

TREBAJO FINAL DE GRADO

Grado en Ingeniería Mecánica

DISEÑO DE UN TIOVIVO A PEDALES



Memoria y Anexos

Autor: Oscar Martin Perez

Director: Eduard Calduch

Convocatoria: Octubre 2017

INDICE

1. Resumen	8
2. Resum	9
3. Abstract.....	10
4. Introducción	11
4.1. Objetivos del trabajo	11
4.2. Abasto del trabajo.....	11
5. Normativa aplicada	12
6. Especificaciones básicas	13
6.1. Introducción	13
6.2. Medidas conjunto	13
6.3. Conjunto modular	13
6.4. Peso	13
6.5. Movimiento y velocidad	13
6.6. Seguridad	14
6.7. Materiales	14
6.7.1. Acero.....	14
6.7.2. Madera.....	15
6.7.3. Plásticos.....	15
6.8. Elementos normalizados	15
6.8.1. Rodamientos	15

6.8.2.	Elementos de fijación	15
6.8.3.	Cables de acero	16
7.	Componentes tiiovivo	17
7.1.	Conjunto	17
7.2.	Despiece del conjunto	18
7.2.1.	Piezas estructura.....	18
7.2.1.1.	Piezas diseñadas.....	19
7.2.1.1.1	Barra horizontal agujeros	19
7.2.1.1.2	Circulo superior	19
7.2.1.1.3	Barra cuadrada	20
7.2.1.2.	Piezas normalizadas o compradas	21
7.2.1.2.1	Caballitos	21
7.2.1.2.2	Cables de acero	21
7.2.1.2.3	Grilletes.....	22
7.2.1.2.4	Tornillos y tuercas	22
7.2.2.	Piezas del mecanismo de transmisión a la estructura.....	23
7.2.2.1.	Piezas diseñadas.....	24
7.2.2.1.1	Eje para rodamiento.....	24
7.2.2.1.2	Carcasa rodamientos.....	24
7.2.2.1.3	Sujeta rodamiento superior	25
7.2.2.1.4	Chain wheel ISO - 40Z 12B-1	26

7.2.2.2.	Piezas normalizadas o compradas	27
7.2.2.2.1	Rodamientos.....	27
7.2.2.2.2	Chaveta.....	27
7.2.2.2.3	Anillo tuarc	28
7.2.2.2.4	Patas.....	28
7.2.2.2.5	Tornillos.....	28
7.2.3.	Caja engranajes	28
7.2.3.1.	Piezas diseñadas.....	29
7.2.3.1.1	Eje horizontal	29
7.2.3.1.2	Eje vertical.....	30
7.2.3.1.3	Estructura caja	30
7.2.3.1.4	Sujeta rodamiento	31
7.2.3.1.5	Sujeta rodamiento eje horizontal D25	32
7.2.3.1.6	Sujeta rodamiento eje horizontal D25 roscado.....	32
7.2.3.1.7	Sujeta rodamiento eje horizontal.....	32
7.2.3.1.8	Sujeta rodamiento eje horizontal roscado	33
7.2.3.1.9	Protecciones caja.....	33
7.2.3.1.10	Grueso tronillo.....	34
7.2.3.1.11	Chain wheel ISO - 21Z 12B-1	35
7.2.3.1.12	Chain wheel ISO - 40Z 06B-1	35
7.2.3.1.13	Engranaje cónico 32 dientes.....	36

7.2.3.1.14	Engranaje cónico 16 dientes	37
7.2.3.2.	Piezas normalizadas o compradas	38
7.2.3.2.1	Freno.....	38
7.2.3.2.2	Rodamientos.....	39
7.2.3.2.3	Truarc.....	41
7.2.3.2.4	Chavetas.....	41
7.2.3.2.5	Tornillos.....	42
7.2.3.2.6	Cadenas.....	42
7.2.3.2.7	Patatas.....	42
7.2.4.	Tarima con la bicicleta.....	43
7.2.4.1.	Piezas diseñadas.....	43
7.2.4.1.1	Tabla 2x1 agujeros.....	43
7.2.4.1.2	Sujeta bicicleta trasero	44
7.2.4.1.3	Sujeta bicicleta delantero	45
7.2.4.1.4	Barra protección.....	45
7.2.4.1.5	Tablero protección	46
7.2.4.1.6	Chain wheel ISO - 21Z 06B.....	46
7.2.4.2.	Piezas normalizadas o compradas	47
7.2.4.2.1	Tarima.....	47
7.2.4.2.2	Bicicleta.....	48
7.2.4.2.3	Tornillos.....	49

8.	Calculo y simulación de piezas	50
8.1.	Cálculo de velocidad.....	50
8.2.	Estudio antivuelco.....	51
8.3.	Cálculos para el diseño de piezas	51
8.3.1.	Cadenas.....	51
8.3.1.1.	Cadena Bicicleta – Caja.....	51
8.3.1.2.	Cadena Caja – Eje para rodamiento.....	52
8.3.2.	Cálculo engranajes cónicos.....	53
8.3.3.	Cálculos chavetas	54
8.4.	Cálculos y simulaciones de fatiga.....	54
8.4.1.	Eje vertical.....	54
8.4.1.1.	Cálculo manual	55
8.4.1.2.	Simulación Solidworks	56
8.4.1.3.	Comparación de resultados	59
8.4.2.	Eje horizontal.....	59
8.4.2.1.	Cálculo manual	59
8.4.2.2.	Simulación Solidworks	62
8.4.2.3.	Comparación de resultados	63
8.4.3.	Eje para rodamiento	64
8.4.3.1.	Cálculo manual	64
8.4.3.2.	Simulación Solidworks	65

8.4.3.3.	Comparación de resultados	69
8.4.4.	Barra cuadrada.....	70
8.4.4.1.	Cálculo manual	70
8.4.4.2.	Simulación Solidworks	71
8.4.4.3.	Comparación de resultados	74
8.5.	Simulación de la estructura.....	75
8.5.1.	Simulación de un número impar de niños	75
8.5.2.	Simulación con el tiiovivo a plena carga.....	78
9.	Impacto ambiental.....	83
9.1.	Fabricación.....	83
9.2.	Funcionamiento	84
9.3.	Fin de la vida de la atracción	84
10.	Conclusiones.....	85
11.	Bibliografía	86

ANEXO: CÁLCULOS

PLANOS

PRESUPUESTO

1. RESUMEN

En este trabajo de final de grado se quiere conseguir diseñar un tiovivo a pedales lo más desmontable posible para facilitar su movilidad y almacenaje. Para ello se tendrá en cuenta la normativa UNE-EN 13814 maquinaria y estructuras para parques y ferias de atracciones.

Para comprobar que el diseño es correcto se realizan diferentes cálculos como, por ejemplo, la resistencia de los ejes a fatiga. Para comprobar que estos cálculos son correctos se realiza una simulación mediante SolidWorks de los elementos críticos.

También se realizan los planos explosionados de los conjuntos y los de las piezas diseñadas. Para finalizar se calcula el presupuesto con el precio que costaría fabricar un prototipo.

2. RESUM

En aquest treball de final de grau es vol aconseguir dissenyar uns cavallets a pedals lo més desmuntable possible per facilitar la mobilitat i emmagatzematge. Per això es tindrà en compte la normativa UNE-EN 13814 maquinaria y estructuras per parques i ferries d'atraccions.

Per comprovar que el disseny es correcte es realitza diferents càlculs com, per exemple, la resistència dels eixos a fatiga. Per comprovar que aquets càlculs son correctes es realitza una simulació mitjançant SolidWorks dels elements crítics.

També es realitzen els plànols explosionats dels conjunts y els de les peces dissenyades. Per finalitzar es calcula el pressupost amb el preu que costaria fabricar un prototip.

3. ABSTRACT

In this final Project, it's wanted to design a carousel with pedals as detachable as possible to facilitate the mobility and storage. This will take into account the UNE-EN 13814 regulations of machinery and parks and fairgrounds structures.

To verify that the design is correct, different calculations are done, such as the resistance of the shafts to the fatigue. To prove that these calculations are right, a simulation is performed using the program SolidWorks.

Also, the drawings of the assemblies and the pieces are designed. To conclude, the budget of this project is calculated with the price that a prototype would cost.

4. INTRODUCCIÓN

4.1. Objetivos del trabajo

El proyecto tiene como objetivo diseñar un tiovivo movido por la fuerza humana. Para eso se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

El primer objetivo es que la máquina sea capaz de funcionar y realizar perfectamente su función.

El siguiente objetivo es cumplir con la normativa UNE-EN 13814, maquinaria y estructuras para parques y ferias de atracciones.

El conjunto deberá ser lo más desmontable y simple para poder facilitar su transporte y almacenaje.

4.2. Abasto del trabajo

En el TFG se ha realizado el diseño, presupuesto, cálculo y simulación de un tiovivo a pedales. Al tener solo un cuatrimestre y tiempo limitado no se ha podido realizar la simulación de fabricación de piezas por CAM. Al tratarse de maquinaria en la cual se ven envueltas personas, sobre todo niños, se tendría que realizar la fabricación de un prototipo y comprobar que todos los elementos funcionan correctamente.

5. NORMATIVA APLICADA

Para realizar el diseño y cálculos del tiovivo se utiliza la normativa UNE-EN 13814 maquinaria y estructuras para parques y ferias de atracciones versión de septiembre de 2006. Esta norma anula y sustituye a la antigua norma UNE 76601:2001.

Esta norma especifica los requisitos mínimos para garantizar la seguridad en el diseño, cálculo, fabricación, instalación, mantenimiento, funcionamiento, comprobación y ensayos de estructuras y maquinarias móviles, instaladas de manera temporal o permanente, tales como tiovivos, barcas, norias, montañas rusas, toboganes, graderíos, estructuras de membrana o textiles como barracas, estrados, casetas de feria y estructuras para exhibiciones aéreas. Las estructuras anteriormente citadas, llamadas a partir de ahora atracciones, están pensadas para ser instaladas en los parques de atracciones, ferias o localizaciones similares, de modo temporal o permanente, sin que sufran degradación o pérdida de integridad.

6. ESPECIFICACIONES BÁSICAS

6.1. Introducción

A continuación, se expondrán punto por punto las especificaciones y características adoptadas para realizar el diseño de este tiovivo.

6.2. Medidas conjunto

El conjunto montado ocupa una superficie de 5 m x 5 m debido a la tarima. La tarima tiene estas dimensiones para garantizar que haya suficiente superficie para que los niños puedan bajar del caballito sin peligro que caigan de la misma.

En cuanto a la altura, el punto máximo se encuentra en la parte superior del mástil con 2 metros 84 centímetros.

6.3. Conjunto modular

Se ha optado por realizar un diseño lo más modular posible para facilitar el montaje, transporte y sustitución de piezas dañadas.

6.4. Peso

El conjunto tiene un peso de 552kg en vacío. El conjunto no desmontable más pesado sería el encargado de mantener vertical y girar el mástil donde se sustentan los caballos. Este conjunto tiene un peso aproximado de 146kg. Es un peso elevado para levantar a pulso una o dos personas por eso se utilizará un carretillo.

6.5. Movimiento y velocidad

El tiovivo tiene una velocidad aproximada de entrada entre 100 y 80 rpm, para los cálculos se usa la velocidad media de 90rpm. La velocidad de salida aproximada es de 11,25 rpm.

Para realizar esta disminución de velocidad se usan 3 reducciones iguales de 1:2.

6.6. Seguridad

Al ser una atracción lúdica cumplirá con toda la normativa UNE-EN 13814. Además, debe prestarse más atención a la seguridad al tratarse de una atracción destinada a la diversión de niños.

Todos los mecanismos de transmisión están debajo de la tarima o con su protección para evitar que cualquier persona ajena a la atracción pueda acceder.

6.7. Materiales

Para realizar el conjunto se utilizan diferentes materiales, se usa el más conveniente según la función que tenga la pieza.

6.7.1. Acero

Siguiendo la normativa UNE-EN 13814 para los componentes estructurales, solo se pueden utilizar materiales cuyos datos de fabricación estén recogidos en las normas europeas sobre construcción. Cuando las uniones estructurales se realicen por soldadura, se debe prestar una consideración especial a la soldadura y ala soldabilidad de los metales seleccionados, conforme a las normas europeas aplicables.

La normativa recomienda unos aceros para componentes estructurales y otros para componentes de máquina. En este caso nos decantamos por un acero S235JRG2 que sirve tanto para componentes estructurales como componentes de máquina.

Equivalencias entre normas:

Denominación EN	Norma EN de referencia	Nº Material EN	Denominación DIN
10027-1		10027-2	V17006-100
S325JRG2	10025	1.0038	RSt 37-2

Tabla 1 Equivalencias entre normas de materiales

Propiedades de fatiga del acero S235JRG2:

Límite de fluencia cíclica σ_y' (MPa)	Exponente rotura cíclica n'	Coficiente rotura cíclica K' (MPa)	Coficiente rotura a fatiga σ_f' (MPa)	Exponente rotura a fatiga b	Coficiente dúctil de fatiga ξ_f'	Exponente dúctil de fatiga c
265	0,239	1170	931	-0,117	0,377	-0,4881

Tabla 2 Propiedades S235JRG2

6.7.2. Madera

La madera usada debe ser seleccionada de acuerdo con las normas a las que se hace referencia en la norma Europea Experimental ENV 1995-1-1. En este caso se utilizará madera de pino.

6.7.3. Plásticos

La selección de plásticos se debe realizar según normas europeas o, en ausencia de éstas, según normas nacionales aplicables a la utilización de los plásticos en elementos estructurales. En el conjunto se utilizará el plástico ABS.

6.8. Elementos normalizados

6.8.1. Rodamientos

Los rodamientos utilizados en el conjunto son de la marca SKF con el lubricante recomendado NLG2. Se usan rodamientos con rodillos cónicos para poder absorber tanto las fuerzas radiales como las axiales.

Los rodamientos se colocan en forma de rombo que es la forma recomendada para este tipo de mecanismo.

6.8.2. Elementos de fijación

Las tuercas y los pernos se deben seleccionar de los tipos 4.6, 5.6, 6.8, 8.8 y 10.9 de acuerdo con la Norma Europea EN ISO 898-1.

6.8.3. Cables de acero

Los cables de acero deberán cumplir la Normativa EN 12385, los terminales para cables de acero la EN 13411 y los grilletes la EN 13889.

7. COMPONENTES TIOVIVO

Para realizar el diseño del tiiovivo se han tenido que crear piezas desde cero y otras que son normalizadas o las puedes comprar.

7.1. Conjunto

El conjunto esta accionado por una bicicleta que transmite el movimiento reduciendo la velocidad a la mitad a un eje horizontal ubicado en la caja usando una cadena. Este le transmite el giro también reduciendo la velocidad a la mitad a un eje vertical que también se encuentra en la caja, mediante unos engranajes cónicos. El eje vertical pasa su movimiento a la pieza eje para rodamiento utilizando otra cadena que aporta la misma reducción de velocidad. Esta última pieza se encarga de sustentar el mástil donde va ubicada toda la estructura donde cuelgan los caballitos.

Para ayudar a sujetar y transmitir el movimiento se usan elementos normalizados como rodamientos, tornillos, anillos truarc, etc.

Con la finalidad de que cualquier persona ajena a la atracción pueda dañarse con los mecanismos, se han guardado bajo la tarima. La parte de la estructura que no se puede guardar debajo, se ha acordonado con unas protecciones.

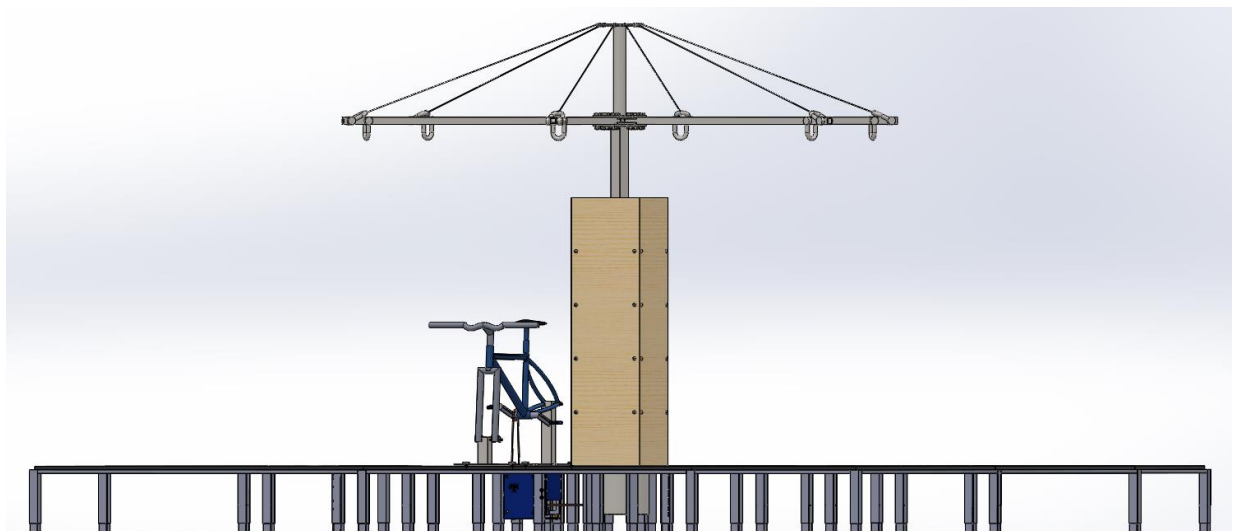


Ilustración 1 Conjunto tiiovivo

7.2. Despiece del conjunto

Las piezas diseñadas las podemos repartir en 4 grupos, la estructura donde cuelgan los caballos, el mecanismo de transmisión a la estructura, la caja donde se encuentran los engranajes y freno y la tarima con la bicicleta.

7.2.1. Piezas estructura

Son las piezas encargadas de transmitir el movimiento a los caballitos y mantener suspendidos a los mismos. El conjunto se podría simplificar en un mástil con barras perpendiculares sujetadas por tornillos y en el otro extremo con unos tensores de cordones metálicos.

