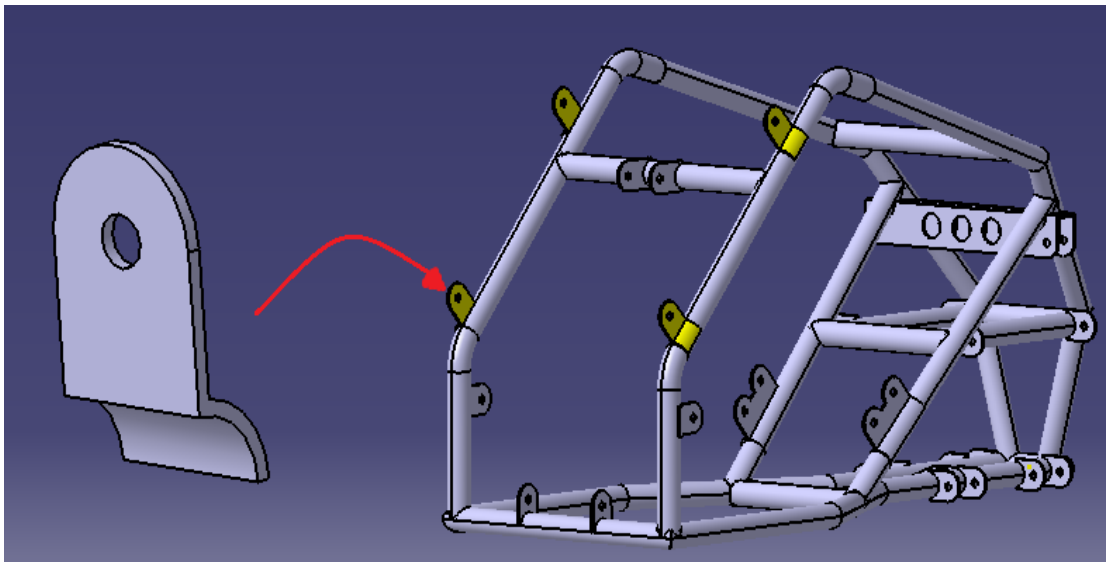


Figura 34. Anclaje subchasis

3.6.6.- GUÍAS PARA EL MANILLAR Y EJE DE DIRECCIÓN

El eje de dirección del quad, es un eje largo que atraviesa toda la estructura verticalmente. En la parte superior está el manillar y en la inferior la bieleta de dirección.

Lo que se ha pensado para la sujeción de estos elementos es lo siguiente: en la parte superior poner un anclaje para dar apoyo al manillar y a la vez hacer de guía para el eje de dirección y en la parte inferior únicamente se colocará un elemento para que haga de guía al eje de dirección antes de llegar a la bieleta de dirección.

Primero se ha decidido la inclinación que va a tener el eje de dirección, esta inclinación será de 80º. La parte de abajo se soldará entre los dos tubos de la parte delantera de la base del chasis a 175 mm de la parte delantera. Esta pieza tendrá forma cuadrada de lado 54 mm y 15 mm de espesor con un orificio en el centro de 30 mm para hacer de guía del eje de dirección. Se soldará la pieza con un ángulo de 10º para que el agujero esté orientado correctamente.

Como ya se sabe la posición de la guía que se pondrá en la parte inferior del chasis, la colocación de la guía de la parte superior será en principio más sencilla puesto

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

que sólo se tiene que hacer coincidir con el eje imaginario que sube desde la guía inferior. Esta guía se colocará a 470 mm de altura. Tiene la forma de un casquillo, con un diámetro interior de 36 mm y exterior de 42 mm y una longitud de 40 mm. El diámetro del orificio de esta guía es mayor que el que tiene la guía diseñada para la parte inferior, esto se debe a que los ejes de dirección poseen un diámetro mayor en la parte superior y va disminuyendo el diámetro progresivamente según se va acercando a la parte más baja de la estructura.

Una vez visto como será la guía para la parte superior, hay que decidir como unir esta parte al chasis, ya que tal y como se ha descrito en el párrafo anterior, esta pieza estaría en el aire.

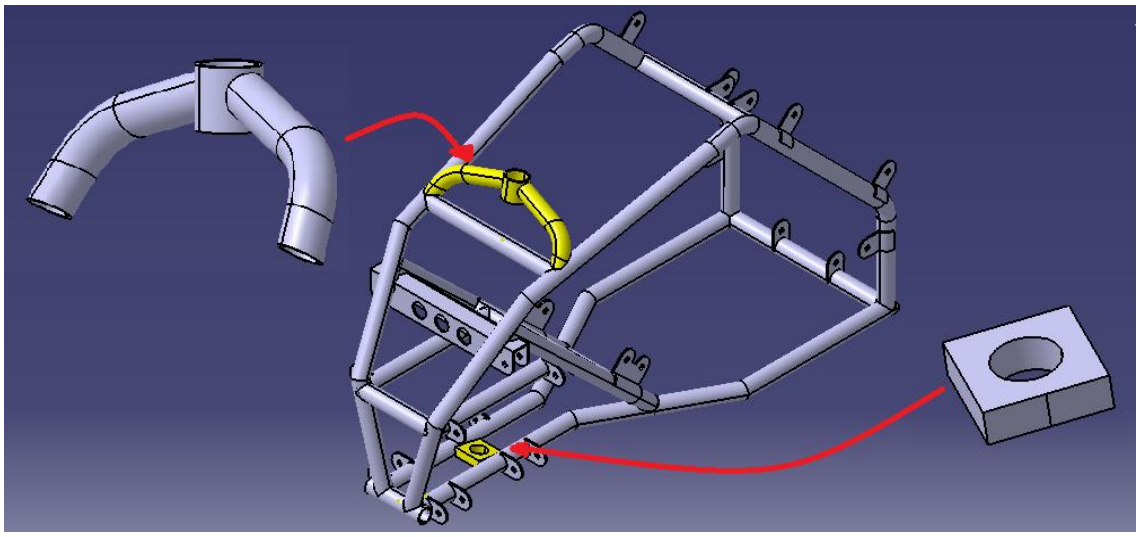


Figura 35. Guías de la dirección

Como se puede ver en la figura 35, de los dos extremos de una de las barras que se han puesto para dotar de mayor rigidez al diseño, salen dos tubos con una inclinación de 53º. Estos tubos tienes las mismas dimensiones que los utilizados en el resto del chasis, esto es, diámetro de 28,6 mm y espesor de 1,2 mm y están dotados con la curva adecuada para que coincidan con la guía superior que estaba en el aire, a la cual se unirá mediante soldadura.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

3.7.- DISEÑO FINAL

A continuación se puede ver como ha quedado el diseño final, con la única dude que se ha mencionado en el apartado anterior, esto es, la de conservar o eliminar la barra nombrada. De momento se conservará.

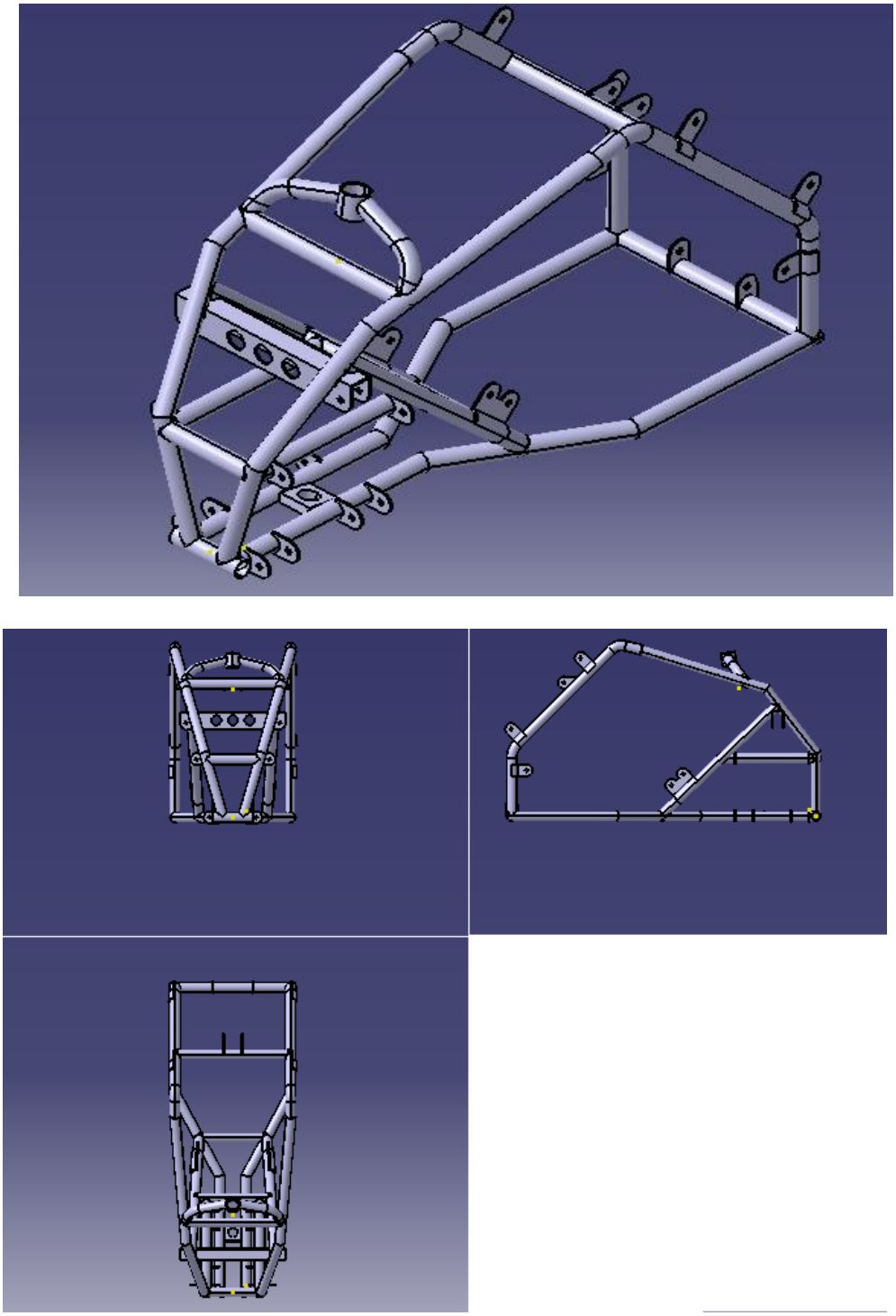


Figura 36. Diseño final

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

4.- CÁLCULO DE CARGAS

En este apartado es donde se van a calcular de forma analítica las fuerzas que actúan sobre cada uno de los diferentes anclajes del chasis, sometiendo a la estructura a diferentes casos de cargas a los que un quad de competición va a estar sometido en condiciones reales.

Se analizará la estructura para diferentes casos, realizando un ensayo estático para cada uno de los casos:

- Ensayo de torsión
- Peso propio
- Frenada brusca
- Caída de 5 metros de altura

4.1.- ENSAYO DE TORSIÓN

El ensayo de torsión es un ensayo muy simple, que va a ayudar a conocer la rigidez de la estructura diseñada.

Este ensayo consiste tal y como se ha explicado en el apartado "rigidez torsional", en sujetar la parte posterior de la estructura e imprimir un momento torsor en la parte delantera del chasis.

El momento a aplicar es indiferente ya que la rigidez como bien se ha dicho antes se mide en unidades de par por grado de deformación. Por ello para este ensayo se ha optado por aplicar un par de 500 N/m para ver cuántos grados ha girado la estructura tras ese momento y así poder calcular la rigidez del chasis..

4.2.- PESO PROPIO

Es uno de los ensayos más sencillos que se han hecho, ya que toda excitación existente sobre el chasis en la dirección vertical, teniendo en cuenta el peso propio del quad y el del propio piloto.