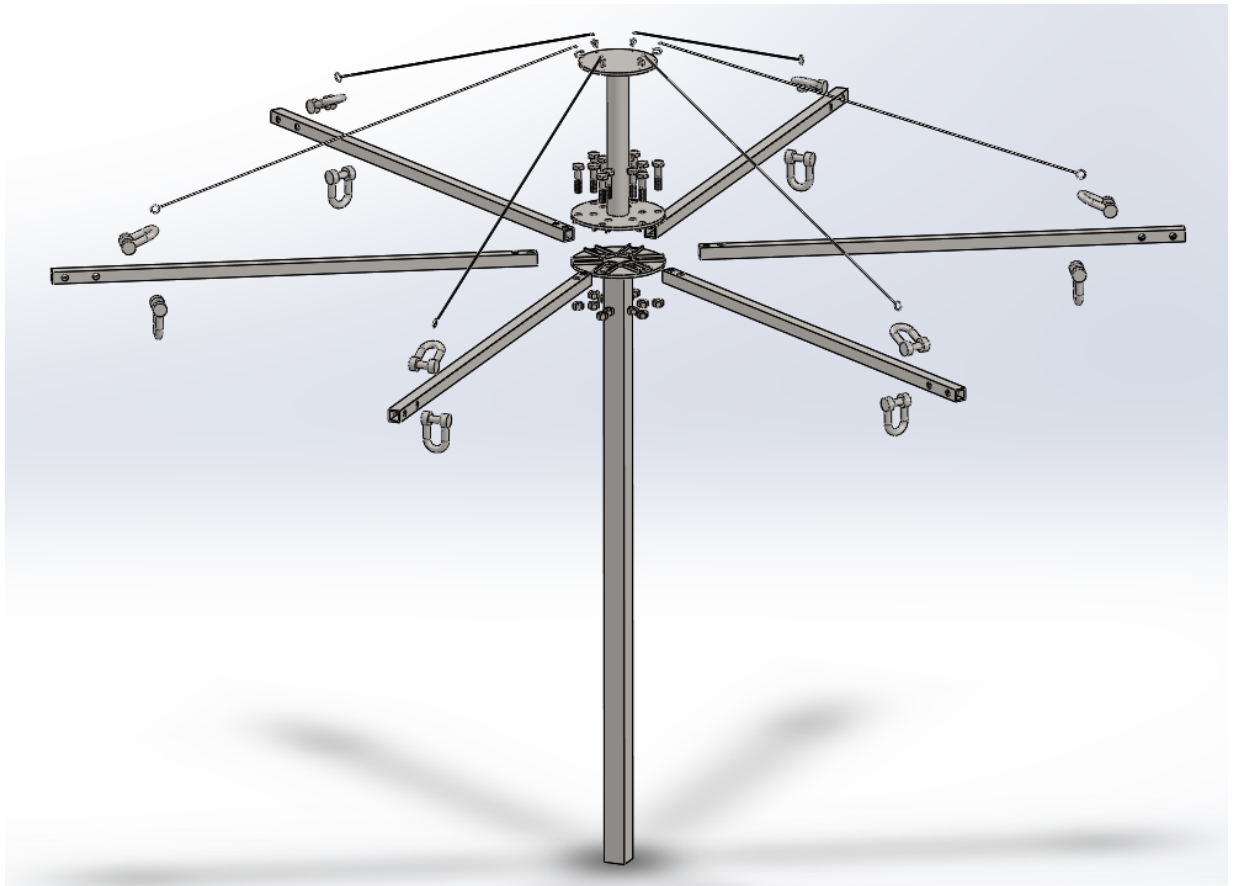


Ilustración 2 Subconjunto estructura

7.2.1.1. Piezas diseñadas

7.2.1.1.1 Barra horizontal agujeros

Esta pieza consta de una barra cuadrada de sección 40mm, espesor 5mm y longitud 1560mm.

En cada extremo tiene unos agujeros, los de un lado son para pasar los tornillos que la fijan a la base que tiene el mástil. Uno de los agujeros del otro extremo está destinado al grillete que sujeta el caballito donde se sienta el niño y el otro al grillete que contiene el cable tensor que evita que la pieza flecte y se deforme.

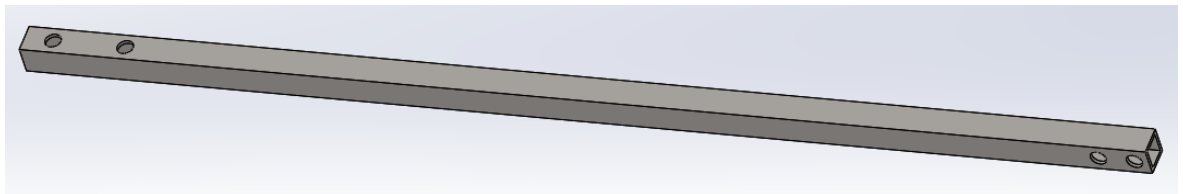


Ilustración 3 Pieza barra horizontal agujeros

7.2.1.1.2 Circulo superior

Esta pieza es la parte superior del mástil ya que está partido. Está formada por tres piezas soldadas:

- La primera es un cilindro de 250mm de diámetro y 10mm de longitud que tiene 6 agujeros de 5mm para sujetar los grilletes que aguanta el cable tensor.
- La pieza intermedia es un tubo circular de diámetro 70mm, espesor 5mm y longitud 500mm
- La última pieza consta de un cilindro de diámetro 300mm mecanizado. Tiene esta forma para poder sujetar las barras horizontales y evitar cualquier movimiento. También consta de 12 agujeros de 22mm repartidos de dos en dos en forma simétrica para la fijación de la barra mediante tornillos.

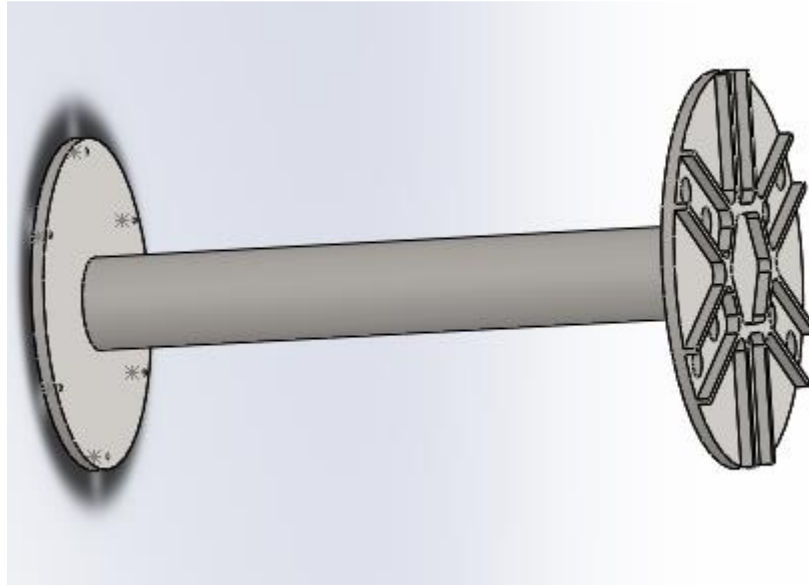


Ilustración 4 Pieza círculo superior

7.2.1.1.3 Barra cuadrada

Es el mástil de la atracción y la pieza más fundamental de la estructura ya que soporta el peso de todas ellas. Está formada por 2 piezas soldadas.

- La primera pieza es una barra cuadrada de sección 70mm, 5mm de espesor y 2000mm de longitud. Esta parte está introducida en la pieza eje para rodamiento y debido a su forma cuadrada no precisa chaveta.
- La otra pieza es un cilindro de diámetro 300mm mecanizado para poder sujetar las barras horizontales y evitar cualquier movimiento. Tiene 12 agujeros de 22mm para sujetar las barras usando tornillos y tuercas.

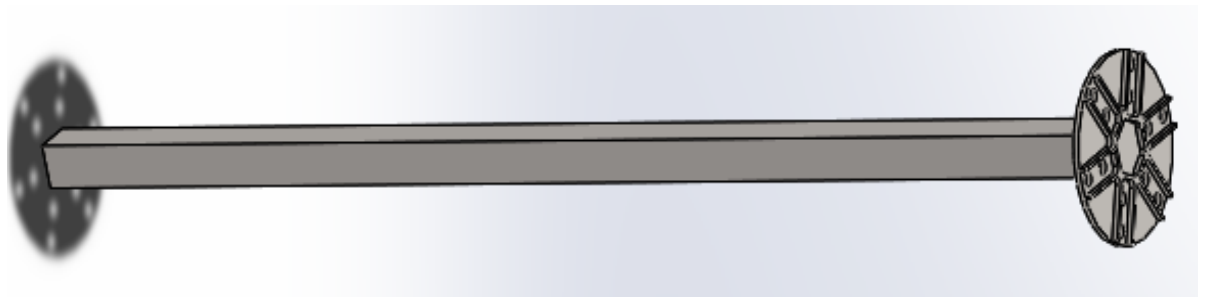


Ilustración 5 Pieza barra cuadrada

7.2.1.2. Piezas normalizadas o compradas

7.2.1.2.1 Caballitos

Es uno de los elementos más importante del conjunto ya que es la parte del mecanismo que está en contacto con los niños. Al tratarse de un tiovivo ecológico se usan unos caballitos fabricados a partir del reciclaje de neumáticos usados.



Ilustración 6 Caballito

7.2.1.2.2 Cables de acero

Para poder evitar la deformación de la pieza barra horizontal agujeros usamos unos tensores, estos tensores son unos cables de alambre de 4mm de diámetro y una distancia aproximada de 1452mm entre los grilletes. Para poder fijar los cables se usan unas abrazaderas para cables metálicos apropiadas a sus características.

Datos del cable de alambre

Diámetro (mm)	Par de rotura cálculo (kN)	Par de rotura mínimo (kN)	Peso (Kg/m)	Art. N°	U/E
4	10,4	8,34	0,061	5176004004	250

Tabla 3 Propiedades cable de acero

7.2.1.2.3 Grilletes

Para sujetar diferentes partes del conjunto se usan dos tipos grilletes diferentes.

Los más pequeños se usan para unir la parte de arriba del mástil con el cable de acero. Con su pequeño tamaño aguantan correctamente los esfuerzos que sufren y la dimensión es perfecta al grosor de la pieza círculo superior.

Los más grandes se usar para sujetar la barra horizontal agujeros con el otro extremo del cable y también para poder sujetar los caballitos. Son de estas dimensiones debido a que es la medida más pequeña que entra por la dimensión de la barra.

Características de los grilles:

Diámetro (mm)	Distancia entre caras (mm)	Profundidad (mm)	SWL (kgs)	BL (kgs)
5	10	17.50	250	1000
22	43.00	77.00	4750	19000

Tabla 4 Características de los grilletes

7.2.1.2.4 Tornillos y tuercas

Tipo	Referencia	Número	Sitio y uso
Tornillo M20x80	ISO 4711	12	El conjunto se encarga de fijar las barras cuadradas horizontales agujeros al mástil.
Tuerca M20	ISO 7413	20	

Tabla 5 Tornillería usada en la estructura

7.2.2. Piezas del mecanismo de transmisión a la estructura

Este conjunto de piezas es el encargado de transmitir el movimiento de una cadena al mástil, además, también tendrá que mantener vertical la estructura.

El conjunto tiene una precisión de fabricación y montaje para evitar que la estructura se mueva. Por este motivo el conjunto solo se desmontará para cambiar alguna pieza dañada o que esté llegando al final de su vida útil.

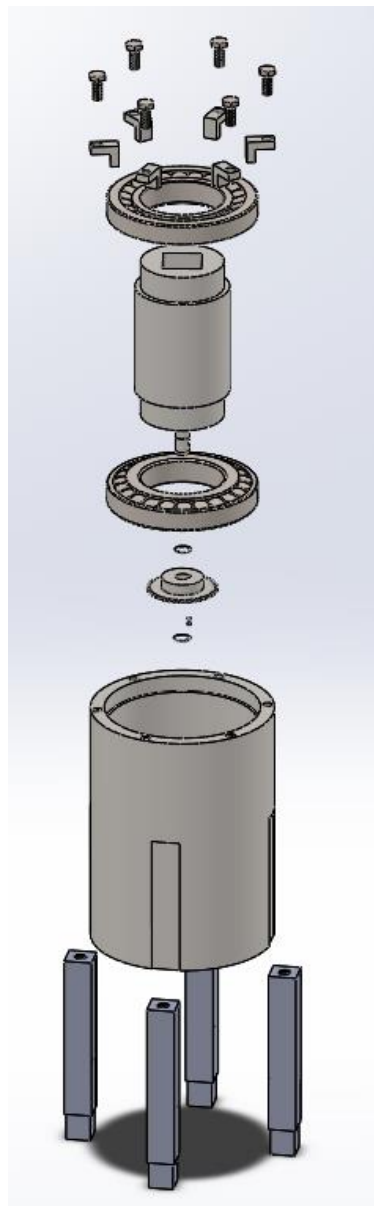


Ilustración 7 Subconjunto mecanismo de transmisión a la estructura

7.2.2.1. Piezas diseñadas

7.2.2.1.1 Eje para rodamiento

Es el eje principal de la atracción porque aparte de transmitir el movimiento sustenta todo el peso de la estructura y niños. Por la parte superior tiene un agujero cuadrado donde se introduce el mástil. Al tener forma cuadrada no hace falta tener chaveta y garantiza la transmisión del movimiento.

Por el otro extremo tenemos un diámetro más pequeño que es donde se coloca una rueda dentada para recibir el movimiento mediante una cadena. La rueda dentada ira sujeta por dos anillos truarc que están posicionados en las ranuras. Entre los aros truarc se encuentra la ranura de la chaveta que se encarga de transmitir el movimiento.

En la parte central se pueden observar dos reducciones del diámetro mayor que es donde se encuentran localizados los rodamientos de rodillos cónicos en forma de rombo.

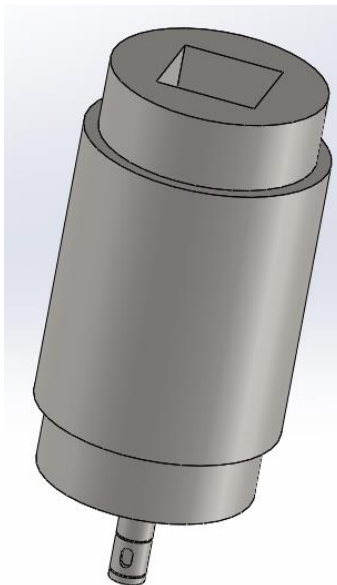


Ilustración 8 Pieza eje para rodamiento

7.2.2.1.2 Carcasa rodamientos

Es la pieza encargada de mantener y sujetar la pieza eje para rodamiento mediante 2 rodamientos. En la parte superior tiene unos agujeros roscados en los cuales se fijan unos elementos encargados de mantener sujetos los rodamientos. En la parte inferior se

encuentran diferentes ranuras. Las cuatro ranuras iguales son para posicionar y sujetar las patas que van soldadas y la que es diferente es para poder pasar la cadena.

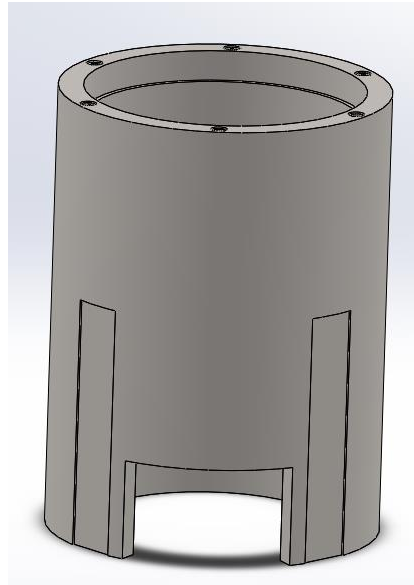


Ilustración 9 Pieza carcasa rodamiento

7.2.2.1.3 Sujeta rodamiento superior

Es la pieza encargada de mantener a los rodamientos en su posición y evitar que se salgan. Por el agujero pasa un tornillo que lo miente sujeto a la pieza carcasa rodamientos y el otro extremo está sujetando la parte exterior del rodamiento superior.

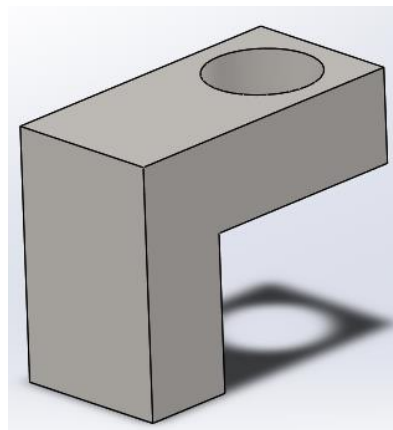


Ilustración 10 Pieza sujeta rodamiento superior

7.2.2.1.4 Chain wheel ISO - 40Z 12B-1

Es la pieza encargada de transmitir el movimiento de la cadena al eje principal de la atracción. La pieza se mantiene sujeta por dos anillos truarco y transmite el movimiento mediante una chaveta.

Características del engranaje:

Número de dientes (Z)	40
Tipo de cadena	12B
Paso	19,05
Diámetro primitivo (Dp)	242,80

Tabla 6 Características rueda Z40 12B

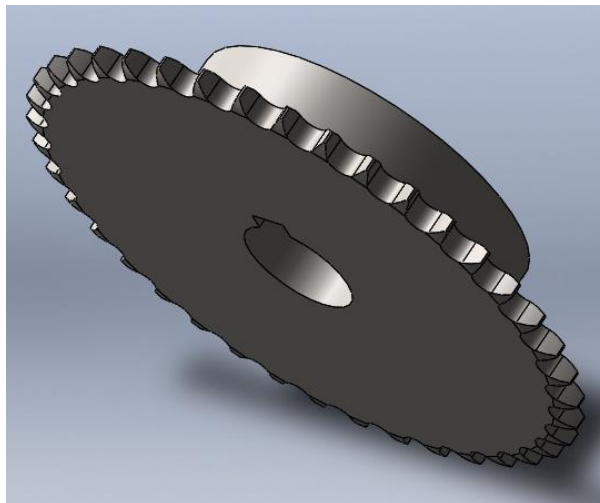


Ilustración 11 Pieza chain wheel ISO - 40Z 12B-1

7.2.2.2. Piezas normalizadas o compradas

7.2.2.2.1 Rodamientos

Para poder girar y mantener estable el eje para rodamiento se usan dos rodamientos. Son unos rodamientos de rodillos cónicos de diámetro interior de 150mm. Para ello se ha seleccionado el rodamiento 30230 del catálogo de SKF. Estos se colocan en forma de rombo que es la más apropiada para este tipo de mecanismos.

Dimensiones:

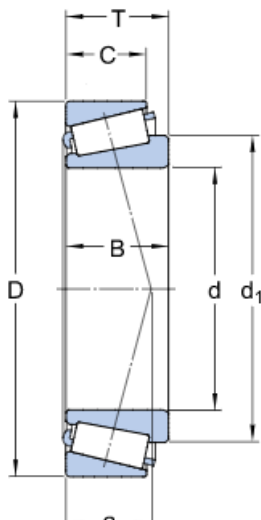


Ilustración 12 Rodamiento 30230

d	150 mm
D	270 mm
T	49 mm
d ₁	200,13 mm
B	45 mm
C	38 mm
a	50,383 mm

Tabla 7 Características rodamiento 30230

Propiedades

de uso:

Skf te proporciona las características del rodamiento y tiene una herramienta que te calcula la vida útil del rodamiento al introducir las fuerzas a las que está sometido.

Capacidad de carga dinámica básica	Do	
Capacidad de carga estática	C0	
Límite de carga de fatiga	Pu	
Velocidad límite	-	
Vida útil	L	

Tabla 8 Valores funcionamiento rodamiento 30230

7.2.2.2.2 Chaveta

La chaveta está localizada en la parte más estrecha del eje con un diámetro de 25mm. Debido a este diámetro la chaveta tiene una sección de 8x7mm y una longitud de 14mm. La longitud se ha calculado con las características del material y el torsor.

7.2.2.2.3 Anillo truarc

Se usan dos anillos truarc exteriores para diámetros 25mm para sujetar el engranaje que transmite el movimiento mediante una cadena.

7.2.2.2.4 Patas

La pieza carcasa para rodamiento tiene unas ranuras donde se sueldan unas patas. Estas patas son iguales a las usadas en la tarima, tienen una forma cuadrada y se puede regular la altura para mantener la base lo más recta posible en superficies inclinadas o irregulares.

7.2.2.2.5 Tornillos

Tipo	Referencia	Número	Sitio y uso
Tornillo M16x40	ISO 4711	6	Los tornillos se encargan de fijar las piezas sujeta rodamiento superior a la carcasa rodamiento

Tabla 9 Tornillería usada en mecanismo de transmisión a la estructura

7.2.3. Caja engranajes

Es el conjunto de piezas encargado de cambiar la velocidad de giro. Entra el movimiento por un engranaje con cadena, a continuación, pasa la rotación a un eje perpendicular mediante unos engranajes cónicos y al final sale el movimiento por una cadena.

Al tratarse de un conjunto montado con precisión este no se puede desmontar a menudo solo para cambiar los componentes dañados o que lleguen al fin de su vida útil. Por este motivo el conjunto irá siempre montado y se acoplarán las cadenas para transmitir el movimiento.

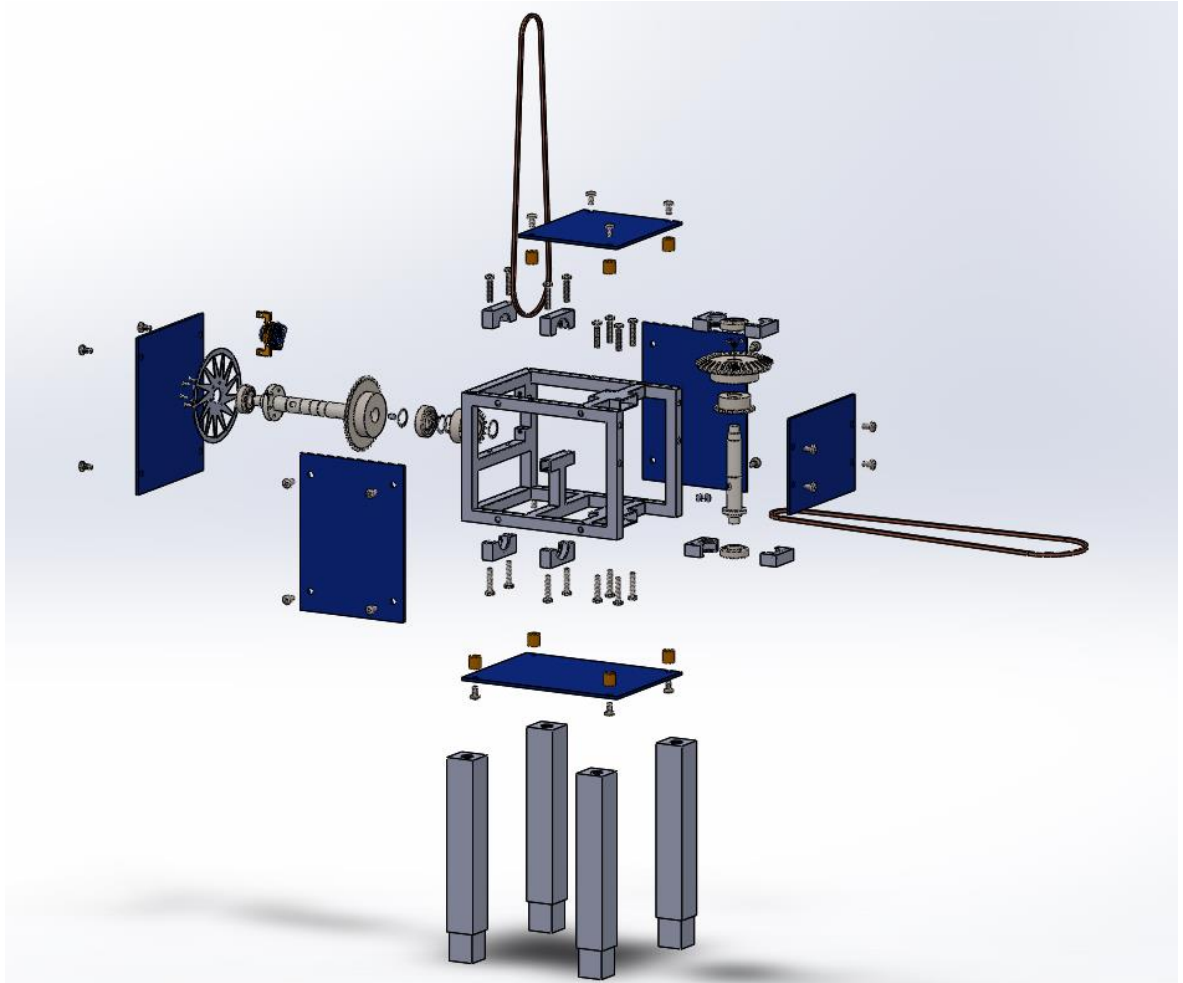


Ilustración 13 Subconjunto caja

7.2.3.1. Piezas diseñadas

7.2.3.1.1 Eje horizontal

El extremo donde la chaveta se encuentra posicionado un engranaje cónico, a continuación se situaría un rodamiento y después el engranaje que transmite el movimiento por cadena, todo ello posicionado por anillos truarc. En el diámetro mayor se sujeta el disco de freno mediante unos tornillos. Al final se encuentra un rodamiento de diámetro menor.

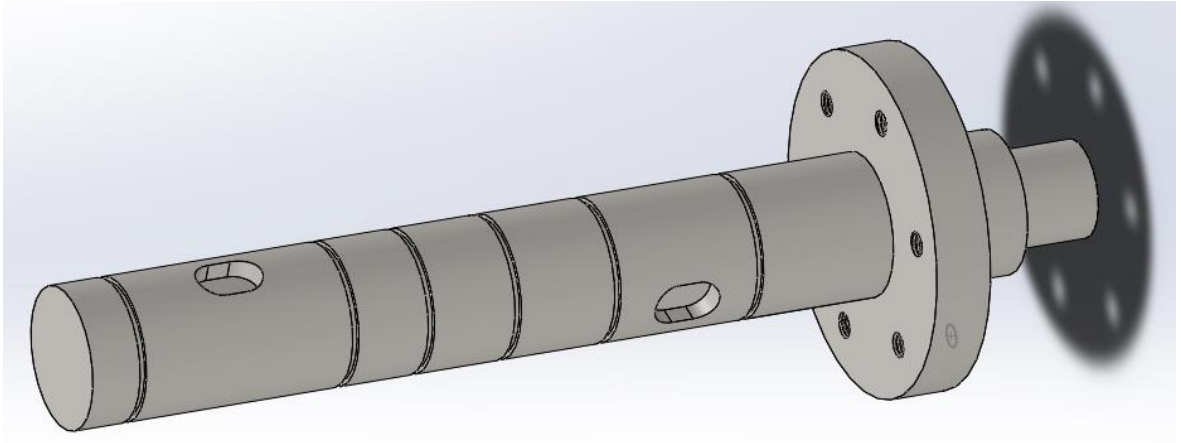


Ilustración 14 Pieza eje horizontal

7.2.3.1.2 Eje vertical

En los extremos se encuentran unos diámetros menores con la finalidad de posicionar los rodamientos. Entre el diámetro mayor y la ranura para el anillo truarc se posicionan el engranaje para cadena y a continuación el engranaje cónico con sus respectivas chavetas para transmitir el giro.

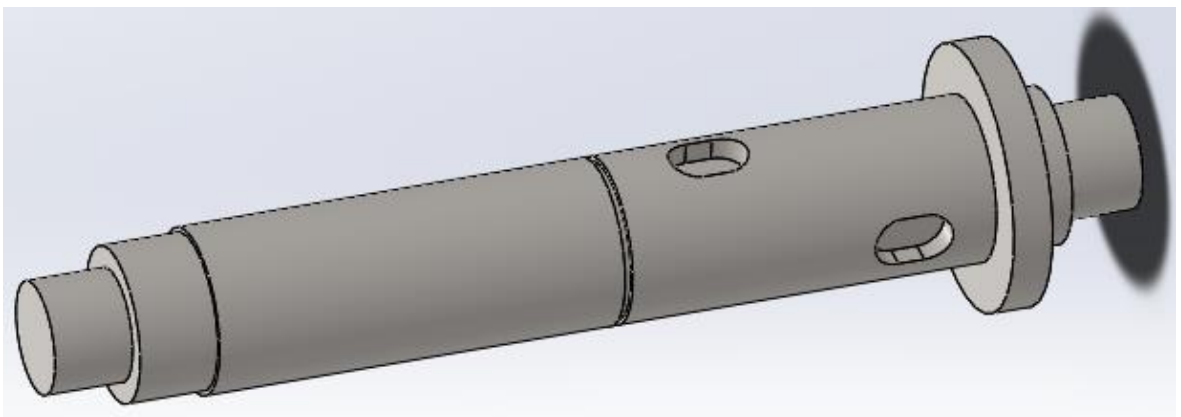


Ilustración 15 Pieza eje vertical

7.2.3.1.3 Estructura caja

Esta pieza se definiría como el esqueleto de la caja ya que todas las piezas van sujetas y posicionadas en ella. Está fabricada a partir de barras soldadas de sección cuadrada 20mm y sección rectangular 20x60mm con espesor de 2mm. Las partes de la barra rectangular tienen agujeros para sujetas las piezas que contienen el rodamiento. Lo mismo pasa con la barra del medio y además también tiene unas inserciones cuadradas para sujetar el freno. En el centro tiene unas barras en forma de T para poder posicionar y sujetar las piezas que

soportan un rodamiento. Los agujeros roscados exteriores sirven para colocar las protecciones para evitar que entre suciedad.

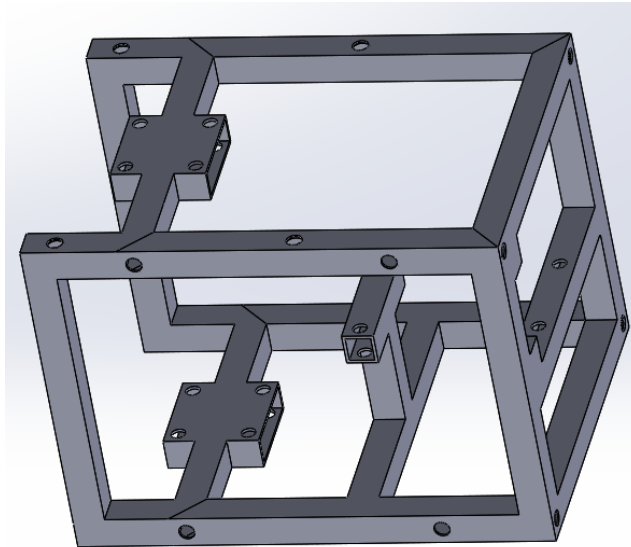


Ilustración 16 Pieza estructura caja

7.2.3.1.4 Sujeta rodamiento

Esta pieza tiene unas ranuras circulares para poder posicionar el rodamiento. Los agujeros roscados son para poder fijar la pieza a la estructura y así evitar que se mueva o se salga el rodamiento.

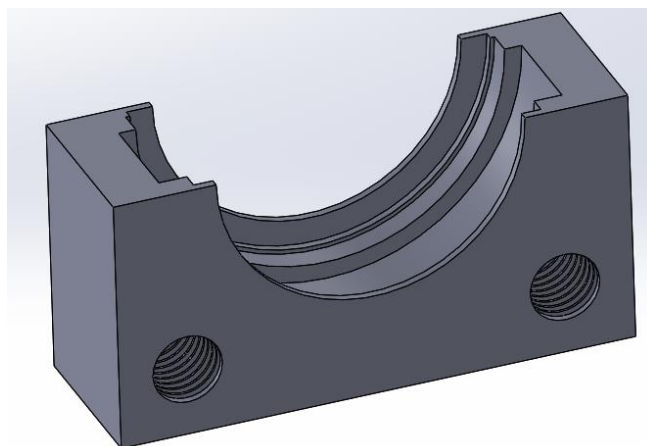


Ilustración 17 Pieza sujeta rodamiento

7.2.3.1.5 Sujeta rodamiento eje horizontal D25

La pieza tiene unas ranuras circulares para poder colocar el rodamiento de 52mm de diámetro exterior. Los agujeros sirven para pasar los tornillos que fijaran la pieza.

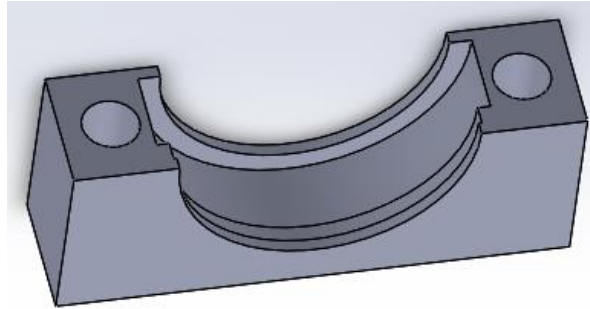


Ilustración 18 Pieza sujeta rodamiento eje horizontal D25

7.2.3.1.6 Sujeta rodamiento eje horizontal D25 roscado

Esta es la pieza que complementa a la anterior. Los agujeros roscados sujetan la pieza anterior y esta al conjunto.

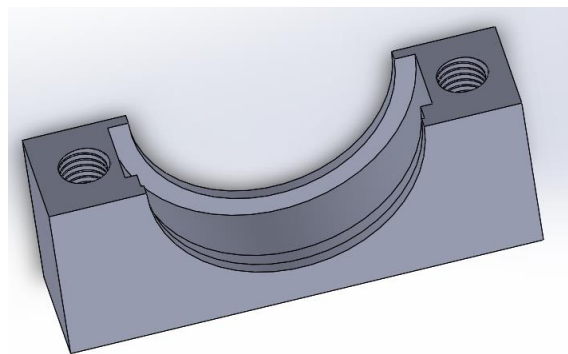


Ilustración 19 Pieza sujeta rodamiento eje horizontal D25 roscado

7.2.3.1.7 Sujeta rodamiento eje horizontal

Es una pieza prácticamente igual a la del apartado 6.1.3.1.5 pero está diseñada para rodamientos de diámetro exterior de 47mm.

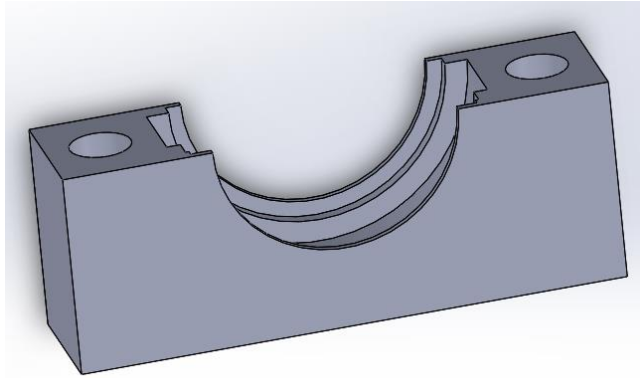


Ilustración 20 Pieza sujeta rodamiento eje horizontal

7.2.3.1.8 Sujeta rodamiento eje horizontal roscado

Es una pieza prácticamente igual a la del apartado 6.1.3.1.6 pero está diseñada para rodamientos de diámetro exterior 47mm.