Las estimaciones de pesos de todos los componentes que afectan a este ensayo son los siguientes:

- Peso del quad: 175 kg

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

- Piloto: 80 kg
- Combustible: 8kg

Todas estos pesos hacen un total de 263kg , pero este peso no estará distribuido uniformemente sobre toda la estructura del quad, se sabe que en el tren trasero el peso el mayor pero ¿cuánto? Para poder aproximar mejor esta distribución se ha recurrido a la distribución de pesos que tienen algunos de los quad que en la actualidad están en el mercardo:

MARCA	MODELO	DELANTERA	TRASERA
	HONDA TRX 450	50%	50%
	SUZUKI LT-R 450	45%	55%
	KTM XC 540	45%	55%
	YAMAHA YFZ-450	47,5%	52,5%

Tabla 4. Distribución de pesos

En la tabla anterior se puede ver como la distribución de pesos de los cuatro quads analizados es muy similar, incluso la del KTM y la del SUZUKI coinciden, es por esto que se ha decidió aplicar esos porcentajes para la realización del cálculo del peso propio, esto es un 45% del peso para la parte delantera que equivales a 118,35kg de peso o lo que es lo mismo 1161,01N y un 55% del peso para la parte trasera, lo que es igual a 144,65 kg o 1419,01 N.

Una vez conocidas las cargas que actuaran en el tren delantero y en el trasero, se a procedido a calcular analíticamente todas las cargas que actuarán sobre el chasis, esto es cada uno de sus anclajes. Estos cálculos se pueden encontrar en el anexo I salvo los correspondientes a la suspensión delantera que se han tomado los cálculos realizados por Alexander Alonso en el proyecto "Diseño y cálculo de un trapecio de suspensión de un quad de competición" dado que el diseño de esa parte del chasis se ha hecho de acuerdo a las medidas de la suspensión diseñada.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

De estos cálculos se han obtenido los siguientes resultados:

BASCULANTE	EJE X	EJE Z
Apoyo amortiguador	-2830,48N	2610,97N
Apoyo basculante	2830,48N	-1191,96N

Tabla 5. Fuerzas del basculante

SUBCHASIS	EJE X	EJE Z
Apoyo superior	592,02N	104,47N
Apoyo inferior	-666N	-588N

Tabla 6. Fuerzas del subchasis

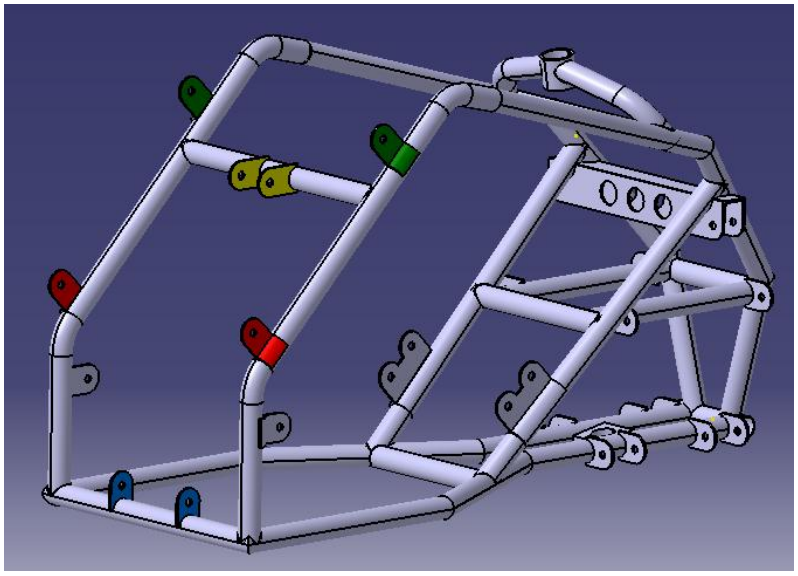


Figura 37. Anclajes basculante y subchasis

En la imagen se puede ver que el anclaje amarillo, el correspondiente al amortiguador trasero está compuesto por dos orejeras, lo cual significa que las cargas que se dan en ese punto las soportarán las dos orejeras luego habrá que dividir la carga en ese punto entre dos.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

SUSPENSIÓN DELANTERA	EJE X	EJE Y	EJE Z
Trapecio inf. Delantero	24,44N	-335N	-240N
Trapecio inf. Trasero	19,8N	-289N	-49,21N
Trapecio sup.	7,22N	-104N	-27N
Apoyo amortiguador	43N	-538,7N	660N

Tabla 7. Fuerzas de la suspensión delantera

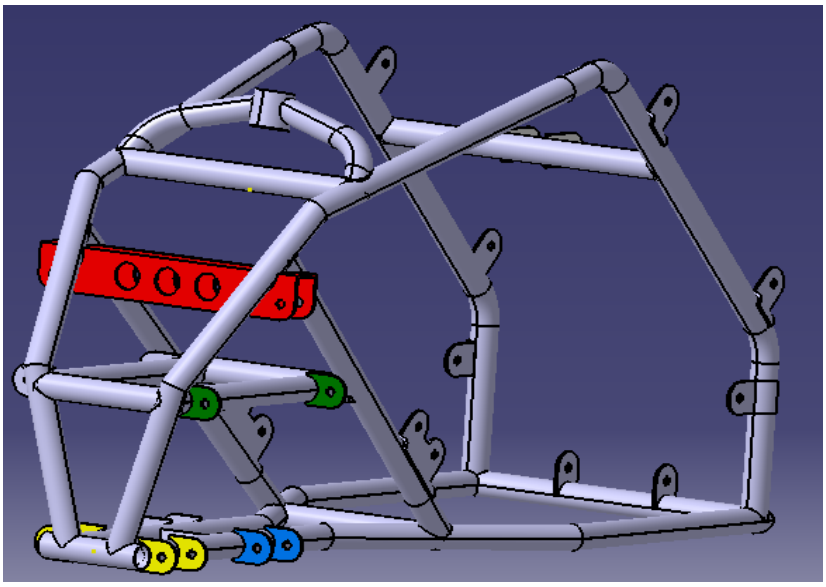


Figura 38. Anclajes suspensión delantera

En este caso, al igual que en el caso del amortiguador trasero, todos los anclajes tienen doble orejera luego, todas estas cargas a la hora de aplicarlas habrá que distribuir la mitad de la fuerza calculada a cada una de las orejeras.

A estas cargas habría que sumarle el peso el motor (unos 50kg aproximadamente) que estará distribuido sobre los anclajes diseñados para la sujeción del motor.

4.3.- FRENADA BRUSCA

Uno de los sistemas fundamentales de todo vehículo automóvil es el que le confiere la capacidad a reducir su velocidad incluso llegando a detenerlo sí así lo decide el conductor. Dicho sistema es el sistema de freno.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

El principio de funcionamiento de un sistema de frenado es la reducción de la energía cinética y/o potencial para transformarla en energía calorífica. Con esta transformación de energía se consigue la reducción de la velocidad del vehículo.

El reparto de cargas sobre el quad como se ha mencionado en el cálculo del peso propio, es aproximadamente de un solo 45% del peso total en el eje delantero, y del 55% sobre el eje trasero. Evidentemente, este reparto estático de cargas se modifican en condiciones dinámicas según las aceleraciones o deceleraciones a las que se ve sometido el vehículo.

Las principales fuerzas en juego en el proceso de frenado de un vehículo son la fuerza de frenada en cada una de las ruedas y la inercia del vehículo al frenar que genera una fuerza que actúa sobre el centro de gravedad del vehículo y que al estar este punto situado a mayor altura que el eje de las ruedas, genera un par de cabeceo en el vehículo que modifica el reparto de cargas sobre los ejes. Aunque dicho reparto de cargas dinámicas durante la frenada depende de otros factores tales como el reparto de cargas estáticas, alturas del centro de gravedad y otros, se puede estimar que en un vehículo como el quad el reparto de masas en una situación dinámica es el 80% sobre el eje delantero y un 20% sobre el eje trasero.

El supuesto que se hace para el cálculo de estas fuerzas es el siguiente: una frenada de 100 km/h a 0 km/h en cinco segundos. Con un reparto de cargas similar al de cualquier vehículo, que será el mencionado en el párrafo anterior el 80% de la carga irá en tren delantero y el restante 20% en el tren trasero.

- Peso propio= 263kg
- Aceleración = -5,55m/s^2
- Fuerza de frenada F_f = 263 * 5,55 = 1459,65N
  - Tren delantero 1167,72N
  - Tren trasero 291,93N
- Fuerza de frenada por cada rueda delantera F_{fdr} = 1167,72/2 = 583,86N
- Altura del centro de gravedad = 500mm
- Distancia entre ejes = 1275 mm
- Transferencia de peso longitudinal = 567,25N
- Fuerza de peso total en cada rueda delantera F_{pdr}= 867,48N
- Fuerza de peso total en el eje trasero $F_{pt=}$ 1986,25N
- Fuerza derivada el piloto F_p = 220N

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

- Fuerza de peso del piloto F_{pp}= 784,8N

Con todas estas fuerzas, se ha proseguido al cálculo analítico de las cargas en cada uno de los anclajes al igual que en el caso anterior del peso propio, todos estos cálculos se pueden encontrar en el anexo I de cálculos. de donde se han obtenido los resultados de las siguientes tablas:

BASCULANTE	EJE X	EJE Z
Apoyo amortiguador	-3961,46	3653,55
Apoyo basculante	4233,5N	-3403,5

Tabla 8. Fuerzas del basculante (frenada brusca)

SUBCHASIS	EJE X	EJE Z
Apoyo superior	312,9N	55,17N
Apoyo inferior	-532,9N	-447,16N

Tabla 9. Fuerzas del subchasis (frenada brusca)

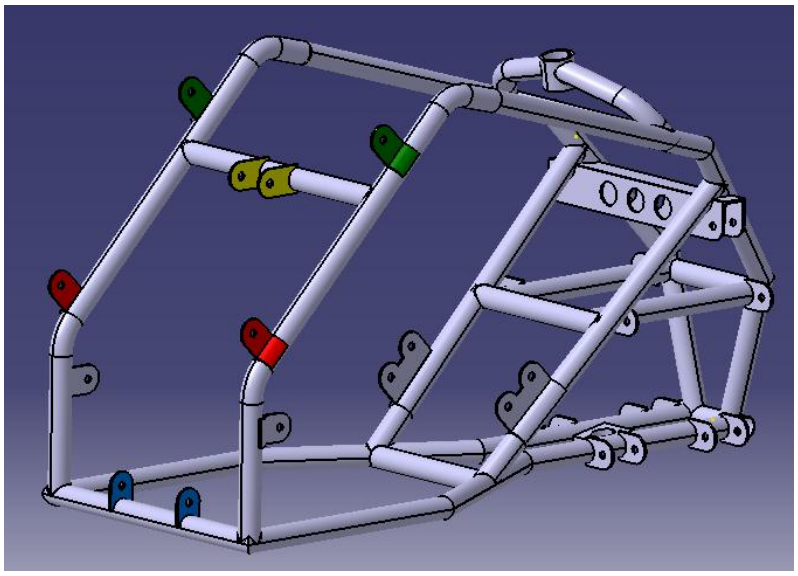


Figura 39. Anclajes basculante y subchasis (frenada brusca)

En la imagen se puede ver que el anclaje amarillo, el correspondiente al amortiguador trasero está compuesto por dos orejeras, lo cual significa que las cargas

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

que se dan en ese punto las soportarán las dos orejeras luego habrá que dividir la carga en ese punto entre dos.