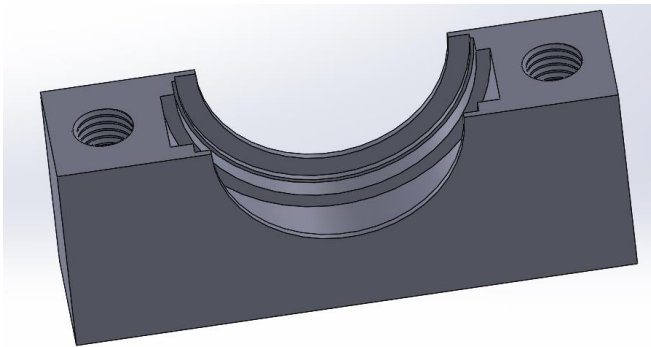


Ilustración 21 Pieza sujeta rodamiento eje horizontal roscado

7.2.3.1.9 Protecciones caja

Al tener diferentes engranajes y conexiones la caja debe estar lo más cerrada posible para evitar que entre la suciedad. La caja está prácticamente cerrada por los 6 lados excepto por los dos huecos necesarios para el paso de las cadenas. Las piezas de plástico están sujetas a la estructura de la caja mediante tornillos.

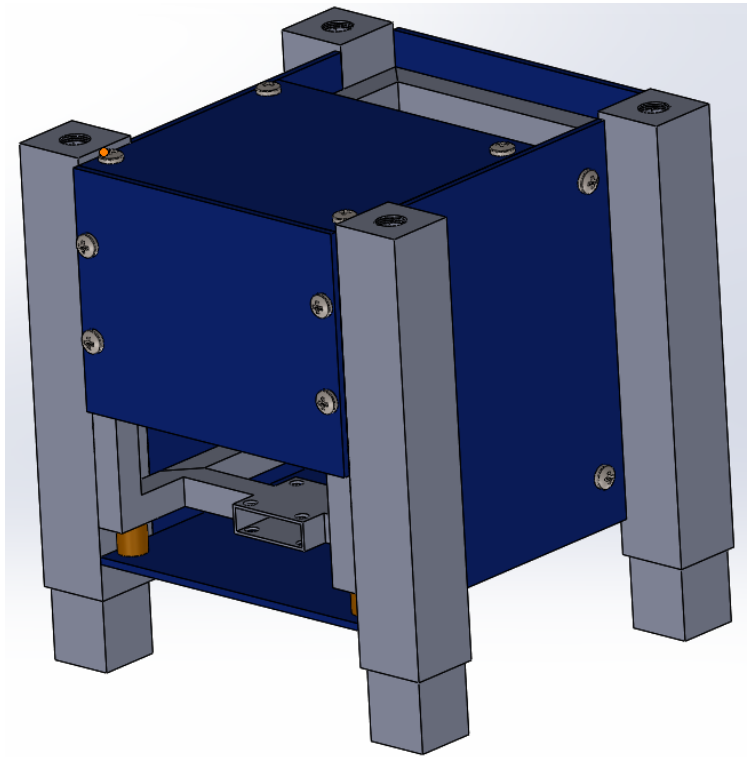


Ilustración 22 Piezas protección caja

7.2.3.1.10 Gueso tronillo

Al sujetar las protecciones a la estructura nos encontramos el problema de que algunas no puede ir directamente apoyadas en la estructura debido a que sobresalen tornillos y piezas. Para ello se usan estas piezas a modo de gueso.

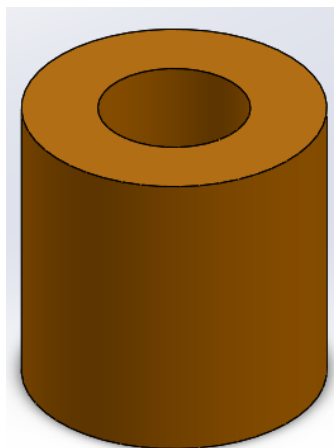


Ilustración 23 Pieza gueso tornillo

7.2.3.1.11 Chain wheel ISO - 21Z 12B-1

Es la pieza encargada de transmitir el movimiento del eje vertical da la caja a la cadena que moverá la estructura del tiiovivo. La pieza consta de una parte dentada donde ira la cadena, un agujero central para introducir el eje y una ranura para la chaveta.

Propiedades de la pieza:

Número de dientes (Z)	21
Tipo de cadena	12B
Paso	19,05
Diámetro primitivo (Dp)	127,81

Tabla 10 Características rueda Z21 12B

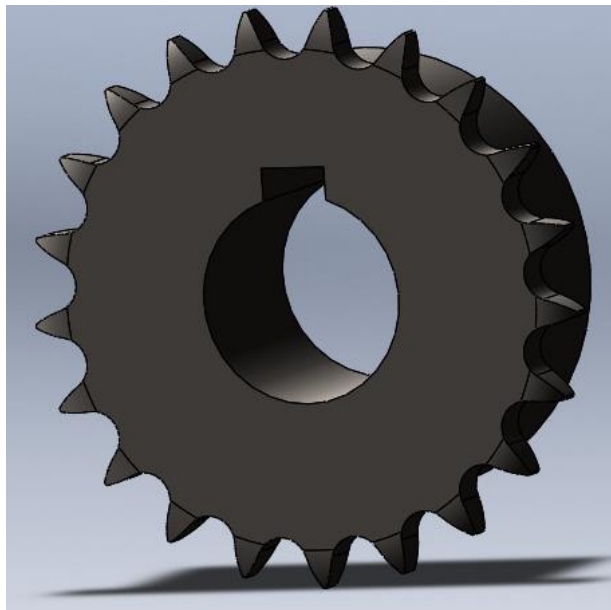


Ilustración 24 Pieza chain wheel ISO - 21Z 12B-1

7.2.3.1.12 Chain wheel ISO - 40Z 06B-1

La pieza recibe el movimiento de la cadena que es movida por la bicicleta y lo transmite al eje horizontal de la caja. La pieza tiene un agujero con ranura para el eje y su chaveta y una parte dentada para la transmisión por cadena.

Características de la pieza:

Número de dientes (Z)	40
Tipo de cadena	06B
Paso	9,525
Diámetro primitivo (Dp)	121,401

Tabla 11 Características rueda Z40 06B

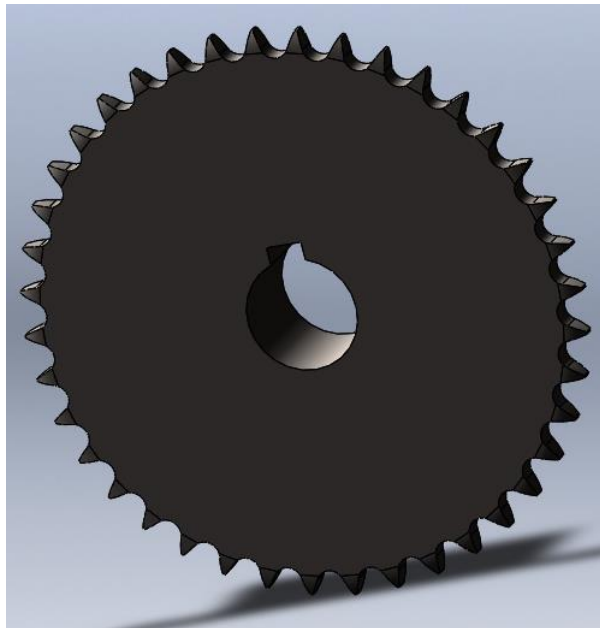


Ilustración 25 Pieza chain wheel ISO - 40Z 06B-1

7.2.3.1.13 Engranaje cónico 32 dientes

Los engranajes cónicos son los encargados de cambiar el giro de un eje horizontal a uno vertical. La pieza tiene un agujero central con una ranura donde se introduce el eje y transmite el movimiento mediante la chaveta. En el diámetro mayor se encuentran los dientes del engranaje donde recibe el movimiento del otro engranaje cónico.

Datos del engranaje:

Número de dientes (Z)	32
Módulo	4
Ángulo de presión	20°
Ángulo entre ejes	90°

Tabla 12 Características engranaje cónico Z32

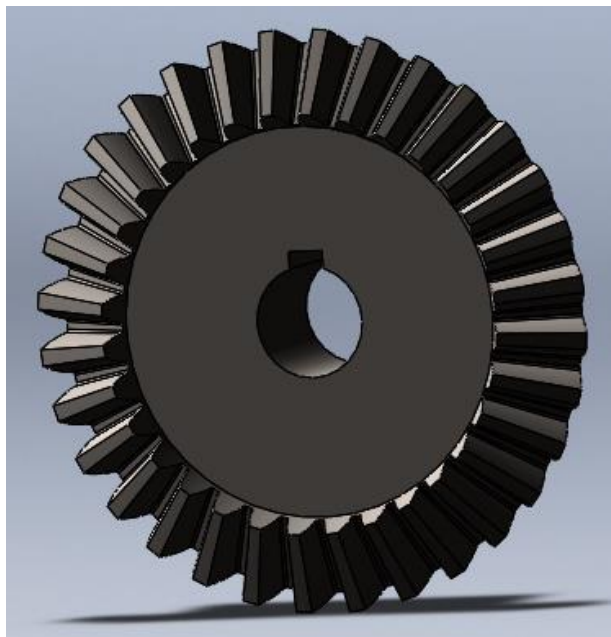


Ilustración 26 Pieza engranaje cónico 32 dientes

7.2.3.1.14 Engranaje cónico 16 dientes

La pieza se encarga de transmitir el movimiento a la pieza anterior. Tienen muchas características en común para que encajen perfectamente.

Propiedades del engranaje:

Número de dientes (Z)	16
Módulo	4
Ángulo de presión	20°
Ángulo entre ejes	90°

Tabla 13 Características engranaje cónico Z16

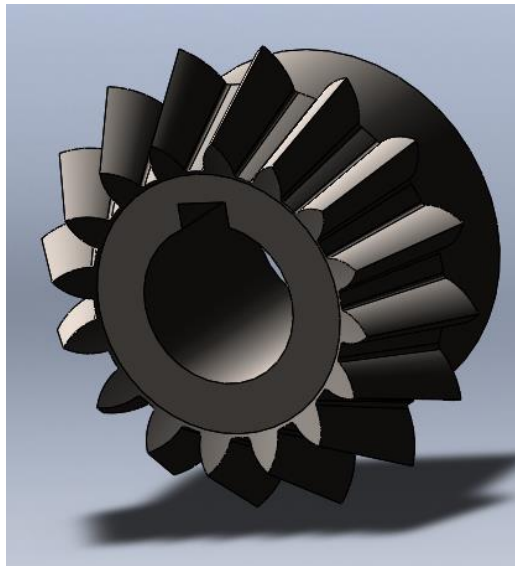


Ilustración 27 Pieza engranaje cónico 16 dientes

7.2.3.2. Piezas normalizadas o compradas

7.2.3.2.1 Freno

Para detener el tiiovivo usamos el freno de disco de una bicicleta. El disco está sujeto al eje horizontal mediante unos tornillos y la parte que contiene las pastillas de freno a la estructura de la caja.

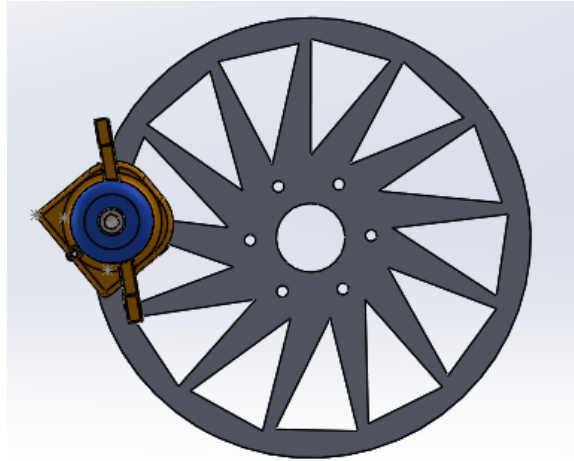


Ilustración 28 Piezas freno

7.2.3.2.2 Rodamientos

Para mantener estables y permitir el giro de los ejes de la caja se usan dos tipos diferentes de rodamientos.

Rodamiento 30205:

Es un rodamiento de rodillos cónicos con un diámetro interior de 25 mm. El rodamiento se encuentra sujetando al eje horizontal por su parte central.

Propiedades de diseño

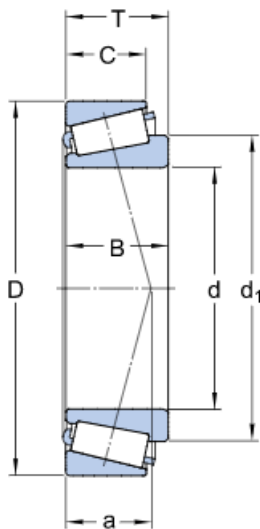


Ilustración 29 Rodamiento 30205

d	25 mm
D	52 mm
T	16,25 mm
d1	38 mm
B	15 mm
C	13 mm
a	12,33 mm

Tabla 14 Características rodamiento 30205

Valores de funcionamiento:

Skf te proporciona las características del rodamiento y tiene una herramienta que te calcula la vida útil del rodamiento al introducir las fuerzas a las que está sometido. En este rodamiento con las condiciones de uso se obtiene una vida de uso infinita.

Capacidad de carga dinámica básica	d_0	38,1 kN
Capacidad de carga estática	C_0	33.5 kN
Límite de carga de fatiga	P_u	3,45 kN
Velocidad límite	-	13000 rpm
Vida útil	L	>1000000

Tabla 15 Valores funcionamiento rodamiento 30205

Rodamiento 30303:

Es rodamiento realiza la función de mantener el eje horizontal y vertical en su sitio mientras estos rotan. Encontramos dos de ellos en el eje vertical y uno en la parte central del eje horizontal

Datos de diseño:

Siguiendo los datos de la ilustración del apartado anterior se obtienen los siguientes parámetros.

d	17 mm
D	47 mm
T	15,25 mm
d1	30,55 mm
B	14 mm
C	12 mm
a	10,173 mm

Tabla 16 Propiedades rodamiento 30303

Propiedades de uso:

Skf te proporciona las características del rodamiento y tiene una herramienta que te calcula la vida útil del rodamiento al introducir las fuerzas a las que está sometido. Al tener los rodamientos en dos ejes diferentes se calcula el más desfavorable, que en este caso son los que se encuentran en el eje vertical al tener más fuerza radial y la misma axial. Se obtiene un resultado muy elevado de vida debido a que los esfuerzos a los que está sometido son pequeños comparado a los que puede soportar el rodamiento.

Capacidad de carga dinámica básica	Do	34,2 kN
Capacidad de carga estática	C0	25 kN
Límite de carga de fatiga	Pu	2,7 kN
Velocidad límite	-	16 rpm
Vida útil	L	386500 h

Tabla 17 Propiedades de uso rodamiento 30303

7.2.3.2.3 *Truarc*

Se usan siete anillos truarc exteriores para diámetros 25mm para sujetar los engranajes que transmite el movimiento mediante una cadena y los cónicos.

7.2.3.2.4 *Chavetas*

En el conjunto se usan 4 chavetas de sección 8x7mm y 12mm de longitud. Los cálculos dan una longitud bastante menor, pero se usa la mínima para el diámetro con el que se trabaja. La longitud se ha calculado con las características del material y el torsor que se detalla en el apartado de cálculos.

7.2.3.2.5 Tornillos

Tipo	Referencia	Número	Sitio y uso
Tornillo M8x40	ISO 4014	16	Mantienen unidas las y fijan las carcasas donde van introducidos los rodamientos.
Tornillo M5x16	ISO 4017	2	Se encargan de sujetar el freno a la estructura de la caja
Tornillo M4x10	ISO 4017	6	Fijan el disco de freno al eje horizontal
Tornillo M8x16	ISO 7045	20	Son los encargados de mantener sujetas las protecciones de la caja

Tabla 18 Tornillería usada en la caja

7.2.3.2.6 Cadenas

En el conjunto se usan 2 cadenas diferentes, una 06B y otra de 12B.

7.2.3.2.6.1 Cadena Bicicleta – Caja

A partir de las características del conjunto, se realizan las iteraciones oportunas hasta encontrar el valor de la cadena. En este caso se han realizado 2 iteraciones y obtenido un tipo 06B, paso 9,525, distancia entre ejes de 420 mm y 119 eslabones, más adelante se detallan los cálculos.

7.2.3.2.6.2 Cadena Caja – Eje para rodamiento

Esta cadena se calcula de la misma forma que la anterior, en este caso se obtiene como resultado una cadena tipo 12B, 19,05 de paso, distancia entre ejes de 500mm y 94 eslabones.

7.2.3.2.7 Patas

Las patas en este conjunto van soldadas a los lados de la estructura de la caja para mantener la caja la altura apropiada y lo más recto posible en superficies inclinadas o irregulares. Las patas son las mismas que se usan en la tarima.

7.2.4. Tarima con la bicicleta

La tarima es la base donde van conectados el resto de subconjuntos. En ella se encuentra fijada la bicicleta que transmite el movimiento a la atracción.

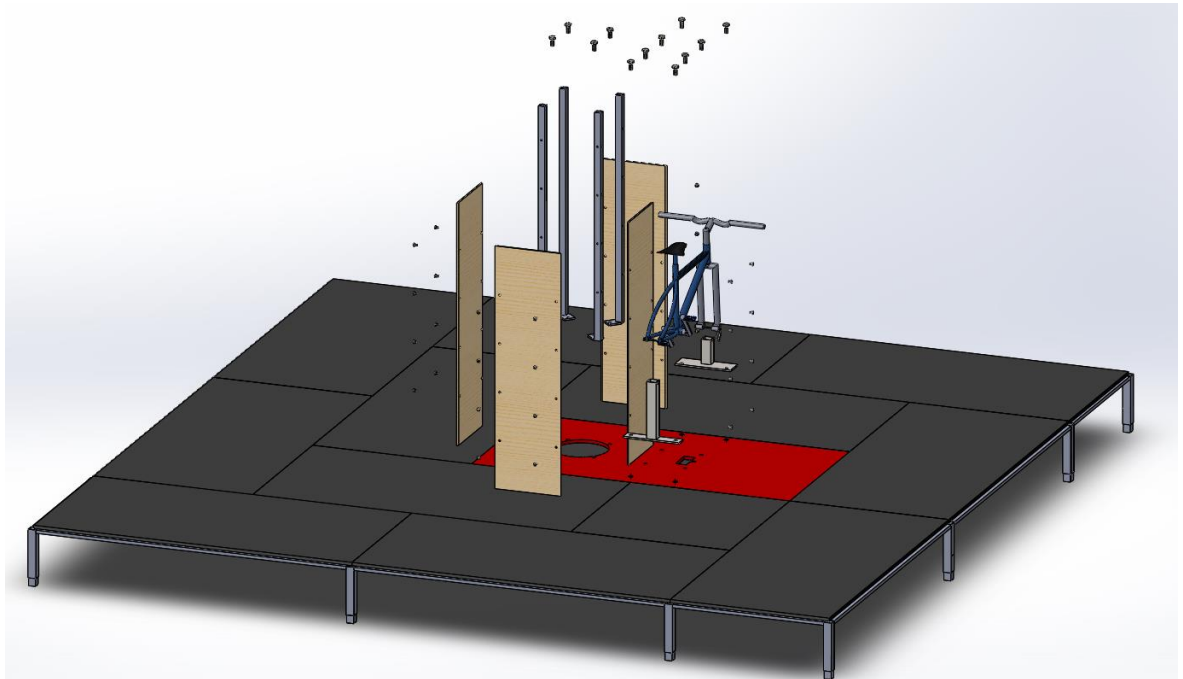


Ilustración 30 Subconjunto tarima con la bicicleta

7.2.4.1. Piezas diseñadas

7.2.4.1.1 Tabla 2x1 agujeros

Es la tarima del conjunto en la cual van fijados el resto de subconjuntos, por eso tiene unos mecanizados. El círculo mayor es para poder pasar la pieza eje para rodamientos y los más pequeños que tiene alrededor sirven para sujetar las protecciones y a su vez fijar las patas del eje para rodamiento. El orificio con forma rectangular grande es para poder pasar la cadena bicicleta-caja y el otro más pequeño para el cable de freno. Los 4 agujeros próximos a los orificios cuadrados tienen la función de fijar la caja a la tarima y los más lejanos a sujetar la bicicleta.

Al tener fijadas nuevas patas alrededor de los agujeros más grandes evitara que el tablero se rompa o ceda por el peso.

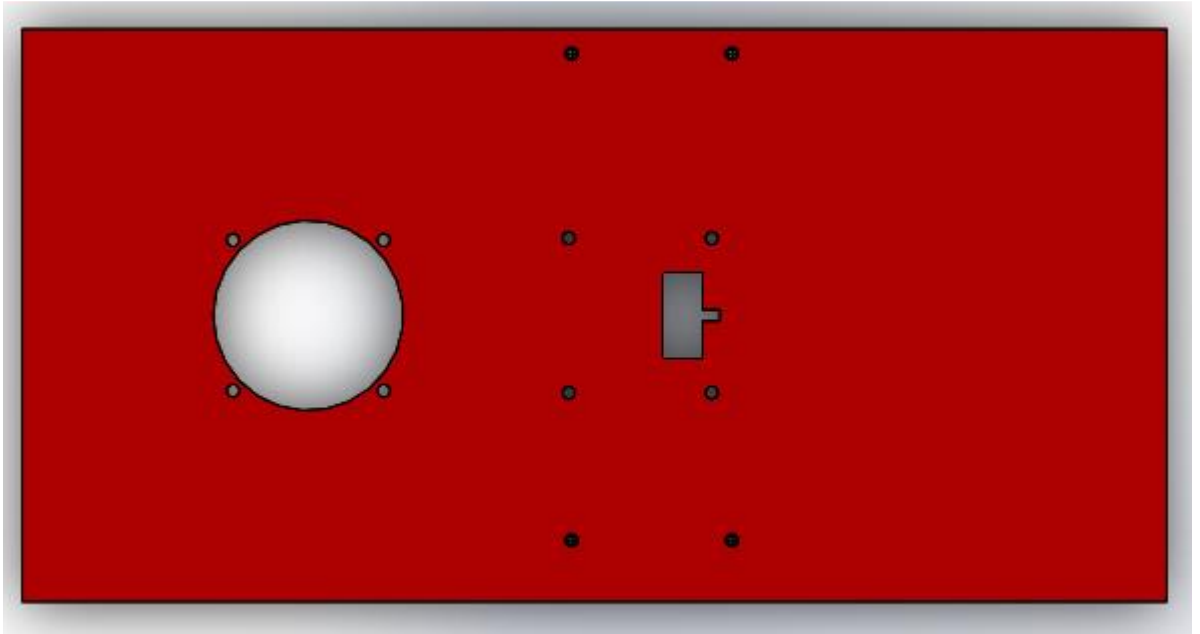


Ilustración 31 Tabla 2x1 agujeros

7.2.4.1.2 Sujeta bicicleta trasero

Es la pieza encargada de sujetar la bicicleta por la parte trasera. Para ello tiene unos agujeros en la parte superior por donde se pasa el tornillo que sujeta la rueda. Los agujeros de la parte inferior se encargan de fijar la pieza a la tarima.

La pieza está formada por un tubo de sección cuadrada de 60mm de lado y espesor de 5mm soldada a una placa rectangular.

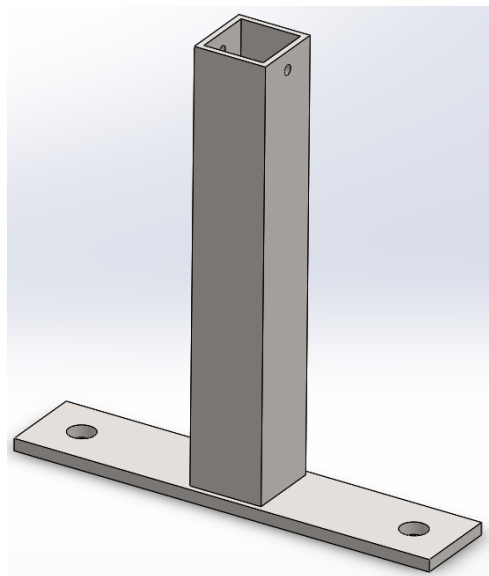


Ilustración 32 Sujeta bici trasero

7.2.4.1.3 Sujeta bicicleta delantero

La pieza es muy similar a la anterior, pero se encarga de sostener la bicicleta por la parte delantera. En este caso la placa inferior es mayor debido a que la parte delantera de la bicicleta sobresale del tablero con agujeros.

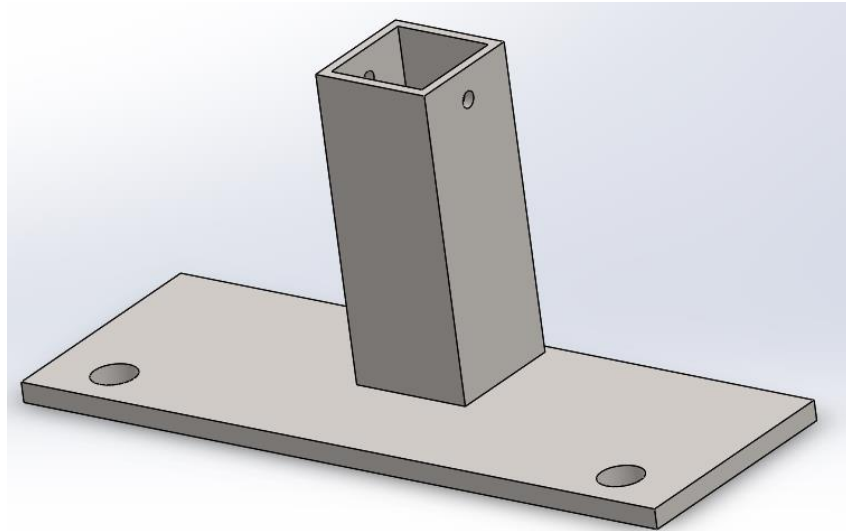


Ilustración 33 Sujeta bici delantero

7.2.4.1.4 Barra protección

Esta es la pieza encargada de sujetar los tableros que evitan que los niños accedan a la estructura. Por la parte inferior está anclada a la tarima y en la barra tiene diferentes agujeros donde se fijan las protecciones.

La pieza está construida por una barra cuadrada de 40mm de lado y espesor 5mm soldada a una placa mecanizada.

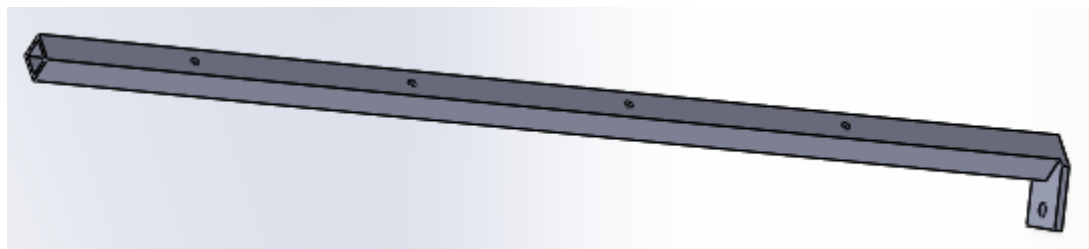


Ilustración 34 Barra protección

7.2.4.1.5 Tablero protección

El tablero va sujeto a las barras del apartado anterior y tapa el espacio que hay entre ellas. Tiene la finalidad de evitar que la gente pueda acceder a la estructura y que se hagan daño cuando esta gira. Al ser 4 tablas que se unen en forma cuadrada tienen los cantos con chaflán de 45ª y así entre ellas forman un ángulo recto.

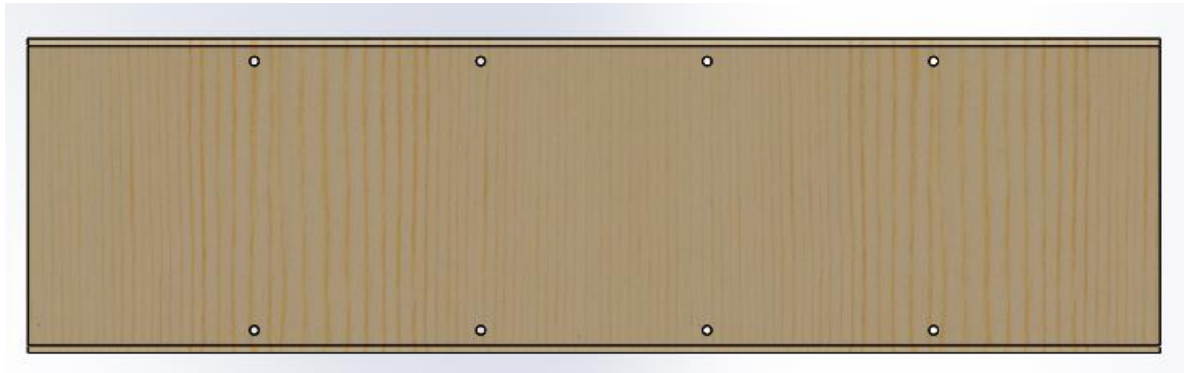


Ilustración 35 Tablero protección

7.2.4.1.6 Chain wheel ISO - 21Z 06B

Es la pieza encargada de transmitir el movimiento desde el eje de la bicicleta a la cadena que está conectada a la caja. Tiene 4 agujeros pequeños para poder fijar el piñón a la biela de la bicicleta y así poder transmitir el movimiento del pedaleo.

Número de dientes (Z)	21
Tipo de cadena	06B
Paso	9,525
Diámetro primitivo (Dp)	63,908

Tabla 19 Características rueda Z21 06B

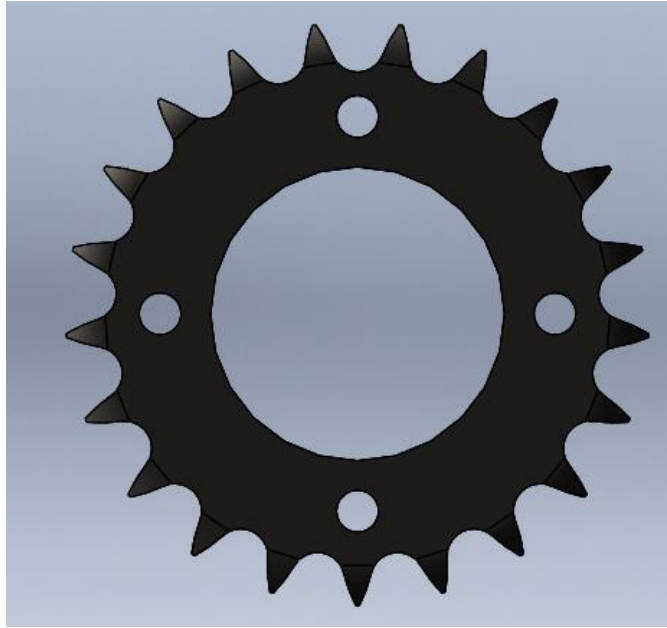


Ilustración 36 Chain wheel ISO - 21Z 06B

7.2.4.2. Piezas normalizadas o compradas

7.2.4.2.1 Tarima

Es el subconjunto donde se fijan el resto de subconjuntos. Esta formada por diferentes tarimas más pequeñas. El conjunto completo hace una tarima cuadrada de 5m de lado.

Son tarimas modulares de alta resistencia, certificadas para cargas de hasta 2600kg, fabricadas en aluminio extrusionado (aleación: EN-AW 6082 T6) y panel fenólico de abedul de 21mm.

Dispone de unas patas regulables en altura para mantener siempre el conjunto lo más estable y horizontal posible en superficies inclinadas o en mal estado.

- 11 tarimas de 2m x 1m
- 1 tarima de 1m x 1m
- 1 tarima de 2m x 1m mecanizada (Apartado 6.1.4.1.1)

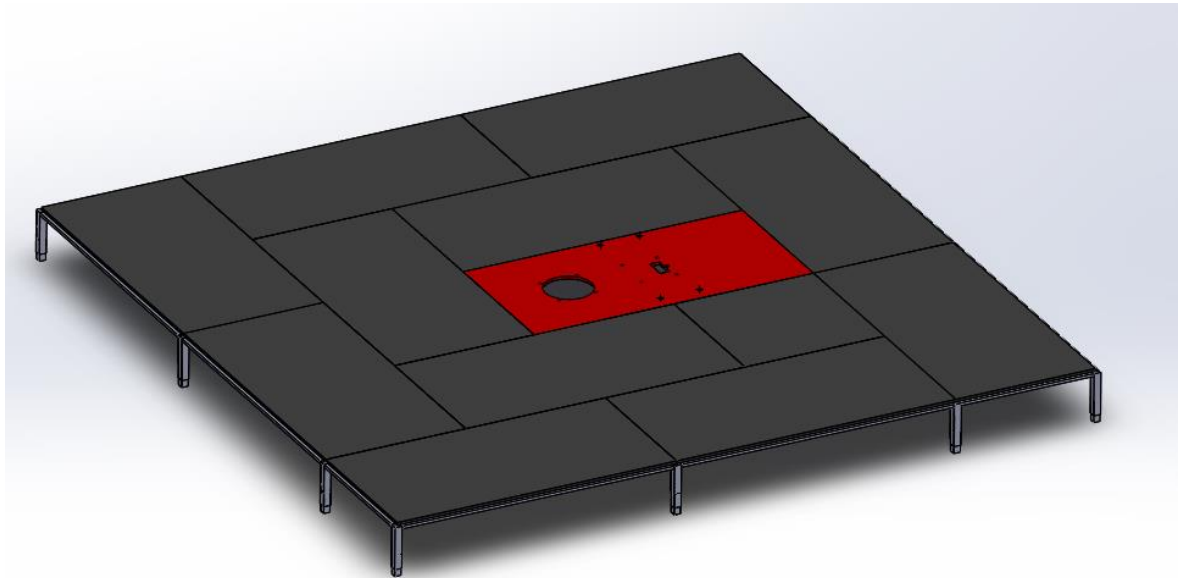


Ilustración 37 Tarima

7.2.4.2.2 Bicicleta

Es una de las partes principales del conjunto ya que es la encargada de mover todo el mecanismo y mantener a la persona que ejerce el movimiento. La bicicleta no tiene ruedas y va sujeta a la tarima mediante una fijación delantera y otra trasera



Ilustración 38 Bicicleta

7.2.4.2.3 Tornillos

Tipo	Referencia	Número	Sitio y uso
Tornillo M10x16	ISO 7045	32	Unen la tabla de protección a la barra que los sujeta
Tornillo M20x45	ISO 7411	12	Unen diferentes componentes a la tarima

Tabla 20 Tornillería usada en la tarima y bicicleta

8. CALCULO Y SIMULACIÓN DE PIEZAS

8.1. Cálculo de velocidad

Según un estudio realizado por un compañero de UPC, “eficiencia mecánica de pedaleo en ciclistas de diferente nivel competitivo”, una persona puede pedalear entre 100 y 80 veces por minuto. En este caso hemos usado 90 rpm al ser el valor medio. Este estudio también informa de la potencia transmitida, que es entre 300w y 200w, aquí también se usa el valor medio de 250w.

Se ha realizado un estudio de velocidad viendo diferentes videos de tiovivos similares. Para realizarlo se han cronometrado cuantos segundos tardaba en dar una vuelta y el resultado ha sido de 5 segundos, que aproximadamente es equivalente a 12 rpm.

Para realizar la reducción de velocidad de 90 rpm a 12 rpm se tienen 3 puntos, la transmisión por cadena de bicicleta a caja de engranajes, engranajes cónicos y transmisión por cadena de caja de engranajes al eje que sujeta y transmite movimiento al mástil.