SUSPENSIÓN DELANTERA	EJE X	EJE Y	EJE Z
Trapecio inf. Delantero	519,42N	-2595N	-121,09N
Trapecio inf. Trasero	531,3N	1285,6N	384,37N
Trapecio sup.	73,1	136,26	93,14
Apoyo amortiguador	37,5N	937,6N	-1202,9N

Tabla 10. Fuerzas de la suspensión delantera (frenada brusca)

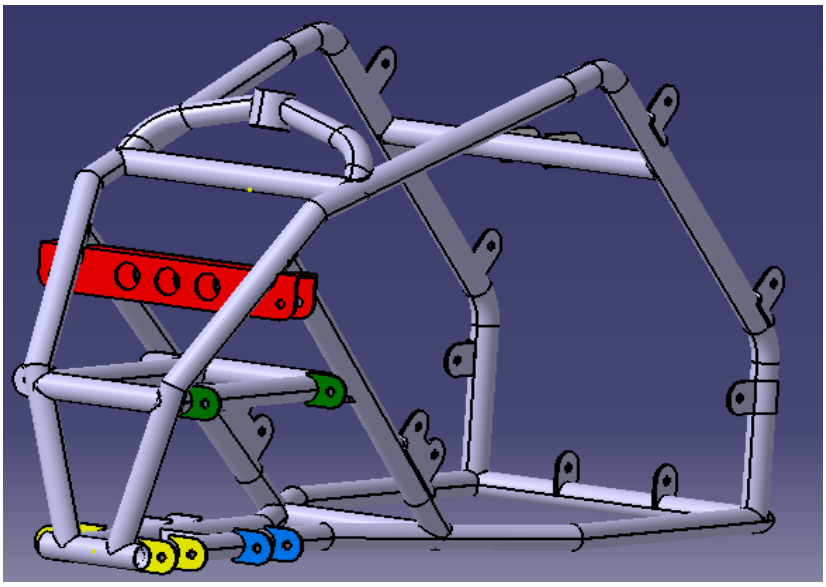


Figura 40. Anclajes suspensión delantera (frenada brusca)

En este caso, al igual que en el caso del amortiguador trasero, todos los anclajes tienen doble orejera luego, todas estas cargas a la hora de aplicarlas habrá que distribuir la mitad de la fuerza calculada a cada una de las orejeras.

A estas cargas habría que sumarle el peso el motor (unos 50kg aproximadamente) y la distribución de peso longitudinal debido a la frenada, así distribuyendo estas fuerzas sobre los anclajes diseñados para la sujeción del motor, por simplificar se distribuirán las fuerzas por igual en cada uno de los anclajes.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

4.4.- SALTO DE 5 METROS

El último caso que se va a analizar, va a ser las reacciones producidas en la caída de un salto de 5 metros. En las competiciones de *quadcross* para las que va a estar diseñado este chasis, existe gran variedad de obstáculos que el vehículo debe superar, entre ellos grandes saltos. En general en esta modalidad los saltos no son tan altos como lo que realizan en la modalidad de *Freestyle*, que los saltos incluso pueden alcanzar los diez metros de altura, suelen rondar sobre los 3-4 metros de altura a lo sumo por ellos este análisis se realizara sobre 5 metres de altura de esta forma, se han hecho los cálculos sobre esta altura como medida de seguridad.

En el *quadcross* existen montículos hechos artificialmente los cuales hacen de rampa para la realización de los saltos. Para que el salto se fructífero el aterrizaje debe ser sobre las dos ruedas traseras y a ser posible sobre la pendiente descendente del montículo, ya que al no ser así y aterrizar sobre una zona plana el impacto contra suelo podría ser muy violento.

Dado que el aterrizaje sobre una superficie plana y sobre las cuatro ruedas a la vez, es el caso más desfavorable que se podría tener, es con estas condiciones como se va a hacer el análisis del salto de 5 metros.

Para ello se ha calculado la energía potencial que tiene el quad a 5 metros de altura que es de 12,9 KJ, esta energía será igual a la energía cinética que tendrá el quad justo antes del impacto. Luego igualando estas dos energías se obtendrá la velocidad que tendrá el quad en el impacto, que es de 9,9 m/s.

Ahora es cuando, con el fin de simplificar los cálculos, se hace la suposición del tiempo de compresión que ha sido de 0,25 segundos. Con este dato y la velocidad del impacto se ha calculado la aceleración de frenada que adquiere el vehículo hasta alcanzar la velocidad de 0 m/s. Esta aceleración es de 39,6 m/s^2 y por ultimo con esta aceleración se ha calculado la fuerza de impacto, todos estos cálculos y los de las reacciones en cada uno de los anclajes se pueden encontrar en el anexo I de cálculos y sus resultados se pueden ver en las siguientes tablas:

BASCULANTE	EJE X	EJE Z
Apoyo amortiguador	-11425,8N	10539,77N
Apoyo basculante	11425,8N	-4811,63N

Tabla 11. Fuerzas del basculante (salto de 5 metros)

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

SUBCHASIS	EJE X	EJE Z
Apoyo superior	2389,7N	421,37N
Apoyo inferior	-2389,9N	-2005,3N

Tabla 12. Fuerzas del subchasis (salto de 5 metros)

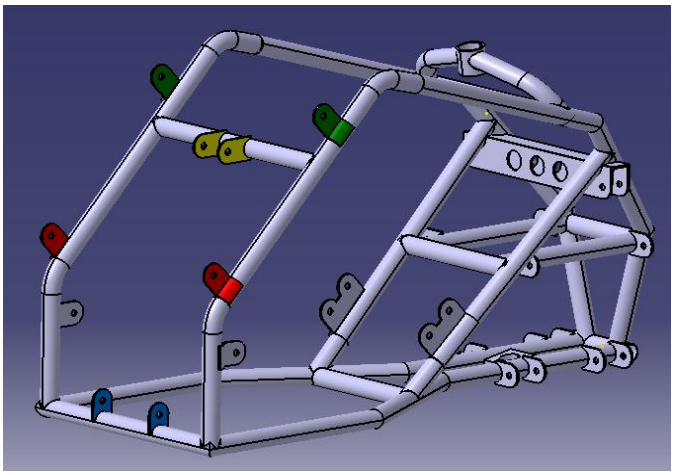


Figura 41. Anclajes basculante y subchasis (salto de 5 metros)

En la imagen se puede ver que el anclaje amarillo, el correspondiente al amortiguador trasero está compuesto por dos orejeras, lo cual significa que las cargas que se dan en ese punto las soportarán las dos orejeras luego habrá que dividir la carga en ese punto entre dos.

SUSPENSIÓN DELANTERA	EJE X	EJE Y	EJE Z
Trapecio inf. Delantero	-180,1N	-993,63N	621,06N
Trapecio inf. Trasero	-161,1N	-1350,77N	-344,73N
Trapecio sup.	-82,41N	-432N	278,3N
Apoyo amortiguador	38,48N	2094,89N	-2445,75N

Tabla 13. Fuerzas de la suspensión delantera (salto de 5 metros)

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

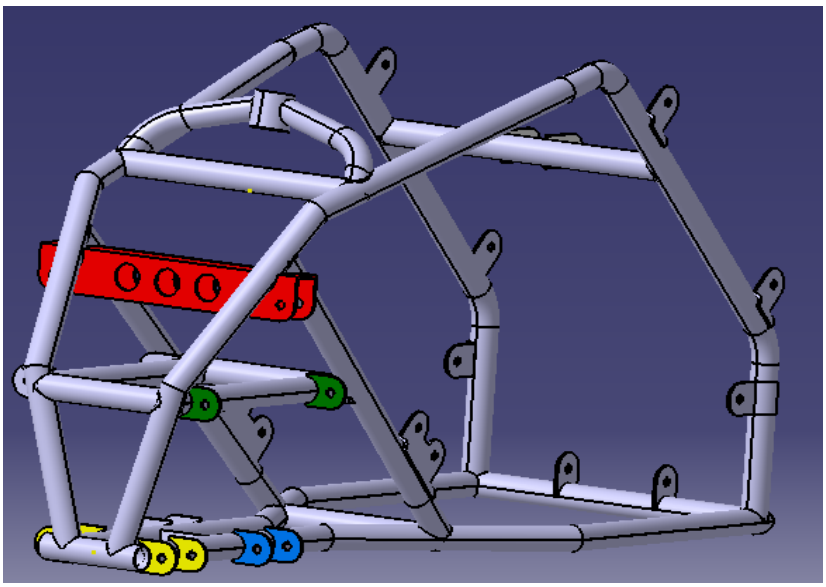


Figura 42. Anclajes suspensión delantera (salto de 5 metros)

En este caso, al igual que en los caso del amortiguador trasero, todos los anclajes tienen doble orejera luego, todas estas cargas a la hora de aplicarlas habrá que distribuir la mitad de la fuerza calculada a cada una de las orejeras.

A estas cargas habría que sumarle el peso el motor (unos 50kg aproximadamente) debido al impacto del quad contra el suelo, distribuyendo estas fuerzas sobre los anclajes diseñados para la sujeción del motor, por simplificar se distribuirán las fuerzas por igual en cada uno de los anclajes diseñados para la sujeción del motor.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

5.- CÁLCULO ESTRUCTURAL MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

En este apartado se estudiaran las tensiones que sufrirán las diferentes partes del chasis en las diferentes situaciones para las que se han calculado las cargas. Todas las cargas que se aplicaran serán cargas estáticas. Esto permitirá observar aquellas zonas que soportaran las mayores tensiones de forma que se puedan realizar pequeñas modificaciones sobre el diseño para tratar de evitar la aparición de tensiones excesivamente elevadas.

El método de elementos finitos consiste en la representación de una estructura por un conjunto de subdivisiones o elementos finitos. Donde todos estos elementos estarán interconectado en uniones llamados nodos o puntos nodales.

Este método opera sobre la suposición de que cualquier función continua en un dominio global puede ser aproximada por una serie de funciones operando sobre un número finito de subdominios o elementos. Estas series de funciones deben ser continuas y deben aproximarse a la solución exacta conforme el número de subdominios tienda al infinito.

Para cualquier tipo de análisis se deberá definir la geometría de la estructura a analizar mediante un mallado, al cual se le pueden asignar elementos de diferentes formas (tetraedros, triángulos…), a continuación se deberán especificar las propiedades del material que se va a utilizar y por último se especificarán las condiciones de contorno y las fuerzas a aplicar sobre el modelo.

En mercado existen diferente programas para realizar análisis de elementos finitos, como pueden ser ANSYS, PATRAN, FEMAP… en un principio se había pensado utilizar PATRAN pero dadas las dificultades que ha habido para conseguir este programa se optó por utilizar otro programa y el elegido fue FEMAP, femap es un programa pre y pos procesador, que utiliza el módulo NASTRAN para realizar los cálculos, esto es procesarlos.

5.1.- MALLADO

Primero se importó la geometría desde Solid edge, en un principio se intentó importar el diseño hecho en Catia V5, pero el programa no importaba todos los tubos de la estructura por lo que tras dar muchas vueltas se optó por realizar nuevamente el diseño en el programa Solid edge que ya se conocía, obteniendo una importación del diseño completo en Femap.