Después de realizar diferentes combinaciones se opta por realizar una disminución de velocidad igual en cada punto y esta es de 1:2. No se obtiene el valor de 12 rpm, pero si uno cercano.

Velocidades en diferentes puntos

Velocidad en la bicicleta → 90 rpm

Velocidad en el eje horizontal de la caja → 45 rpm

Velocidad en el eje vertical de la caja → 22,5 rpm

Velocidad en el eje que sujeta el mástil → 11,25 rpm

8.2. Estudio antivuelco

Para realizar el cálculo se usa el apartado normativo reglas específicas de análisis de tiovivos voladores y tiovivos en suspensión del anexo B en la norma UNE-EN 13814. Al tratarse de un pequeño tiovivo volador suspendido por cadenas será suficiente con asumir un ángulo $\alpha=45^\circ$. Esto quiere decir que la fuerza centrífuga ejercida es igual a la fuerza aplicada por la gravedad.

Se calculan los momentos de vuelco incluyendo el coeficiente de seguridad:

$$M_{ky} = 863,278 \text{ Nm}$$

$$M'_{ky} = 1581,5986 \text{ Nm}$$

Después se calculan los momentos de estabilidad:

$$M_{St} = 13529,95 \text{ Nm}$$

$$M'_{St} = 9567,1208 \text{ Nm}$$

Se cumple la relación $M_{St} \geq M_{ky}$ y $M'_{St} \geq M'_{ky}$. Al tener una diferencia tan grande se asegura con margen que la atracción no sufrirá un percance por vuelco.

8.3. Cálculos para el diseño de piezas

8.3.1. Cadenas

8.3.1.1. Cadena Bicicleta – Caja

Para realizar los cálculos de la cadena se dispone de los siguientes valores:

- Potencia = 250W
- Velocidad entrada = 90 rpm
- Velocidad salida = 45 rpm
- Vida útil = 15000h
- Distancia aproximada 419 mm
- $Z_1 = 21$
- $Z_2 = 40$

Se ha optado por el valor de 15000h de vida útil para garantizar que dura 5 años de uso aproximadamente.

La distancia entre ejes es la distancia aproximada que se ha posicionado en el solidworks.

Para realizar el cálculo se realizan diferentes iteraciones ya que se tiene que encontrar la distancia entre ejes correcta.

Iteración 1

Se obtiene

- Una potencia corregida de cálculo(P_c) de 0,2263 kW
- Una cadena tipo 06B, paso 9,525 y 119 eslabones
- Distancia entre ejes de 420 mm

Iteración 2

- Potencia corregida de cálculo(P_c) de 0,2489 kW
- Una cadena tipo 06B, paso 9,525 y 119 eslabones

Al obtener el mismo valor de cadena se detiene la iteración debido a que a partir de ahora el cálculo sería el mismo que en el apartado anterior.

A continuación, se calcula el coeficiente de seguridad de la cadena(C_s) que es de 17. Este valor garantiza que la cadena cumple sobradamente con el esfuerzo que recibe.

8.3.1.2. Cadena Caja – Eje para rodamiento

Para realizar los cálculos de la cadena se dispone de los siguientes valores:

- Potencia = 250W
- Velocidad entrada = 22,5 rpm
- Velocidad salida = 11,25 rpm
- Vida útil = 15000h
- Distancia aproximada 500 mm
- $Z_1 = 21$
- $Z_2 = 40$

Para realizar el cálculo se realizan diferentes iteraciones ya que se tiene que encontrar la distancia entre ejes correcta.

Iteración 1

Se obtiene

- Una potencia corregida de cálculo(P_c) de 0,2263 kW
- Una cadena tipo 10B, paso 15,875 y 94 eslabones
- Distancia entre ejes de 502 mm

Iteración 2

- Potencia corregida de cálculo(P_c) de 0,3168 kW
- Una cadena tipo 12B, paso 19,05 y 94 eslabones
- Distancia entre ejes de 500 mm

Al obtener el mismo valor de eslabones se para la iteración.

A continuación, se calcula el coeficiente de seguridad de la cadena (C_s) que es de 17. Este valor garantiza que la cadena cumple sobradamente con el esfuerzo que recibe.

8.3.2. Cálculo engranajes cónicos

Con ese cálculo se obtienen las fuerzas ejercidas en los engranajes y si estos tienen penetración.

Datos de entrada:

- $M=4$
- $Z_1 = 16$
- $Z_2 = 32$
- $B = F = 20^\circ$
- Ángulo entre ejes $\rightarrow \Sigma = 90^\circ$

Se obtienen unos radios primitivos de 32mm para el piñón y 64mm para la corona.

Al calcular el número de dientes equivalentes se obtienen valores mayores de 17, eso quiere decir que no existe penetración.

Las fuerzas obtenidas son:

- Componente tangencial = 1931,9938 N
- Componente radial = 626,5453 N
- Componente axial = 319,2408 N

8.3.3. Cálculos chavetas

Todos los diámetros de los ejes que contienen chavetas son de 25mm. Para un diámetro de estas dimensiones se obtiene una dimensión de 8x7 (bxh). Para saber la longitud se utiliza el criterio de Tresca para que no se produzca fallo, con un coeficiente de seguridad de 3.

Se empieza con la chaveta que tiene mayor momento torsor, que es la pieza eje para rodamiento. Tiene un torsor de 212 Nm y se obtiene una longitud de 13,6mm. Al no ser un valor exacto se usa el valor que se encuentra inmediatamente por encima, que en este caso es de 14mm.

La siguiente pieza con más torsor es el eje vertical de la caja. Tiene un valor de 106 Nm de torsor y se obtiene una longitud de 6,8mm. Este valor no sale en la tabla y se usa el valor superior más próximo, en este caso se usa 12mm que es el valor más bajo.

Las demás piezas tienen un torsor menor por lo cual obtendrán una chaveta más pequeña y esta no existe porque la más pequeña para este diámetro es 12mm.

8.4. Cálculos y simulaciones de fatiga

8.4.1. Eje vertical

Esta pieza está sometida a la torsión y otras fuerzas producidas por el engranaje cónico y la rueda de la cadena.

8.4.1.1. Cálculo manual

Datos de entrada:

- $S_u = 1170 \text{ MPa}$
- $S_y = 931 \text{ MPa}$
- $P = 250 \text{ W}$
- $W = 22,5 \text{ rpm} = 2,356 \text{ rad/s}$
- $T = 106,103$
- $F_{\text{cad}} = 1660,5 \text{ N}$
- $F_{\text{rad}} = 626,5453 \text{ N}$
- $F_{\text{tang}} = 1931,9938$
- $F_{\text{axial}} = 319,2408$

Para realizar el cálculo de reacciones se tiene que proyectar el sistema esquemático en los planos YZ y XZ.

Reacciones plano YZ

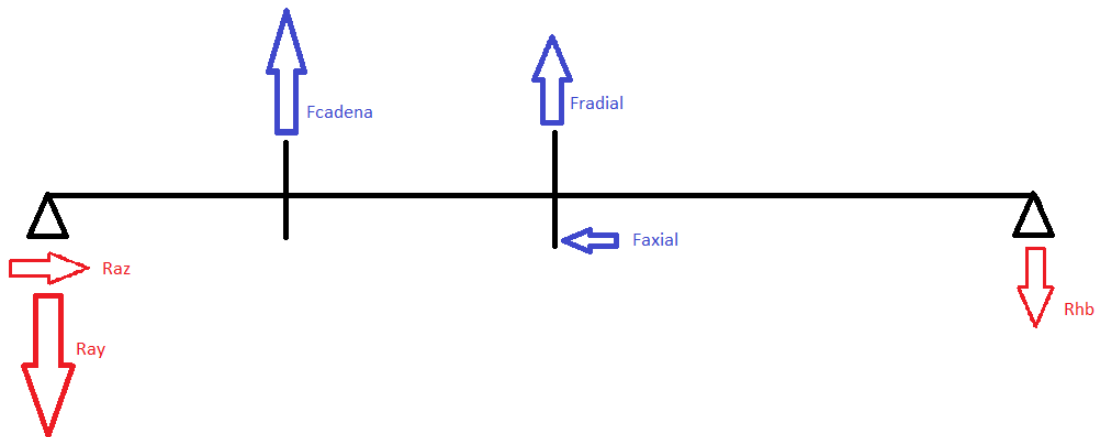


Tabla 21 Reacciones plano YZ

$$R_{hy} = 486,7878 \text{ N}$$

$$R_{ay} = 1800,2575 \text{ N}$$

$$R_{az} = 319,2408 \text{ N}$$

Reacciones plano XZ

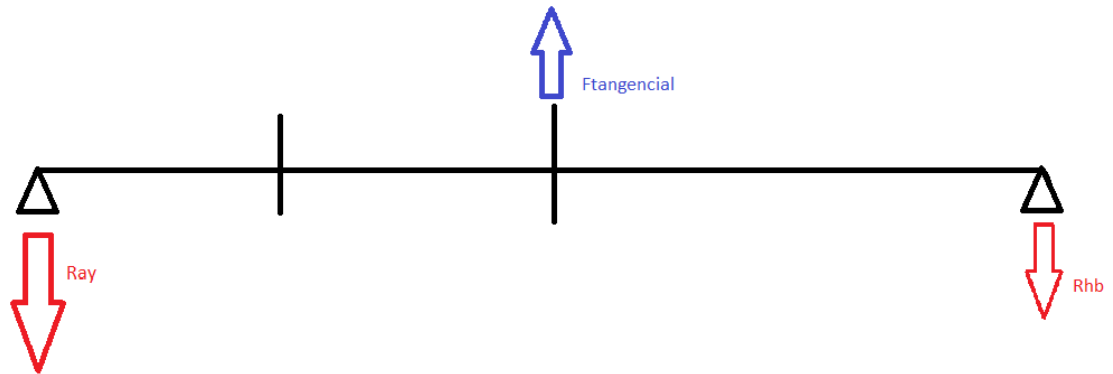


Tabla 22 Reacciones plano XZ

$$R_h = 718,3054 \text{ N}$$

$$R_a = 1213,6884 \text{ N}$$

La sección crítica es la parte donde se encuentra ubicado el engranaje cónico con unos valores de:

$$M_{f_{xz}} = 70,40 \text{ Nm}$$

$$M_{f_{yz}} = 57,921 \text{ Nm}$$

$$M_f \text{ total} = 91,16 \text{ Nm}$$

$$M_t = 106,103 \text{ Nm}$$

$$\text{Axial} = 319,2408 \text{ N}$$

A partir de estos valores y los coeficientes de forma se obtiene un factor de seguridad de 2.56.

8.4.1.2. Simulación Solidworks

Para simular las deformaciones y fatiga sufrida por la pieza se usa el complemento Simulation. En él se introducen las fuerzas a las que está sometida la pieza y el material utilizado.

Fuerzas aplicadas:

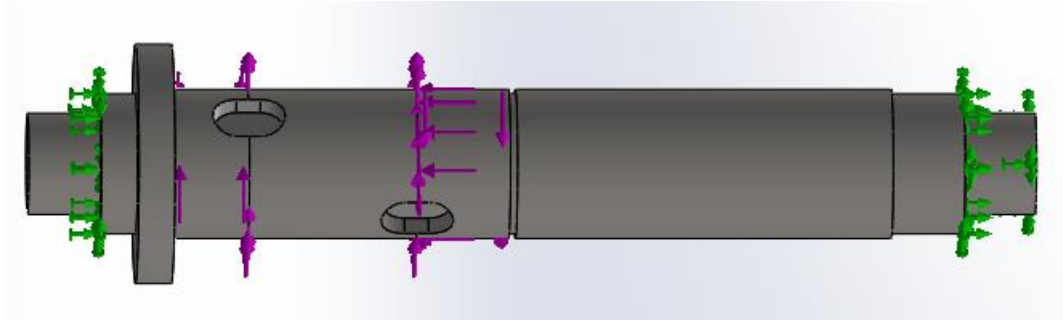


Ilustración 39 Aplicación de fuerzas eje vertical

Resultado deformación Von Mises

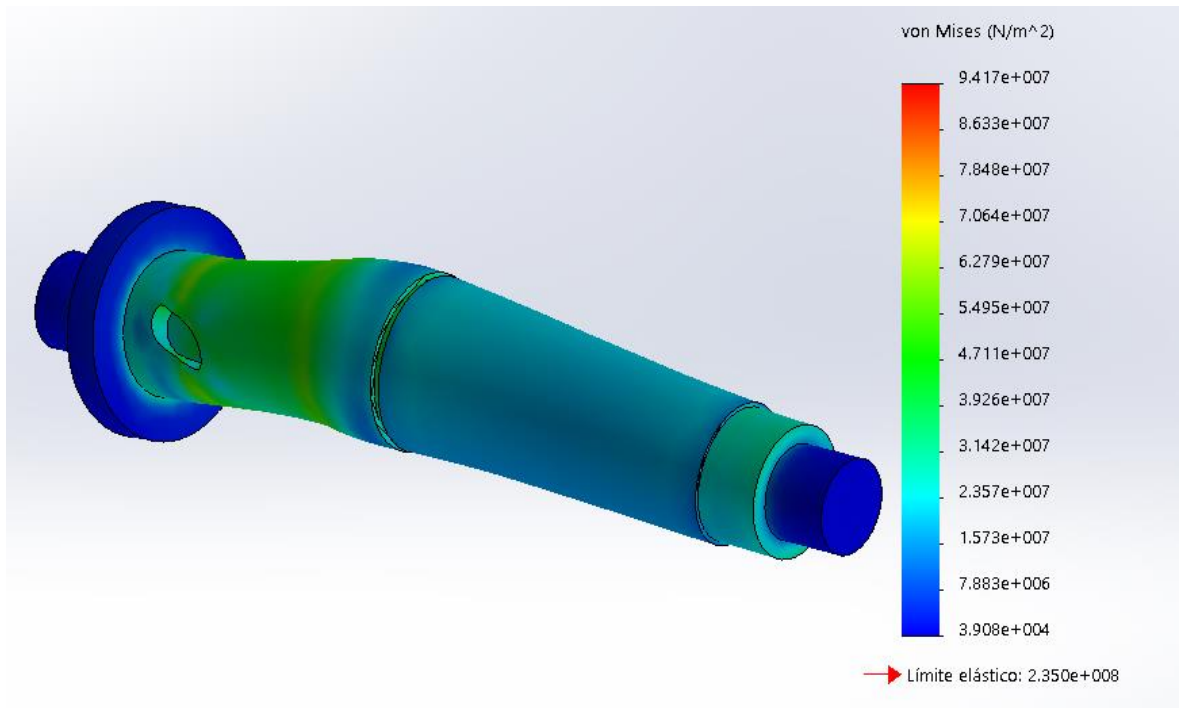


Ilustración 40 Von Mises eje vertical

Resultado desplazamientos:

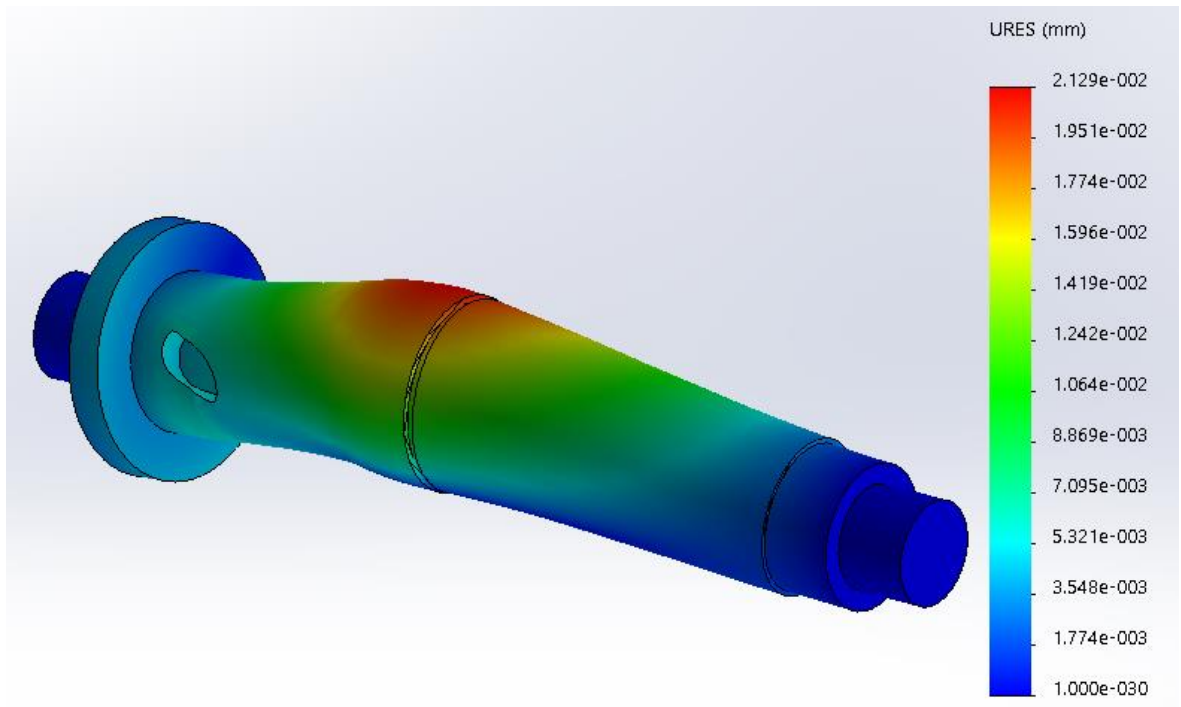


Ilustración 41 Deformación eje vertical

Resultado a fatiga:

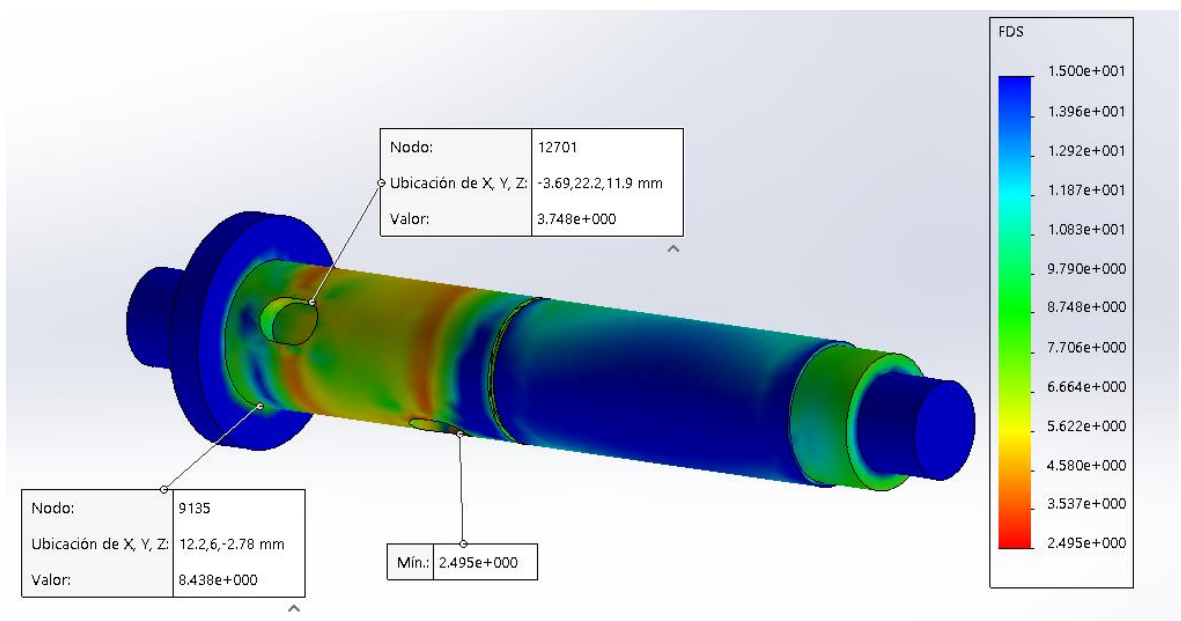


Ilustración 42 Factor de seguridad a fatiga eje vertical

8.4.1.3. Comparación de resultados

Para comprobar que el cálculo y simulación son correctos se han realizado más comprobaciones en los puntos cadena y sección C.