A continuación se realizó el mallado, en un primer momento puede resultar una tarea fácil, dado que existen herramientas dentro del programa que automallan la estructura. Se intento mallar de esa manera utilizando elementos tetraédricos, obteniendo el siguiente resultado.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

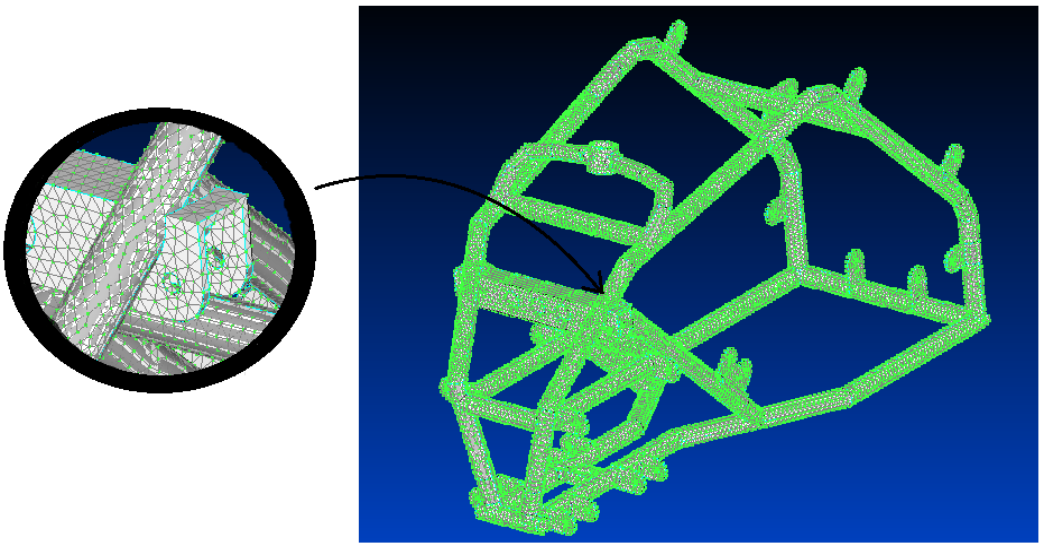


Figura 43. Mallado tetraédrico

En un primer momento parecía que el mallado ya estaba hecho, pero mucho más lejos de la realidad, ya que en los siguientes pasos este tipo de mallado da problemas, más que problemas no es el adecuado para mallar estructuras de este tipo NI LO MÁS EXACTO, ya que se necesita al menos mallar con dos elementos en el espesor, por tanto el tamaño del modelo resultante será de millones de elementos, seguramente imposible de calcular. Tras investigar en diferentes foros y tutoriales de internet, se llego a la conclusión de que este tipo de estructuras deben ser malladas primero con elementos 1-D tipo viga.

Eso fue lo que se hizo al final para conseguir mallar adecuadamente la estructura, pero esto resulto evidentemente mucho más tedioso que el automallado. Primero hubo que dibujar la geometría nuevamente en Femap, los ejes de los tubos concretamente, cabe destacar que las herramientas de dibujo de femap no son como las de cualquier programa CAD, lo que no facilitó este dibujo.

Una vez realizado el dibujo de los ejes de los tubos, se asignó cuantos nodos iba a haber en cada una de las curvas dibujadas, en la siguiente figura se puede ver como quedó la estructura dibujada mediante curvas y como están distribuidos los nodos (en verde) a lo largo de dichas curvas.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

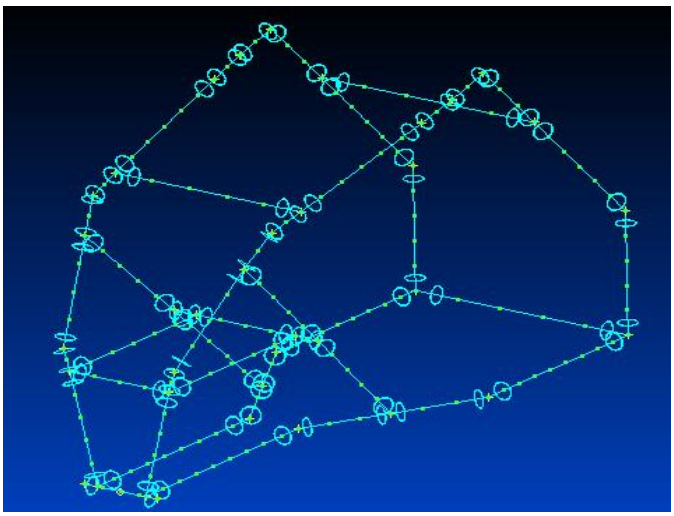


Figura 44.- estructura con curvas

En la figura 44 de arriba también se puede ver como alrededor de cada una de las curvas hay unos círculos, éstos están ahí ya que previamente se han definido las propiedades de mallado y del material, se ha utilizado para el mallado elementos BEAM, que se utilizan para mallar vigas, dentro de las posibles vigas se ha seleccionado la opción CIRCULAR TUBE y se le ha asignado el diámetro interior y exterior de los tubos que se han utilizado en el diseño en Solid edge.

Una vez que se asignaron todas las propiedades de mallado se procedió a realizar el mallado utilizando el mallado a través de curvas.

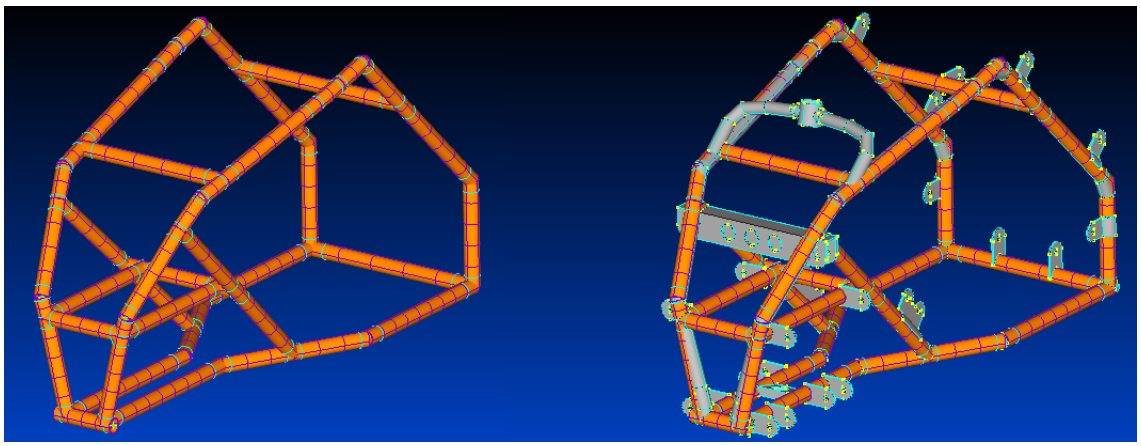


Figura 45. Mallado

En la figura. 45 a la izquierda se puede ver como queda el mallado y por otra parte a la derecha se ve la estructura del mallado sobre el diseño importado y se puede ver como prácticamente coinciden las dos estructuras, luego el mallado se ha realizado con éxito.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

5.2.- APLICACIÓN DE LAS CARGAS Y CONDICIONES DE CONTORNO

5.2.1.- ENSAYO DE RIGIDEZ

Para realizar este ensayo primero se ha empotrado la parte posterior como se ha dicho en apartados anteriores, este empotramiento son las condiciones de contorno que se han puesto en este ensayo, para ello, con la herramienta *constranint on curve* se han empotrado tres bajar dejándolas si ningún grado de libertad (restricciones en color rojo). Por otro lado se han unido las cuatro esquinas de la parte delantera de la estructura y se ha ejercido un momento de 500 N*m (en amarillo) en el centro sobre un nodo con el comando *load on node*, tal y como se puede ver en la figura. 46.

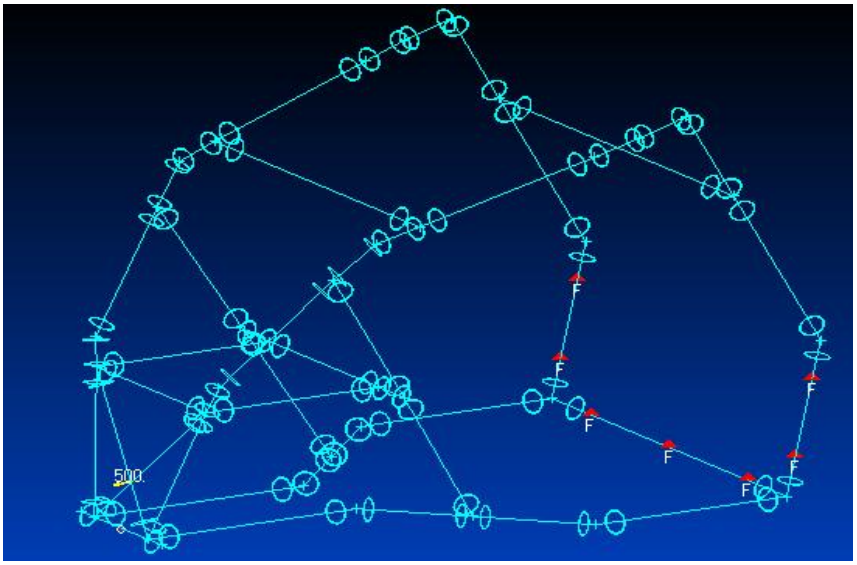


Figura 46. Fuerzas-restricciones rigidez

5.2.1.- PESO PROPIO

De la misma forma, se han aplicado las fuerzas calculadas en el apartado anterior para el caso de peso propio en cada punto de unión de las diferentes partes del quad, los vectores resultantes se pueden ver en la siguiente imagen.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

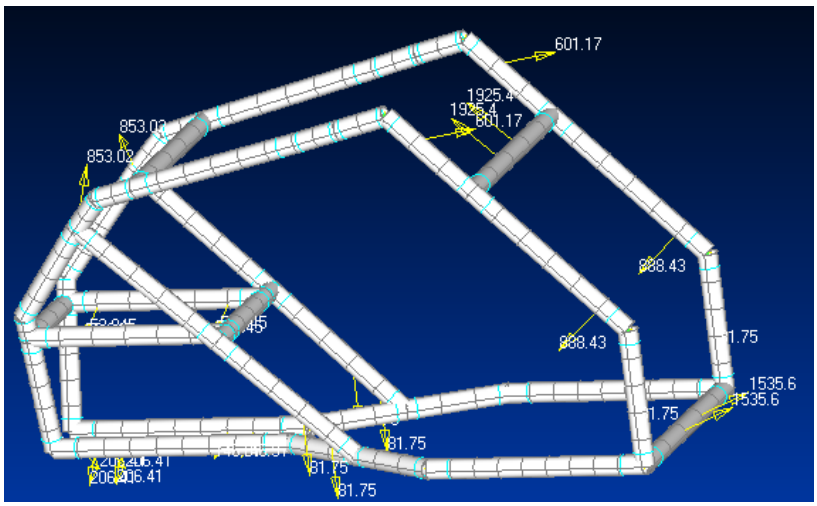


Figura 57. Cargas peso propio

5.2.2.- FRENADA BRUSCA

Se han aplicado las fuerzas calculadas en el apartado anterior para el caso de frenada brusca en cada punto de unión de las diferentes partes del quad, los vectores resultantes se pueden ver en la siguiente imagen.

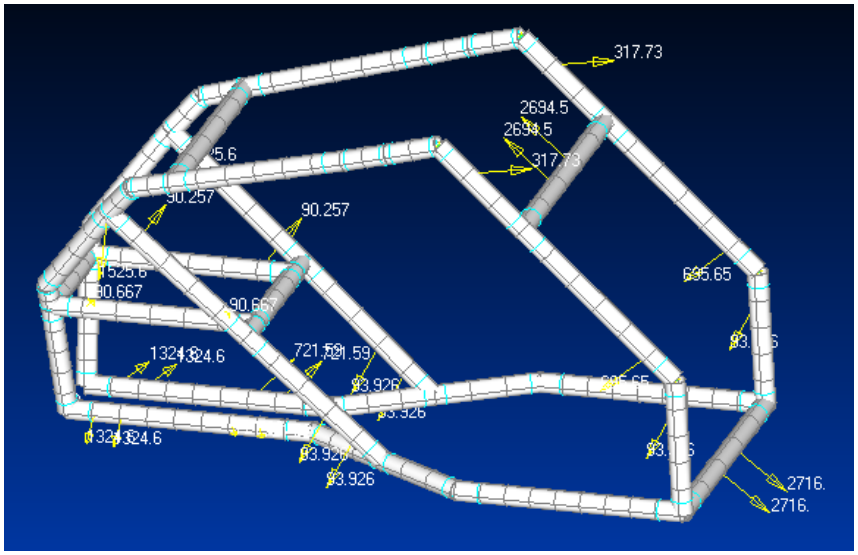


Figura 58. Cargas frenada brusca

5.2.3.- SALTO DE 5 METROS

Para este caso también se han aplicado las fuerzas calculadas en el apartado anterior en cada punto de unión de las diferentes partes del quad, los vectores resultantes se pueden ver en la siguiente imagen

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

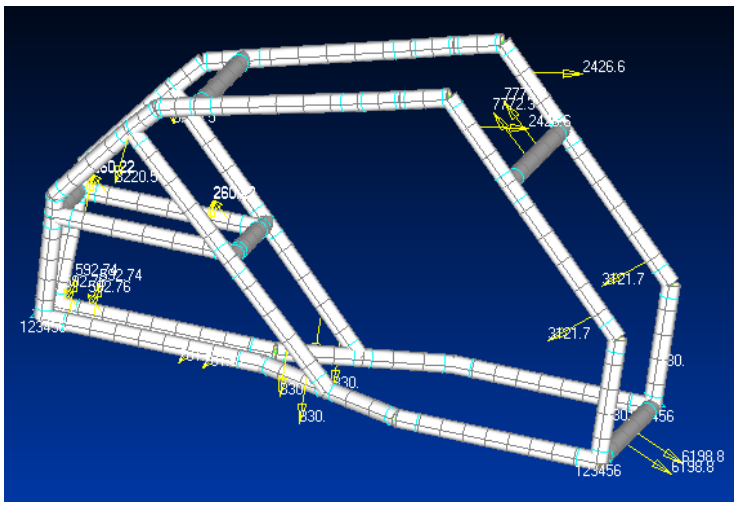


Figura 59. Cargas salto de 5metros

5.3.- RESULTADOS

5.3.1.- DESPLAZAMIENTO PESO PROPIO

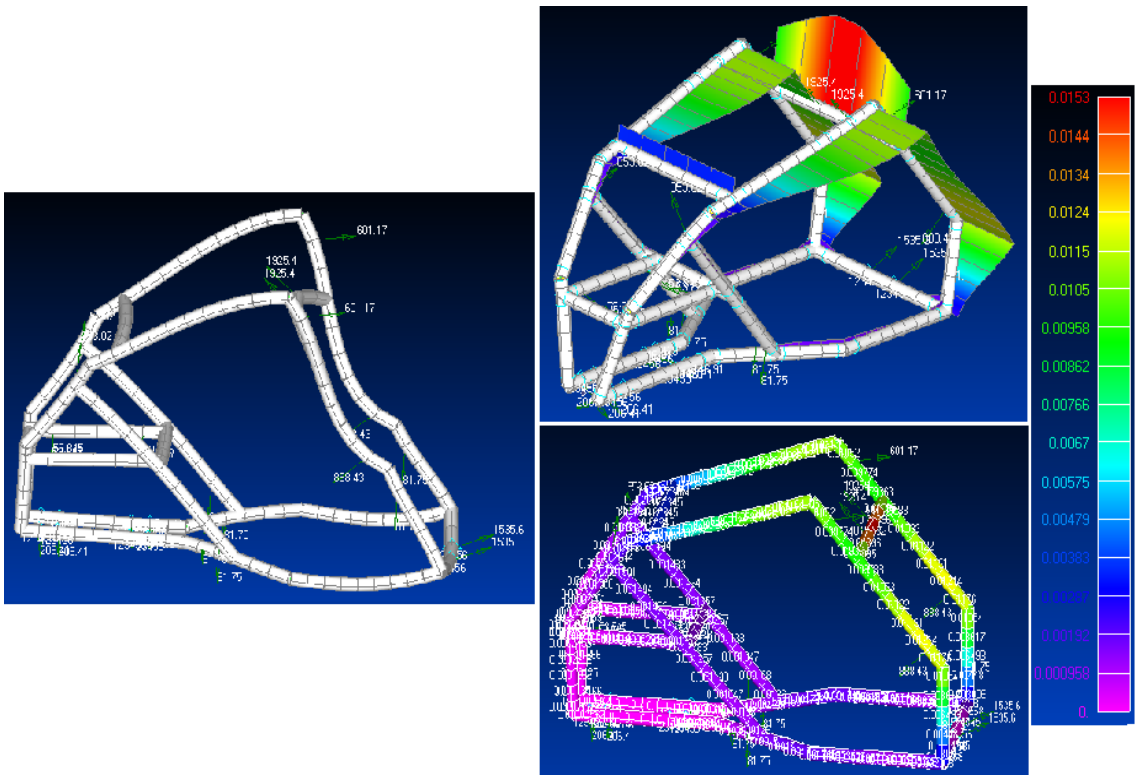


Figura 60. Deformaciones peso propio

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

5.3.2.- DESPLAZAMIENTO FRENADA BRUSCA

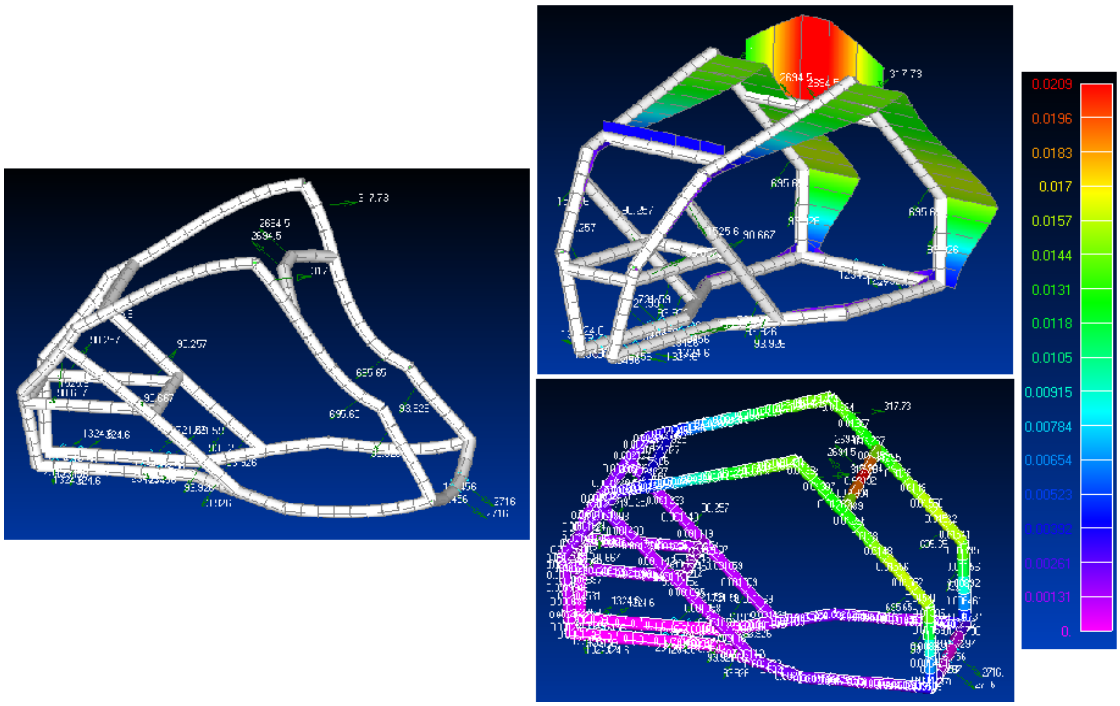


Figura 61. Deformaciones frenada brusca

5.3.3.- DESPLAZAMIENTOS SALTO DE 5 METROS

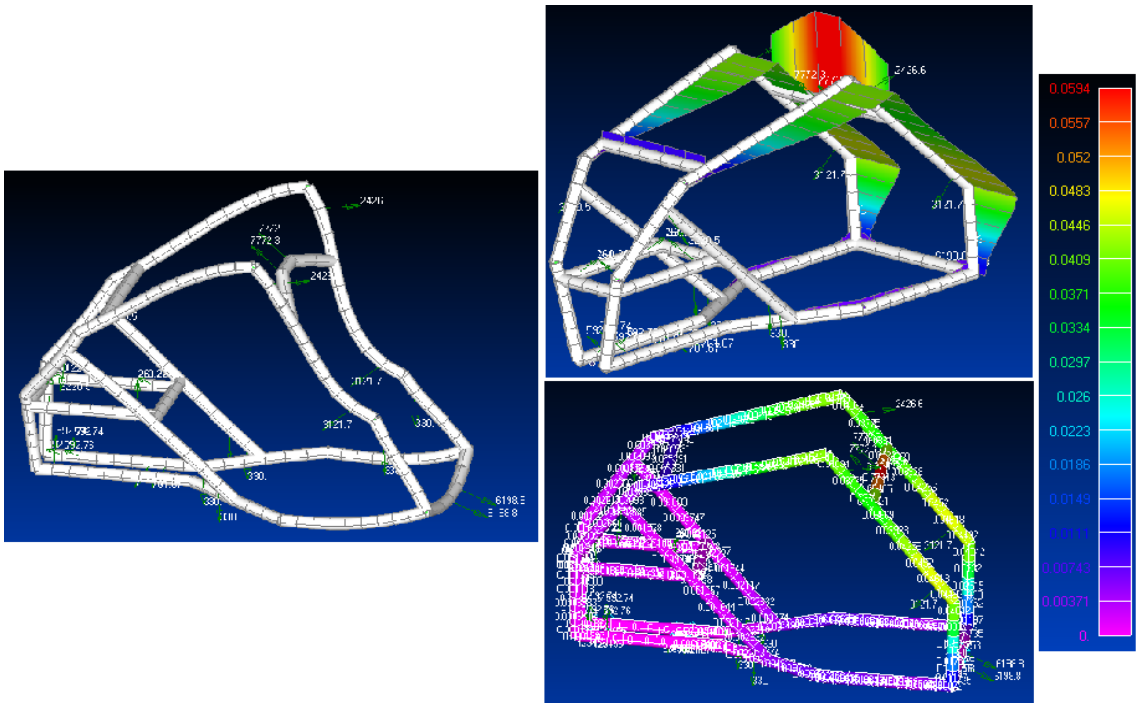


Figura 62. Deformaciones salto de 5 metros

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Se puede ver, que en los tres casos la mayor deformación se da en la parte posterior de la estructura, en la barra transversal que sujeta el amortiguador trasero. Pero en ninguno de los caso esa deformación supondrá un problema ya que la mayor deformación que se da, en el caso de caída de 5 metros, no llega ni a la decima de milímetro, 0,0594 mm concretamente.

5.3.4.- RIGIDEZ

Tras el ensayo de rigidez, se ha calculado el ángulo girado por un punto de la estructura, este ángulo ha sido de 0,1124 grados. Utilizando la formula descrita en el apartado de rigidez, se ha obtenido la rigidez de la estructura.

Esto es, se ha dividido el momento aplicado de 500 N*m entre el ángulo girado, que es de 0,1124º lo que da una rigidez de 4448,39 N*m/º

Conociendo rigideces torsionales de algunos vehículos similares como la de un car-cross, vehículo muy similar al quad, que suelen poseer unos valores de rigidez aproximados de 4000N·m/º.

Luego, para que el diseño estructural cumpla las expectativas se debería obtener una rigidez de valor similar o mayor a la antes mencionada. Por lo que se puede decir que la rigidez de la estructura diseñada entra dentro los límites aceptables, así que, es válida.

5.3.5.- VON MISES

La tensión de Von Mises es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión. En ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles.