	Valor cálculo manual	Valor Solidworks
Sección C	8,2	8,438
Sección cadena	3,53	3,748
Sección cónico	2,56	2,495

Tabla 23 Comparación resultados a fatiga eje vertical

Como se puede apreciar los resultados entre el cálculo manual y el realizado con simulación por SolidWorks son similares y se puede sacar la conclusión de que son correctos. La diferencia es debido a los pequeños errores producidos en el cálculo a mano y la simplificación de números al no arrastrar todos los decimales.

Todas las secciones tienen un valor superior a 2, que es el valor que se ha marcado para garantizar el buen funcionamiento de las piezas.

8.4.2. Eje horizontal

Esta pieza está sometida a la torsión y otras fuerzas producidas por el engranaje cónico y la rueda de la cadena.

8.4.2.1. Cálculo manual

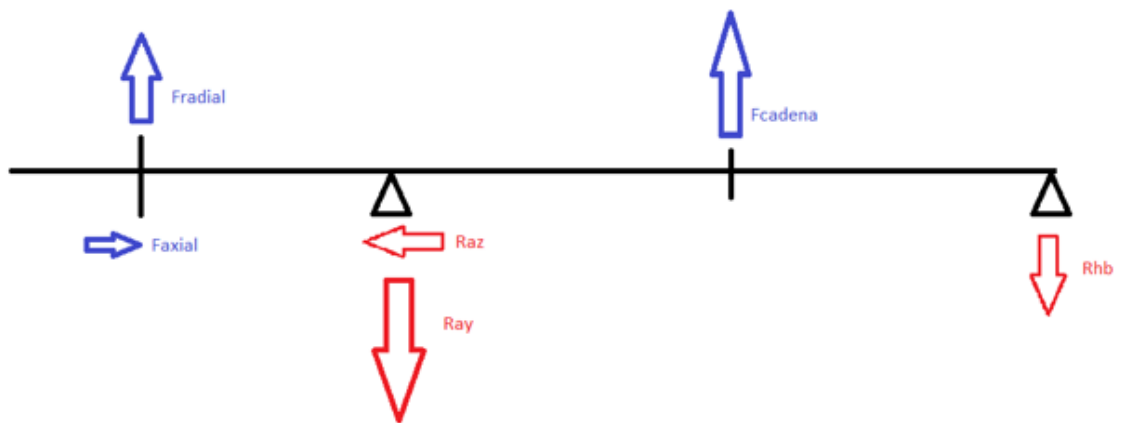
La realización de este cálculo sigue los mismos pasos que en el apartado 8.4.1.

Valores de entrada:

- $S_u = 1170 \text{ MPa}$
- $S_y = 931 \text{ MPa}$
- $P = 250 \text{ W}$
- $W = 45 \text{ rpm} = 4,71 \text{ rad/s}$

- $T = 53.05 \text{ Nm}$
- $F_{\text{cad}} = 873,96 \text{ N}$
- $F_{\text{rad}} = 626,5453 \text{ N}$
- $F_{\text{tang}} = 1931,9938$
- $F_{\text{axial}} = 319,24083$

Reacciones en el plano YZ

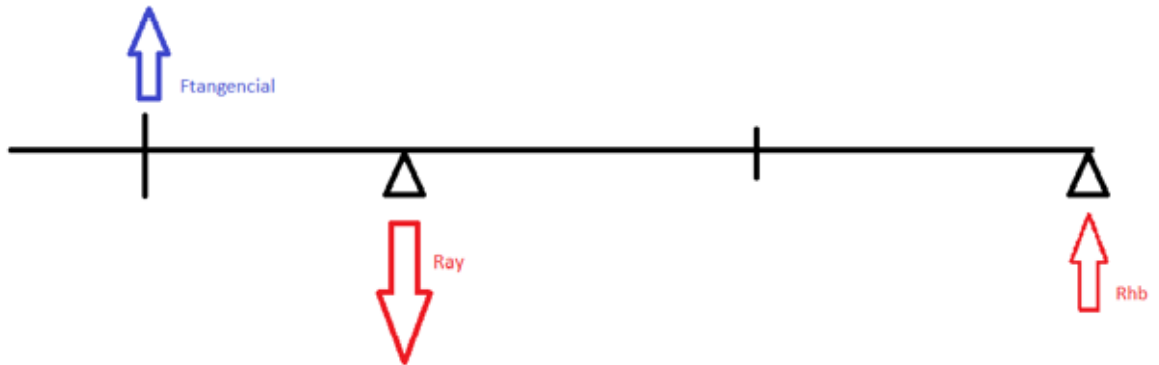


$$R_{\text{hy}} = -196,84 \text{ N}$$

$$R_{\text{ay}} = 1303,67 \text{ N}$$

$$R_{\text{az}} = 319,2408 \text{ N}$$

Reacciones en el plano XZ



$$R_h = 544,9 \text{ N}$$

$$R_a = 2476,9 \text{ N}$$

La sección crítica es la parte donde se encuentra ubicado el punto D con unos valores de:

$$M_{f_{xz}} = 41,63 \text{ Nm}$$

$$M_{f_{yz}} = 3,29 \text{ Nm}$$

$$M_f \text{ total} = 41,76 \text{ Nm}$$

$$M_t = 53,03 \text{ Nm}$$

$$\text{Axial} = 319,2408 \text{ N}$$

No se puede calcular la sección crítica D debido a que no aparecen los valores del factor k_t en las tablas. Se calcula la sección Cadena y si esta coincide con los valores obtenidos se considerará que la sección crítica D es correcta.

La sección cadena tiene unos valores de:

$$M_{f_{xz}} = 13,89 \text{ Nm}$$

$$M_{f_{yz}} = 38,44 \text{ Nm}$$

$$M_f \text{ total} = 40,88 \text{ Nm}$$

$M_t = 53,03 \text{ Nm}$

Axial = 0 N

A partir de estos valores y los coeficientes de forma se obtiene un factor de seguridad de 5,435 en el punto D.

8.4.2.2. Simulación Solidworks

La simulación se hace siguiendo los mismos pasos que en el apartado 8.4.1.2.

Fuerzas aplicadas:

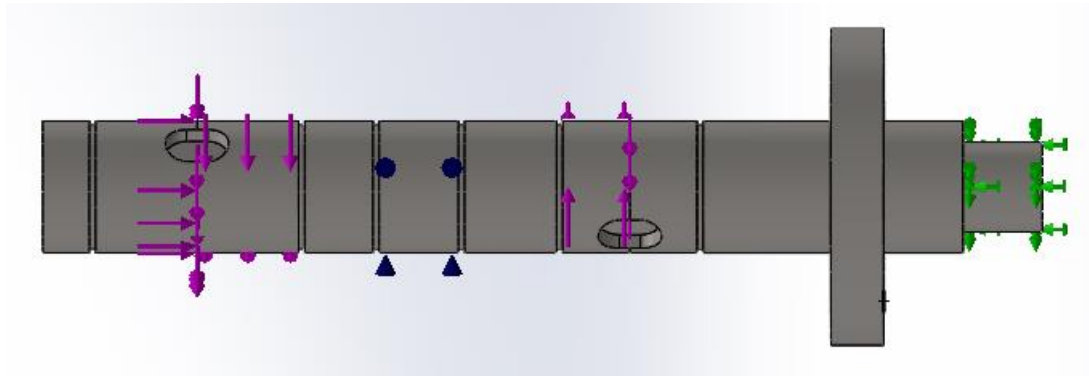


Ilustración 43 Fuerzas eje horizontal

Resultado deformación Von Mises

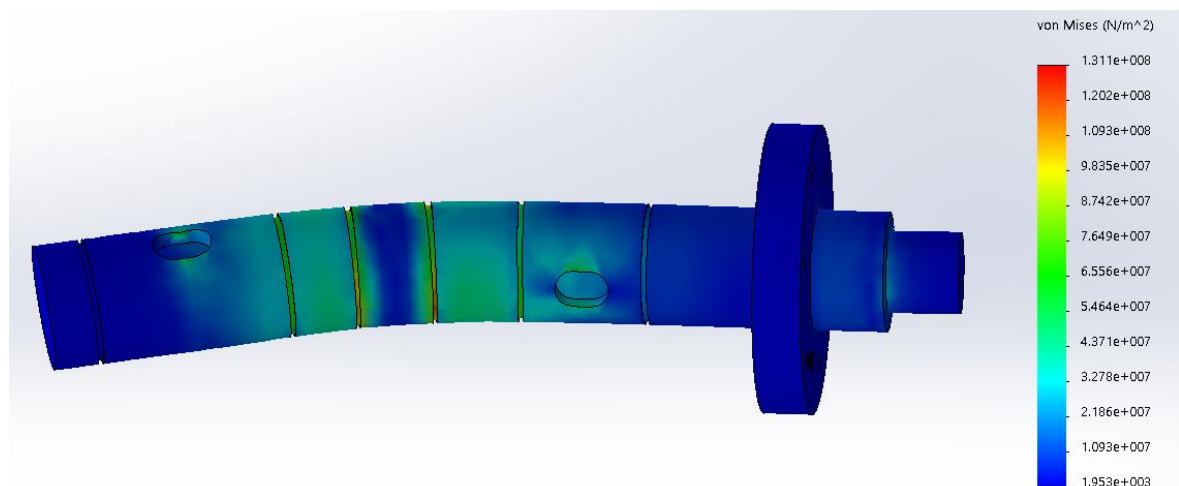


Ilustración 44 Von Mises eje horizontal

Resultado desplazamientos:

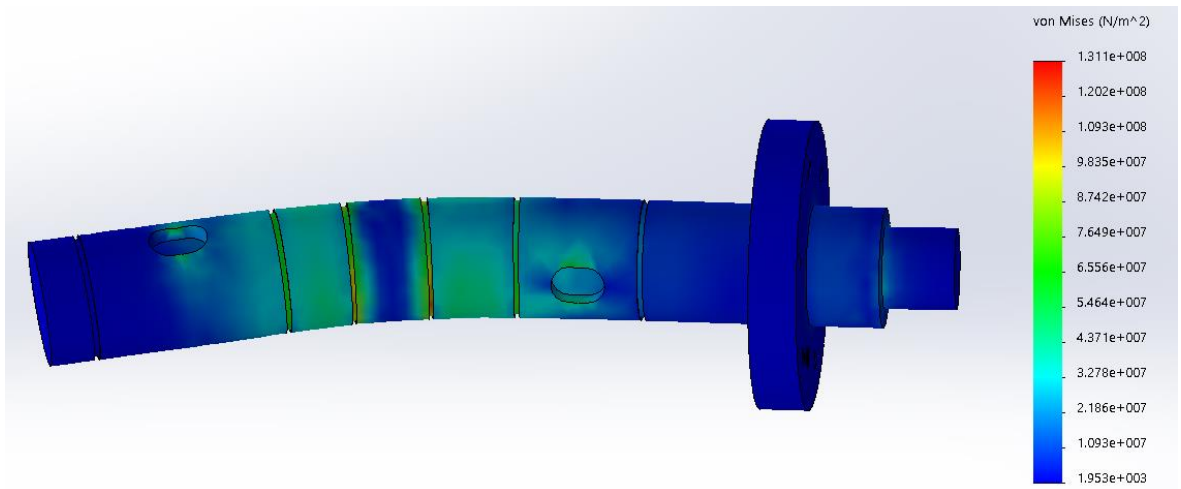


Ilustración 45 Deformación eje horizontal

Resultado a fatiga:

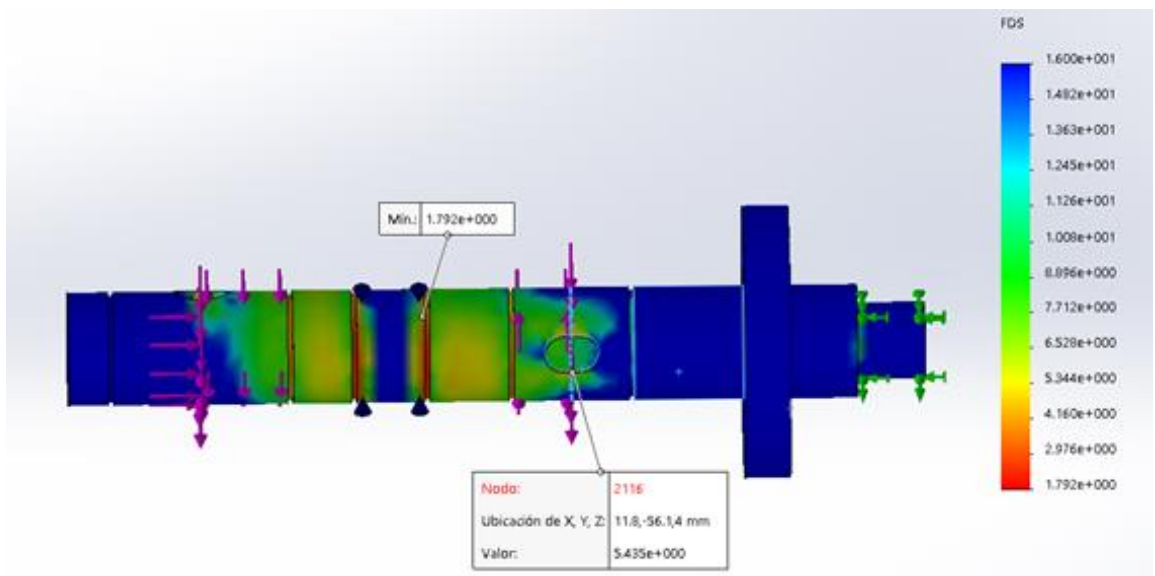


Ilustración 46 Factor de seguridad a fatiga eje horizontal

8.4.2.3. Comparación de resultados

Al tener un valor próximo en la sección cadena se daría por buena la simulación de sección crítica en la sección D.

	Valor calculo manual	Valor Solidworks
Sección D	-	1,792
Sección cadena	5,766	5,435

Tabla 24 Comparación resultados a fatiga eje horizontal

La sección D tiene un valor inferior a 2 de coeficiente de seguridad por ese motivo deberá prestarse atención cuando se analice el funcionamiento del prototipo.

8.4.3. Eje para rodamiento

Esta pieza está sometida a la torsión y otras fuerzas producidas por la rueda de la cadena. Además, tiene la fuerza axil producida por el peso de la estructura.

8.4.3.1. Cálculo manual

La realización de este cálculo sigue los mismos pasos que en el apartado anterior. En este caso solo se tiene las vistas del plano YZ.

Datos

- $S_u = 1170 \text{ MPa}$
- $S_y = 931 \text{ MPa}$
- $P = 250 \text{ W}$
- $W = 11,25 \text{ rpm} = 1,18 \text{ rad/s}$
- $T = 212 \text{ Nm}$
- $F_{\text{cad}} = 1746,3 \text{ N}$

Reacciones en el plano YZ



$$R_{hy} = 569,4 \text{ N}$$

$$R_{ay} = 2315,7 \text{ N}$$

$$R_{az} = 5000 \text{ N}$$

En esta pieza se obtiene la sección crítica en el punto B, con los valores:

$$M_{f_{yz}} = 65,2 \text{ Nm}$$

$$M_t = 212 \text{ Nm}$$

$$\text{Axial} = 5000 \text{ N}$$

A partir de estos valores y los coeficientes de forma se obtiene un factor de seguridad de 2,39 en el punto B.