La tensión de Von Mises puede calcularse fácilmente a partir de las tensiones principales del tensor tensión en un punto de un sólido deformable, mediante la expresión:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

Sabido esto, se han obtenido los diagramas de la tensión de Von Mises para cada uno de los casos estudiados.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

¿Cuándo se aceptará el diseño como válido? Pues un diseño se aceptará cuando la tensión de Von Mises es inferior al límite elástico del material utilizado, pero aún así se aplicará un coeficiente de seguridad de 1,5. Por lo que la máxima tensión deberá ser inferior a 950/1,5, esto es 633,33Mpa

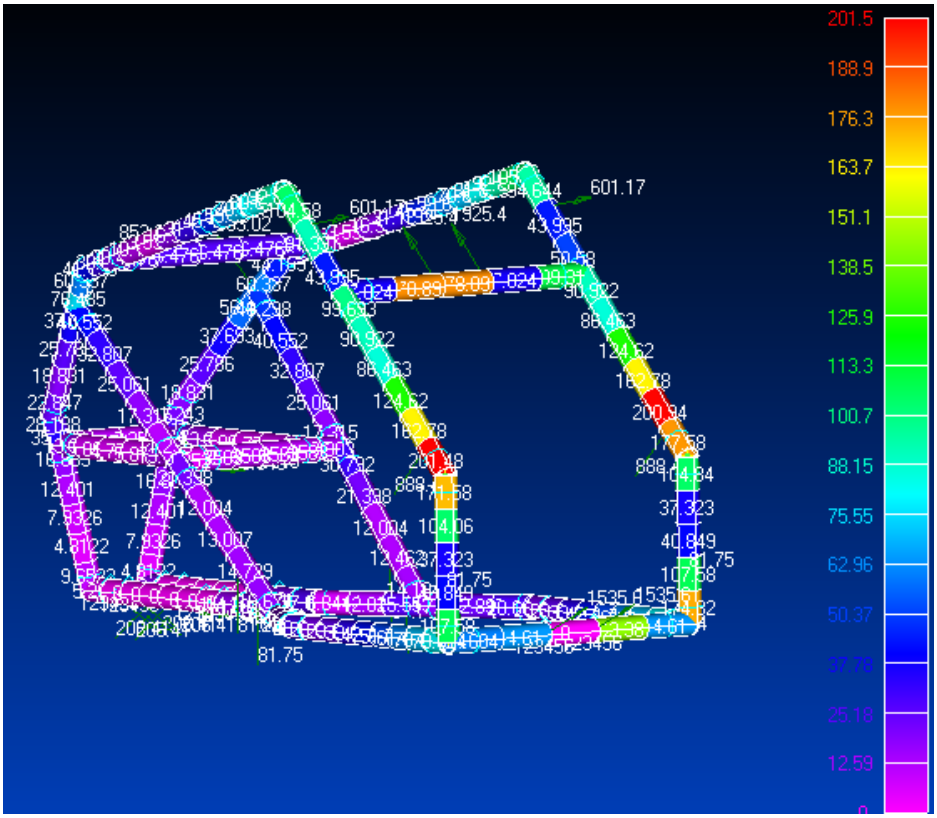


Figura 63. Peso propio

En la figura anterior se puede ver cuáles son los puntos más conflictivos a la hora de dar como válido el diseño para el caso de peso propio. Los puntos más conflictivos existentes son los del apoyo del amortiguador trasero y en especial los dos puntos de apoyo inferior del subchasis. Esta tensión asciende a 201,5 MPa el cual es muy inferior a 633,33Mpa, lo cual significa que se trata de un buen diseño para este caso al menos.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

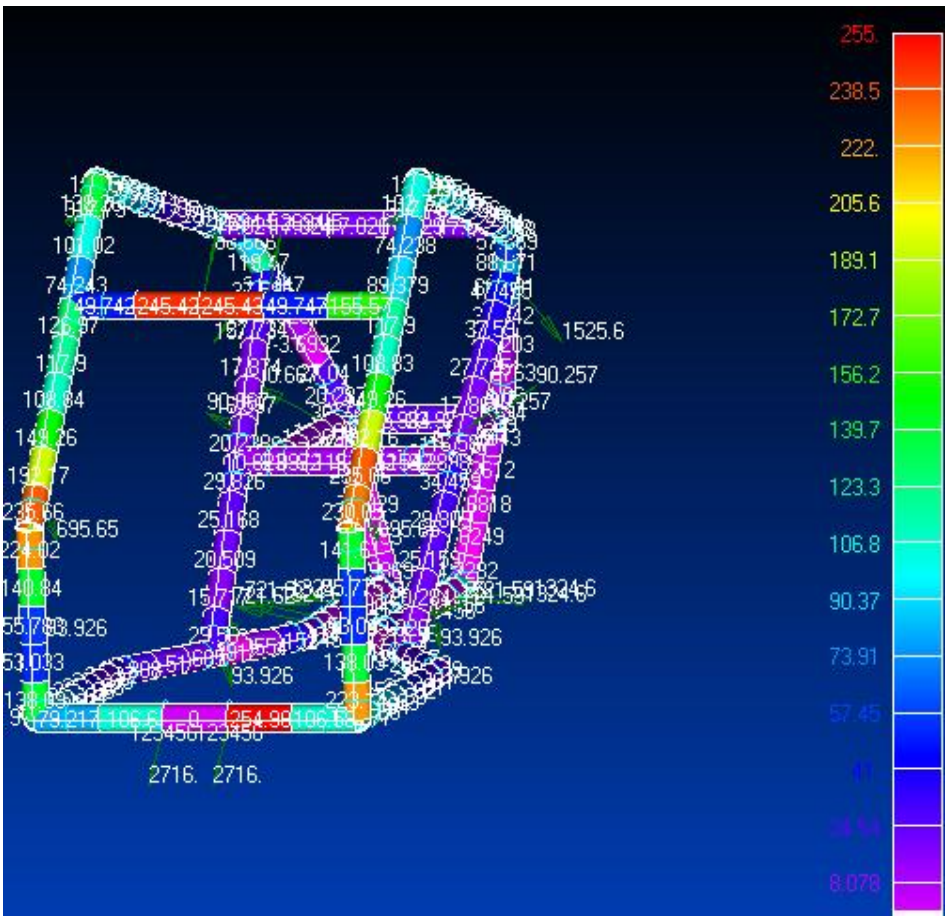


Figura 64. Frenada brusca

En este segundo caso, el de frenada brusca, siguen siendo los puntos más conflictivos los mismo del caso anterior pero al que se les ha sumado el punto de apoyo del basculante. Entre ellos los más peligroso son este último, el del apoyo del basculante y el del apoyo del amortiguador. En este caso la máxima tensión asciende a 255Mpa lo cual sigue sin ser una tensión lo suficientemente elevada para que el diseño no pueda ser validado.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

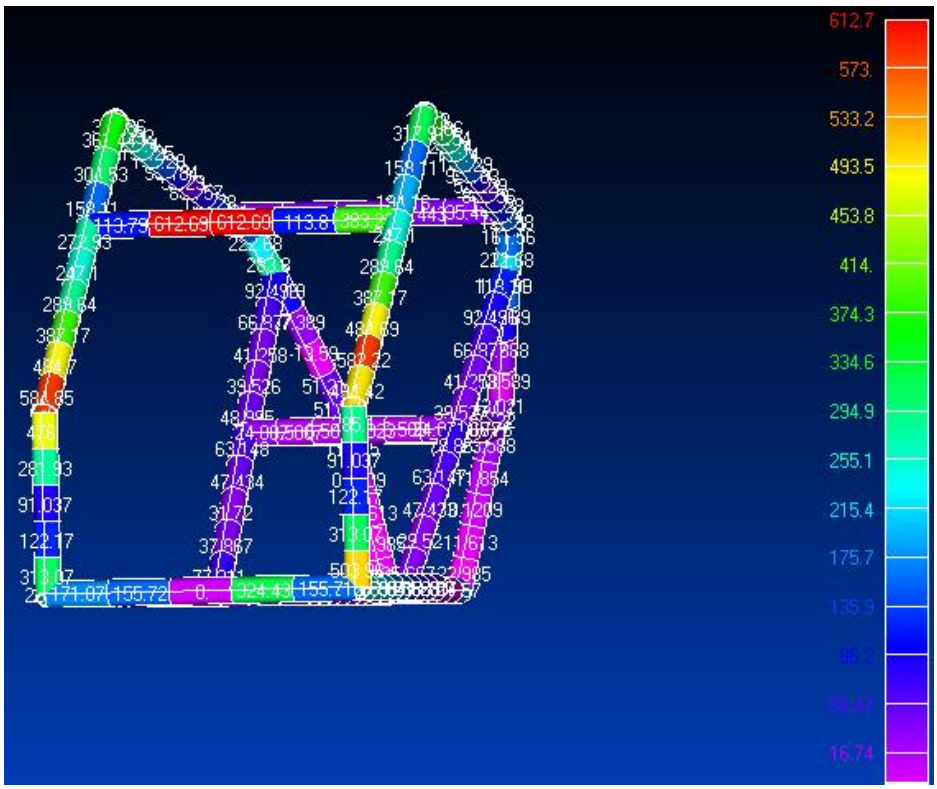


Figura 65. Caída de 5 metros

Esta última imagen corresponde al caso de caída de 5 metros, los puntos conflictivos vuelven a ser los del primera caso, esto es, el apoyo del amortiguador trasero y los apoyos inferiores del subchasis.

En este caso las tensiones son bastante mayores que las de los dos casos anteriores, estos resultados no han sorprendido dado que las cargas calculadas para este caso son bastante superiores a los otros dos casos.

La máxima tensión se da en el apoyo del amortiguador del basculante, que asciende a 612,7 MPa, algo inferior al límite establecido de 633,33 MPa, la proximidad de la máxima tensión a la tensión límite no es preocupante dado que se ha aplicado un coeficiente de seguridad de 1,5 y además este caso de caída de 5 metros es un caso un tanto exagerado ya que los quads de competición de quadcross no realizan saltos de una altura tan elevada.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

6.- MÉTODO DE FABRICACIÓN

En el siguiente apartado se especifica el método de fabricación o los pasos a seguir para construir el chasis del quad. El proceso estará basado en cuatro fases:

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

Los costes del proceso de fabricación de la estructura tubular tienen una parte importante del coste total del vehículo, por este motivo se tienen que planificar y llevar a cabo con mucho cuidado.

Una manera de abaratar costes es reduciendo material, por lo que se puede optar por comprar tubos de dimensiones extra largas y del mismo diámetro y espesor, de esta manera también se reducen el número de uniones soldadas, a pesar de esto la empresa Reynolds solo suministra tubos de longitud determinada, luego no se podrá pedir que suministren tubos de dimensiones extra largas.

El trabajo en el taller para la producción de una estructura tubular tiene que seguir un proceso unidireccional. Una vez se tengan los materiales necesarios apilados en el taller para la construcción de la estructura se seguirán los siguientes pasos:

1. Marcado de tubos.
2. Corte por soplete o serrado de las barras.
3. Curvado de barras.
4. Preparación de los cantos para la soldadura.
5. Soldadura de tubos.
6. Corte de chapas y preparación para los soportes.
7. Soldadura de soportes.
8. Tratamiento superficial de la estructura tubular.

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

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Las uniones entre tubos de sección circular precisan de curvas multiplanares a las intersecciones, que evidentemente repercuten en el coste de fabricación. Estas curvas se pueden simplificar chafando los extremos de los tubos a soldar, aunque este método no es recomendable para la construcción de una estructura tubular debido a la gran concentración de tensiones que se acumulan en los extremos de las barras por la disminución de sección, con el consiguiente peligro de rotura por fatiga.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

7.- ESTUDIO ECONÓMICO

En este apartado se analizará la parte económica del proyecto, dividiendo este apartado en dos tipos de costes, por un lado estarán los costes de ingeniería y los costes derivados de los equipos y programas informados utilizados y por otro lado estarán los costos de producción.

7.2.- COSTOS DE INGENIERIA, EQUIPOS Y PROGRAMAS INFORMÁTICOS

Primeramente se mostrarán los precios unitarios de todos los elementos que componen el presupuesto de este proyecto:

PRECIOS UNITARIOS			
Elemento	**Denominación**	**Cantidad**	**Precio Unitario (€)**
Ingeniería			
1	Ing. Recién titulado	1000 horas	20
2	Consultas al tutor del proyecto	8 horas	50
Equipos y programas informáticos			
3	Licencia Solid Edge (educativa)	1	1500
4	Licencia Office 2007	1	200
5	Licencia Femap-Nastran	1	1500*
6	Microsoft Windows 7	1	200
7	Ordenador	1	600

Tabla 14. Precios unitarios

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

* El precio de esta licencia es aproximado, ya que los proveedores de este software no facilitan el precio de éste a cualquier cliente. El precio que se le ha asignado a esta licencia, se corresponde con el precio de una licencia educativa.

PRECIOS TOTALES	
Denominación	**Subtotal (€)**
Ingeniería	**20400 €**
Ing. Recién titulado	20000
Consultas al tutor del proyecto	400
Equipos y programas informáticos	**4000 €**
Licencia Solid Edge (estudiante)	1500
Licencia Office 2007	200
Licencia Femap-Nastran	1500
Microsoft Windows 7	200
Ordenador	600

Tabla 15. Precios totales

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

7.2.- COSTOS DE FABRICACIÓN

En este segundo apartado, los costos que se van a describir son los de producción, con producción lo que se quiere decir es, toda manipulación que hay que hacer sobre los tubos de acero para así poder construir la estructura deseada así como los materiales utilizados.

En caso de que se decidiera fabricar varios modelos, los costes de los materiales así como los de mano de obra se verían reducidos.

PRECIOS UNITARIOS			
Elemento	**Denominación**	**Cantidad**	**Precio Unitario (€)**
Materiales			
1	Tubos de acero Reynolds 631 28,4 x 1,2	22 tubos	13,33
2	Imprimación y pintura	1 + 1	10
Procesos de fabricación			
3	Corte	3 horas	20 €/h
4	Doblar tubos	2 hora	20 €/h
5	Soldadura	4 horas	20 €/h
6	Imprimación y pintura	1 horas	20 €/h

Tabla 16. Precios unitarios (fabricación)

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

PRECIOS TOTALES	
Denominación	**Subtotal (€)**
Materiales	**305,26**
Tubos de acero Reynolds 631	293,26
Imprimación y pintura	20
Procesos de fabricación	200
Corte	60
Doblar tubo	40
Soldadura	80
Imprimación y pintura	20

Tabla 17. Precios totales (fabricación)

Al no disponer de las herramientas necesarias para realizar todo el proceso de fabricación, se ha optado por alquilar un taller con la maquinaria necesaria para la realización del chasis. El precio que se ha estimado por el alquiler mensual de un taller de estas características ha sido de 1500 €.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

7.3.- PRESUPUESTO GENERAL

Costo de ingeniería…….20400 €

Equipos y programas informáticos……..4000 €

El coste total de la ejecución del proyecto es de **24400 €**

Costes de fabricación 505,26 € + alquiler

7.4.- RENTABILIDAD

La rentabilidad de un proyecto de este calibre es difícil de valorar, ya que hasta que el producto no esté a la venta no es fácil saber la aceptación que tendrá en el mercado.

Para realizar un evaluación rápida de la rentabilidad de este proyecto, se recurrirá a los costos anuales con el fin de saber cuantas unidades serían necesarias vendar para que el proyecto sea rentable.

Los chasis de un quad de competición que se pueden encontrar en el mercado varían mucho en sus precios, se pueden encontrar a partir de los 1200 € y su precio puede llegar incluso a los 1500.€

A la hora de hacer los cálculos de rentabilidad se pecara un poco de conservador y se harán estos cálculos con un precios a la venta del chasis diseñado de 1500€. Luego en un año los gastos que se tendrán serán los siguientes: 18000€/anuales de alquiler del taller, 24900€ del proyecto y 485,26 € por estructura. Con estos costos para que el proyecto sea rentable habría que vender 42 unidades anuales.

Parece que es una cantidad de venta razonable, ya que los costos de fabricación como se ha dicho anteriormente se verán disminuidos y también estaría la posibilidad de comprar la maquinaría necesaria para la producción ya que se amortizaría fácilmente en poco tiempo.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

8.- CONCLUSIONES

La elaboración de este proyecto ha estado centrada en el diseño del un chasis que proporcione las óptimas prestaciones a un quad para la competición de quadcross PDV. Durante el proyecto se han desarrollado los distintos pasos para ir definiendo la geometría del chasis, hasta llegar al diseño definitivo.

Para alcanzar el diseño definitivo se han tenido que realizar numerosos estudios preliminares, como el estudio de la geometría más apropiada del chasis para su uso en competición, el material a utilizar, etc.

La búsqueda y el estudio de los diferentes programas que se han utilizado ha resultado ser muy costosa dado que han surgido muchos problemas en relación a estos programas. Búsqueda costosa de estos, fallos de compatibilidad entre programas y por último y no menos importante el aprendizaje de estos programas dado que se desconocía la utilización de ninguno de ellos. A pesar de estos problemas se ha conseguido un dominio suficiente de ellos para poder realizar el proyecto, lo cual resulta interesante, ya que estos programas probablemente resulten de gran utilidad en futuros proyectos o trabajos.

Una vez concluido el proyecto, la primera y más importante conclusión es que no hay un método totalmente automatizable para diseñar y calcular un chasis para un quad. Es necesaria una mente creativa, la del ingeniero, para tomar decisiones en parte subjetivas respecto a los cambios de geometría que se pueden dar a la geometría hasta alcanzar u obtener el diseño definitivo.

Por esto mismo la valoración del proyecto por el autor puede llegar a ser muy subjetiva y hasta que no se comercialice el chasis y se vea en realidad la aceptación del producto por parte de los clientes no se sabrá exactamente el valor o la calidad del diseño realizado.

A pesar de esto, hay varios datos objetivos que se pueden valorar y obtener unas conclusiones muy positivas del proyecto realizado como son el acero elegido y el presupuesto.

El material elegido, se ha considerado que ha sido una muy buena elección, antes del análisis de elementos finitos, se conocía que el material elegido Reynolds 631, era un acero de muy buena calidad y se ha demostrado tras el análisis de elementos finitos ya que ha soportado bien todos los ensayos realizados. El único pero que se le podría poner es el de que existen materiales algo peores pero económicamente más baratos como el acero 4130, pero se ha querido anteponer la calidad al precio dado que el precio tampoco es demasiado elevado.

En cuanto al presupuesto se ha podido ver que no se trata de un proyecto barato pero si rentable a corto plazo, aunque como se ha mencionado con anterioridad el éxito o la rentabilidad de este proyecto depende mucho de la aceptación del chasis por parte de los clientes.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Los resultados obtenidos en este proyecto confirman la validación del diseño pero se piensa que en el futuro se deberían de abrir diferentes líneas de trabajo para confirmar el buen diseño realizado. A continuación se analizarán algunas de las posibles futuras líneas de trabajo.

El chasis se ha diseñado teniendo en cuenta únicamente las cargas que pueden considerarse estáticas. Durante la conducción de estos vehículos en competición, es evidente que se producen cantidad de vibraciones, que los esfuerzos provenientes del terreno tienen una distribución variable debido a la irregularidad del terreno de las competiciones de quadcross. Esto hará que el chasis con el tiempo pueda fallar debido a esfuerzos de fatiga.

Por otra parte todo vehículo está expuesto a colisiones o vuelcos que son más habituales de lo que se desearía y que tienen consecuencias normalmente graves. Según las revistas especializadas es conveniente que el chasis absorba estos esfuerzos deformándose. Esto requiere que en determinadas zonas el chasis tenga una rigidez relativamente pequeña. En este punto se llega a una contradicción con lo visto en el proyecto dado que lo que se ha estado buscando a la hora del diseño de la estructura ha sido que esta tenga un rigidez alta, por lo que habrá que establecer un equilibrio entre la rigidez y la flexibilidad de las distintas zonas del chasis.

El mundo de la soldadura es muy amplio, por lo que en estudios futuros también se podría hacer un estudio de las uniones entre los diferentes tubos que componen la estructura del chasis.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

9.- BIBLIOGRAFÍA

- FUNDAMENTALS OF VEHICLE DINAMICS.
  Thomas D. Gillespie. Society of Automotive Engineers
- ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE PERFILES TUBULARES. CIDECT. J. Rondal, K.G. Würker, D. Dutta 1996
- MOTORCYCLE DESIGN AND TECHNOLOGY
  Gaetano Cocco
- TEORÍA DE LOS VEHICULOS AUTOMÓVILES
  F. Aparicio, C. Vera y V. Díaz 2001
- Manuales solid edge
- Manuales Femap
- www.quadtreros.com
- www.wikipedia.com
- http://reynoldstechnology.biz/our_materials_631.php/
- http://www.motoyquad.es
- http://perimotocross.wordpress.com/category/quad/page/2/
- www.pdvracing.com
- www.iberisa.com

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

ANEXOS

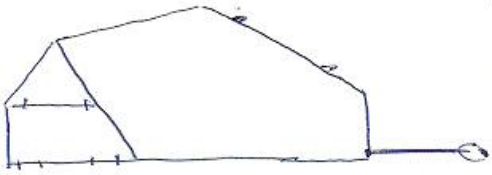
upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

ANEXO I

CÁLCULOS

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Peso propio



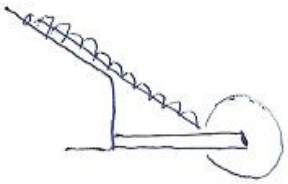
Peso 175 kg
Piloto 80 kg
Combustible 8 kg

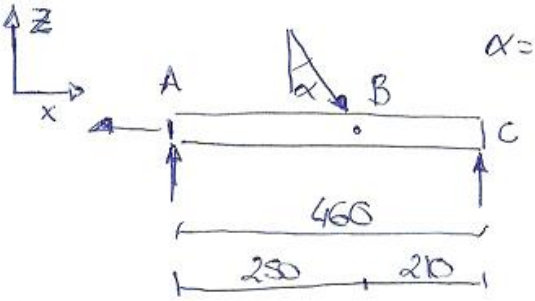
263 kg

Distribución

45% delante → 118'35 kg → 1161'01 N
55% detrás → 144'65 kg → 1419'01 N

- Basculante





$\alpha = 47'31°$

$\Sigma M_A = 0$

$$1419'01 \cdot 460 = F_B \cos\alpha \cdot 250$$

$$F_B = 3850'82\,N \quad \begin{cases} F_{Bx} = -2830'48\,N \\ F_{Bz} = 2618'97\,N \end{cases}$$

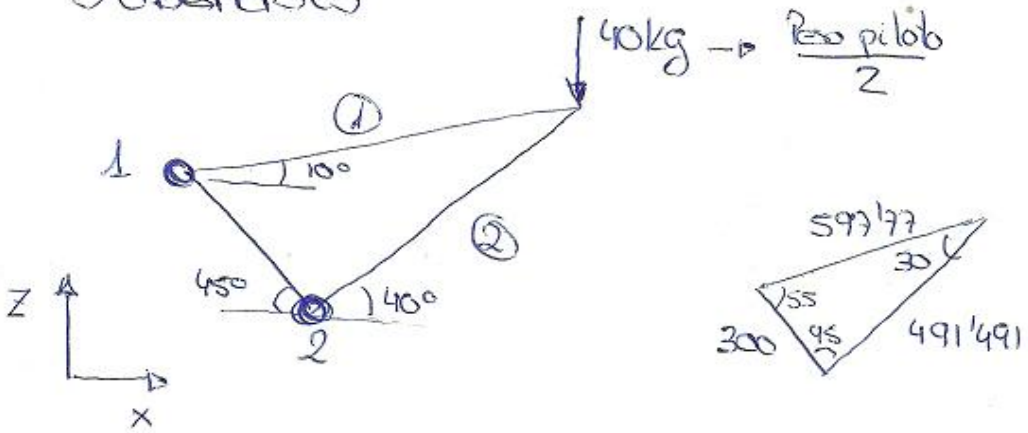
$\Sigma F_x = 0$

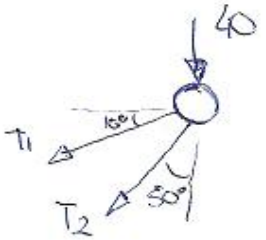
$$F_{Ax} = 2830'48\,N$$

$\Sigma F_z = 0$ $\quad F_{Az} = 2618'97 - 1419'01 = 1199'96\,N$

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

- Subchasis





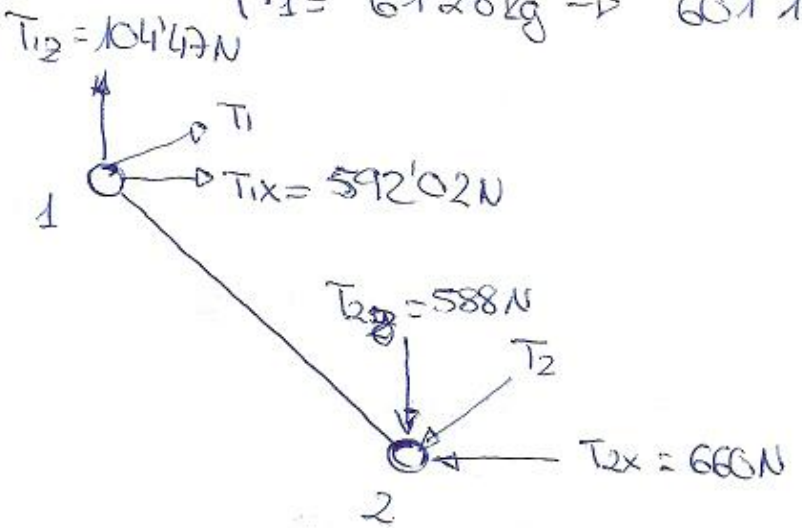
$$\begin{cases} T_1 \cos 10 + T_2 \operatorname{sen} 50 = 0 \\ -40 = T_1 \operatorname{sen} 10 + T_2 \cos 50 \end{cases}$$

$$T_1 = -T_2 \frac{\operatorname{sen} 50}{\cos 10} = -T_2 \cdot 0'7778$$

$$-40 = -T_2 \cdot 0'13907 + 0'642787\, T_2$$

$$-40 = 0'507717\, T_2$$

$$\begin{cases} T_2 = -78'78\,kg \rightarrow 772'87\,N \\ T_1 = 61'28\,kg \rightarrow 601'156 \end{cases}$$



upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Frenada brusca

Deceleración de 100 km/h a 0 km/h en 5 segundos

100 km/h → 27'77 m/s

$$a = \frac{V_0 - V_f}{t} = \frac{0 - 27'77 m/s}{5s} = -5'55 m/s^2$$

Reparto de frenada → 80% delante y 20% detrás

Fuerza de frenada = Peso · Aceleración = 263 · 5'55 = 1459'65 N

- Delante = 1167'72 N
- Detrás = 291'93 N

Transferencia de peso longitudinal = $a \cdot \frac{P \cdot H_{CG}}{\text{dist entre ejes}}$

$$F_{P\,long} = 5'55 \cdot \frac{263 \cdot 500}{1275} = 567'25 N$$

Fuerza de peso total en el eje trasero = Fpeso propio + Fplongitud

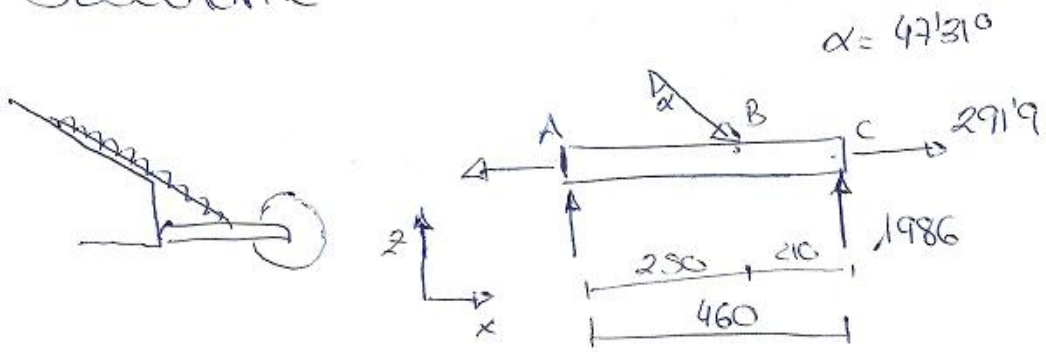
$$F_{Pt} = 1419 + 567'25 N = 1986'25 N$$

Fuerza del piloto anclaje = 80 · 5'55 = 440 N → 220 para cada

Fuerza de peso del piloto = 80 · 9'81 = 784'48 → 392'4 N para cada anclaje.

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

- Basculante



$\Sigma M_A = 0$

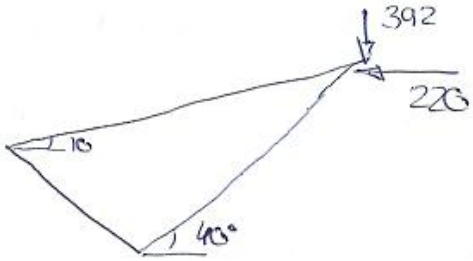
$$1986 \cdot 460 = F_B \cos 47'31 \cdot 250$$

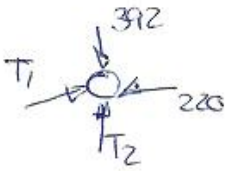
$$F_B = 5389'5\,N$$

$\Sigma F_z = 0$ $\quad F_{Az} = 5389'5 - 1986 = 3403'5\,N$

$\Sigma F_x = 0$ $\quad F_{Ax} = 5389'5 \cos 47'31 + 291'9 = 4253'5\,N$

- Subchasis





$$T_1 \cos 10 + T_2 \cos 40 = 220$$

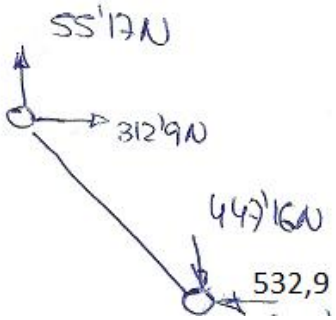
$$T_1 \operatorname{sen} 10 + T_2 \operatorname{sen} 40 = 392$$

$$T_1 = \frac{220 - T_2 \cos 40}{\cos 10}$$

$$[220 - T_2 \cos 40]\, tg\, 10 + T_2 \operatorname{sen} 40 = 392$$

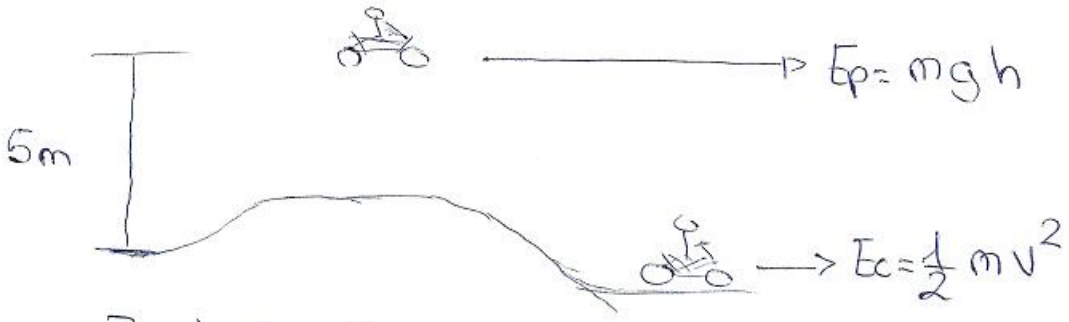
$$-0'13507\, T_2 + 0'64278\, T_2 = 353'2$$

$$\begin{cases} T_2 = 695'66\,N \\ T_1 = -30'73\,N \end{cases}$$



upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

Salto de 5 metros



Igualo las dos energías porque la energía se conserva y obtengo la velocidad en el momento del impacto

$$mgh = \frac{1}{2} mv^2$$

$$V = 9'9 \, m/s$$

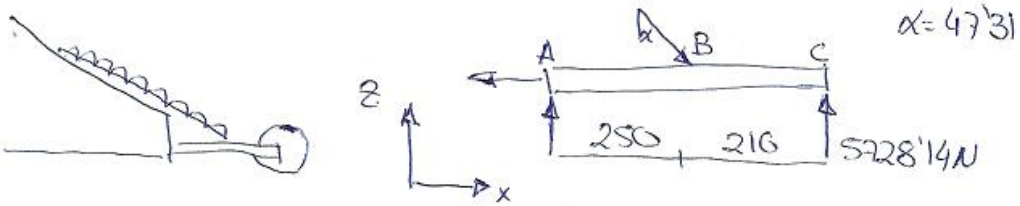
Supongo el tiempo que tarda en comprimirse el muelle → t = 0'25s

$$a = \frac{V - V_0}{t} = \frac{-9'9}{0'25} = 39'6 \, m/s^2$$

Fuerza en el el eje trasero

$$F = 0'55 \cdot 263 \cdot 39'6 = 5728'14 \, N$$

- Basculante



$$\Sigma M_A = 0$$

$$5728'14 \cdot 460 = F_B \cos 47'31 \cdot 250$$

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

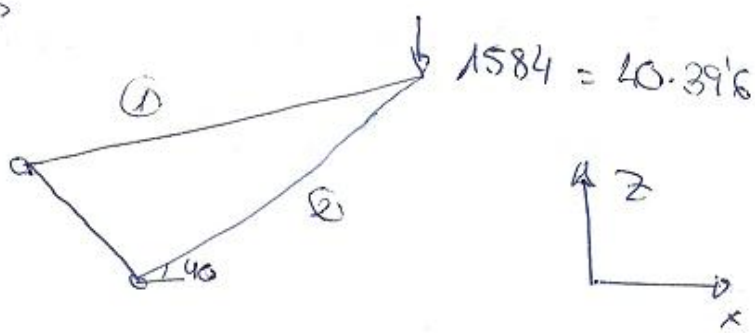
$F_B = 15544'67\,N \begin{cases} F_{Bz} = 10539'77\,N \\ F_{Bx} = 11425'8\,N \end{cases}$

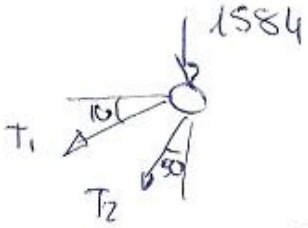
$\Sigma F_z = 0$

$F_{Az} = 10539'77 - 5728'14 = 4811'63\,N$

$\Sigma F_x = 0 \qquad F_{Ax} = 11425'8\,N$

- Subchasis





$T_1 \cos 10 + T_2 \operatorname{sen} 50 = 0$

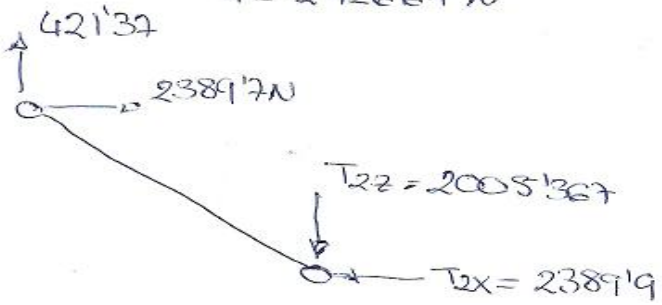
$1584 = T \operatorname{sen} 10 + T_2 \cos 50$

$T_1 = -T_2 \dfrac{\operatorname{sen} 50}{\cos 10} = -T_2 \cdot 0'7778$

$1584 = -T_2 \cdot 0'13507 + 0'642787\, T_2$

$T_2 = 3119'8\,N$

$T_1 = -2426'61\,N$



upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira

ANEXO II

PLANOS

upna Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa
Todos los derechos reservados
Eskubide guztiak erresalbatu dira