8.4.3.2. Simulación Solidworks

Las simulaciones se realizan siguiendo los pasos de los apartados anteriores

Fuerzas aplicadas:

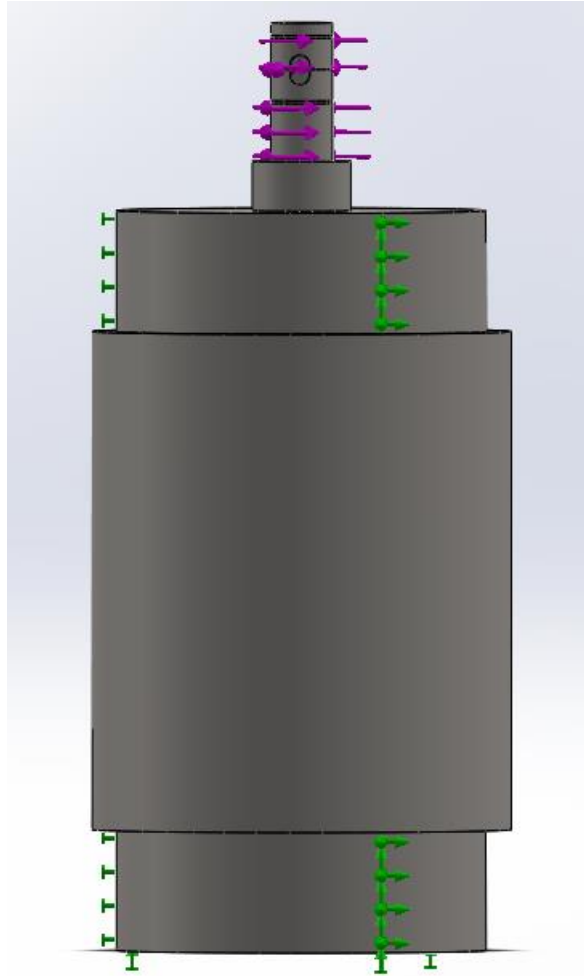


Ilustración 47 Fuerzas eje para rodamiento

Resultado deformación Von Mises

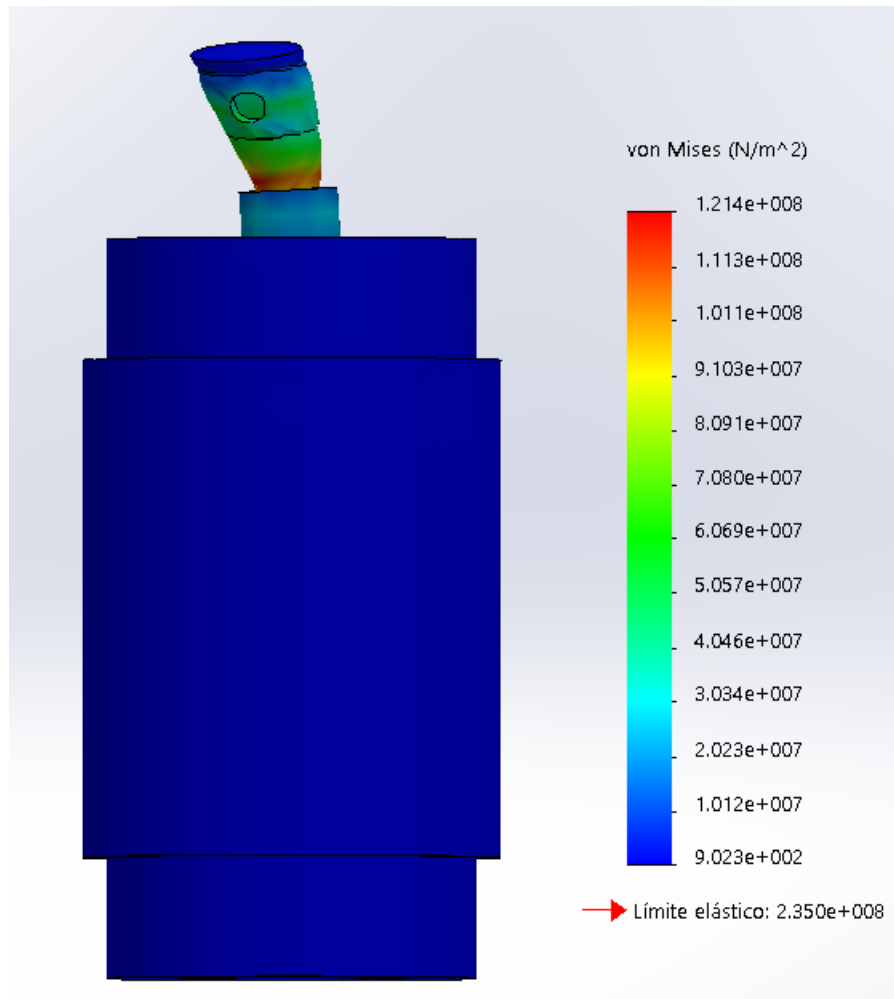


Ilustración 48 Von Mises eje para rodamiento

Resultado desplazamientos:

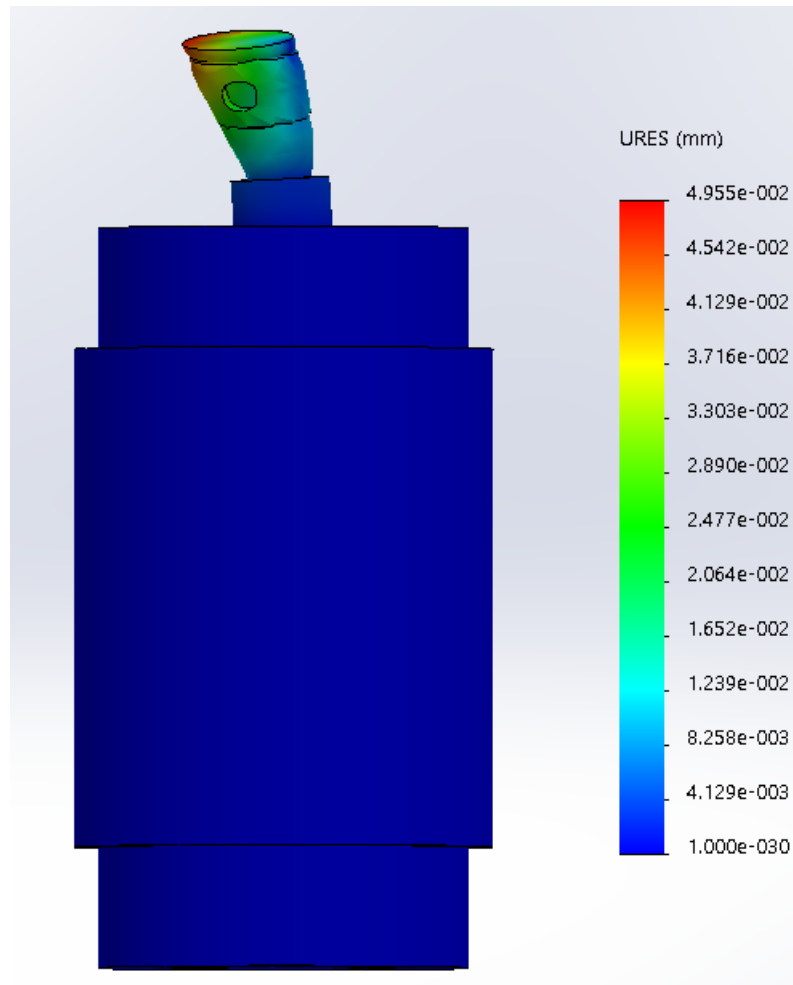


Ilustración 49 Deformaciones eje para rodamiento

Resultado a fatiga:

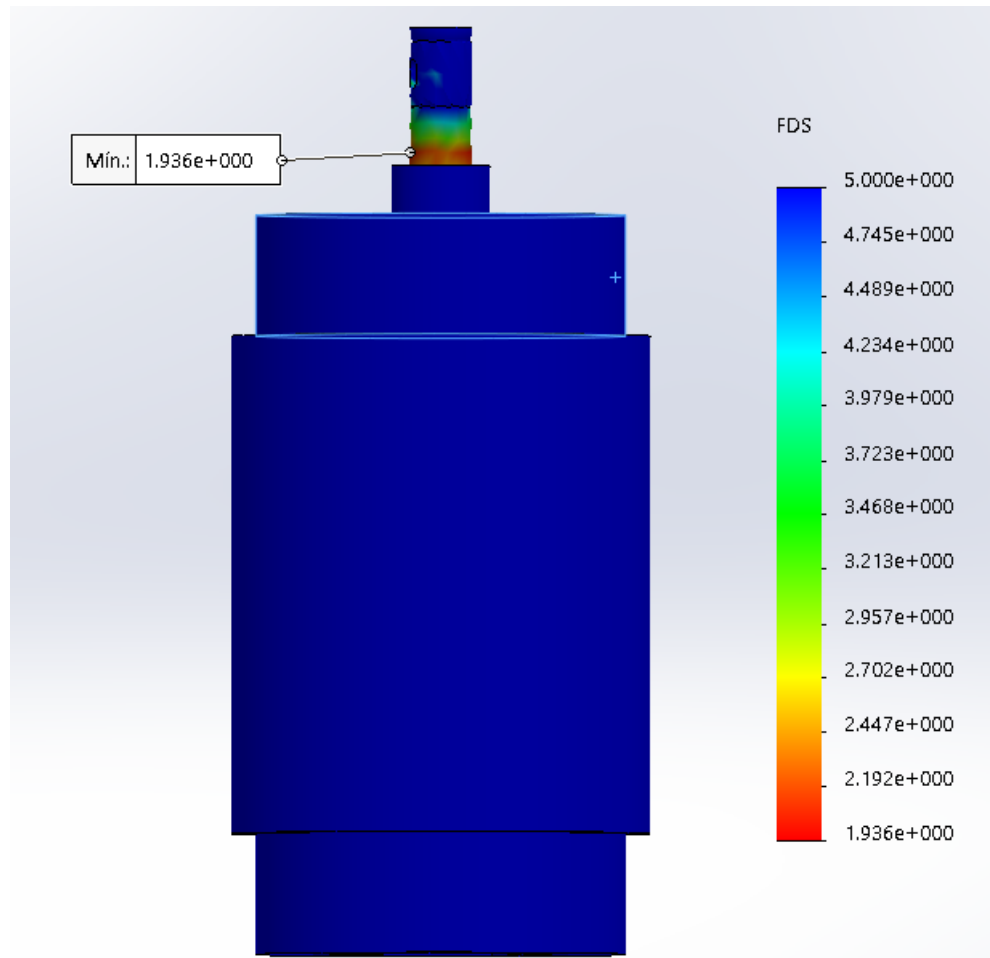


Ilustración 50 Coeficiente de seguridad a fatiga eje para rodamiento

8.4.3.3. Comparación de resultados

Como en los apartados anteriores los valores son próximos y la diferencia es debido a los pequeños errores producidos en el cálculo a mano y la simplificación de números al no arrastrar todos los decimales.

	Valor calculo manual	Valor Solidworks
Sección B	2,39	1,936

Ilustración 51 Comparación resultados a fatiga eje para rodamiento

En este caso nos encontramos que en el cálculo realizado a mano el coeficiente de seguridad a fatiga es mayor a dos y en el de simulación no. En el análisis del prototipo se tendrá que prestar atención a este elemento para garantizar correctamente su vida a fatiga.

8.4.4. Barra cuadrada

Esta pieza está sometida a la torsión que ejerce la pieza eje para rodamiento al transmitir el movimiento. Además, también tendrá la fuerza axial ejercida por el peso de las piezas.

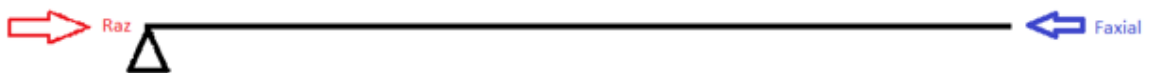
8.4.4.1. Cálculo manual

La realización de este cálculo sigue los mismos pasos que en el apartado anterior. En este caso solo se tiene las vistas del plano YZ y la fuerza axial.

Datos

- $S_u = 1170 \text{ MPa}$
- $S_y = 931 \text{ MPa}$
- $P = 250 \text{ W}$
- $W = 11,25 \text{ rpm} = 1,18 \text{ rad/s}$
- $T = 212 \text{ Nm}$

Reacciones en el plano YZ



$$R_{az} = 5000 \text{ N}$$

Características sección crítica

$$M_f = 0 \text{ Nm}$$

$$M_t = 212 \text{ Nm}$$

$$\text{Axial} = 5000 \text{ N}$$

No se puede calcular el coeficiente K_f debido a que no aparece el valor de la relación de diámetros en la tabla.

8.4.4.2. Simulación Solidworks

Fuerzas aplicadas:

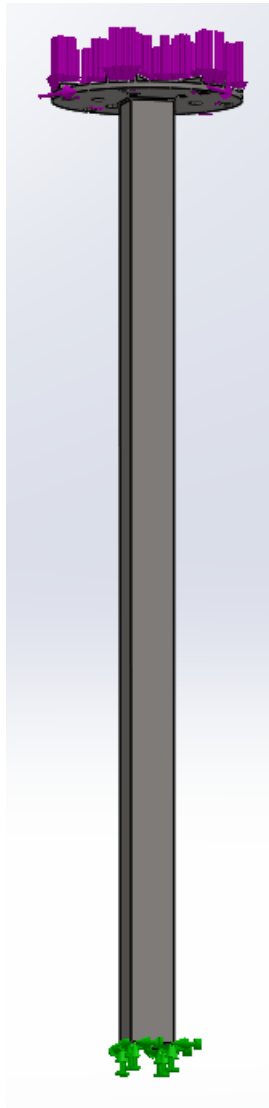


Ilustración 52 Fuerzas barra cuadrada

Resultado deformación Von Mises

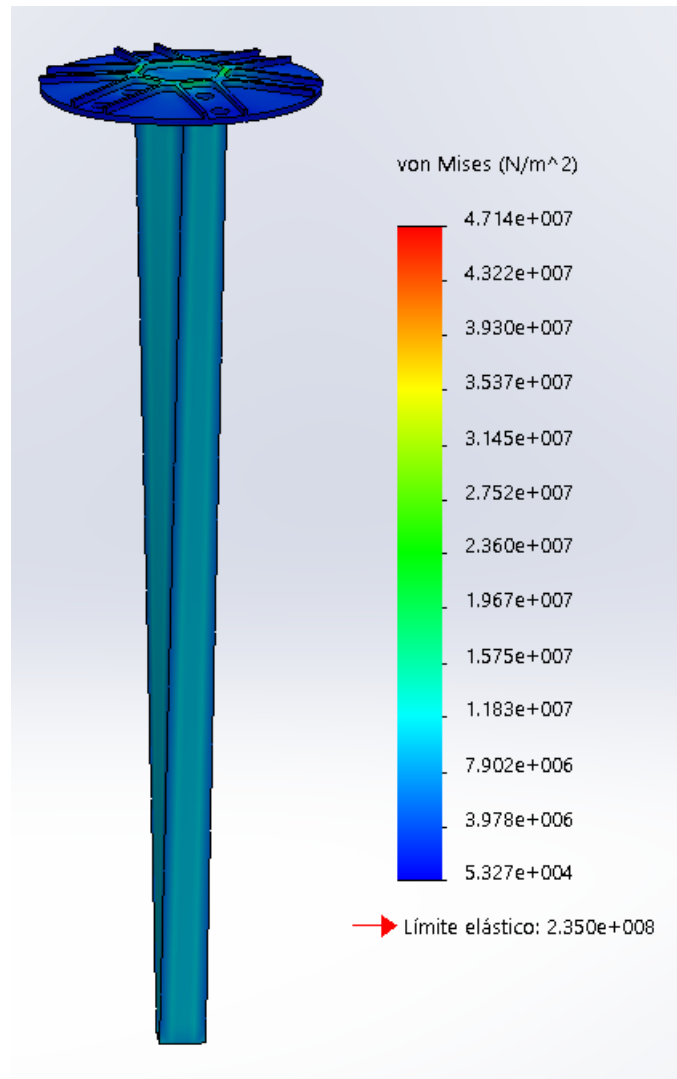


Ilustración 53 Von Mises barra cuadrada

Resultado desplazamientos:

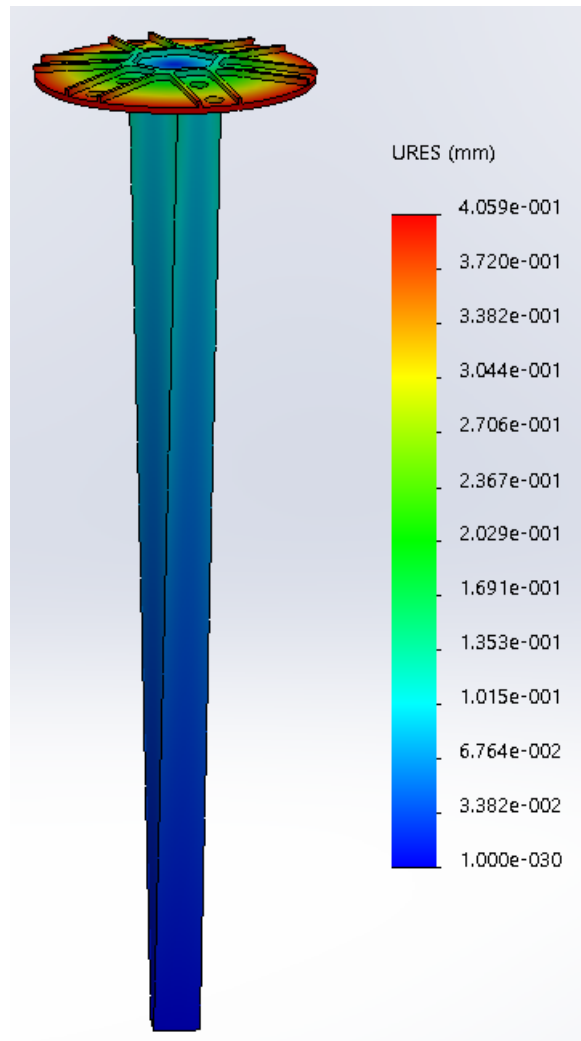


Ilustración 54 Deformación barra cuadrada

Resultado a fatiga:

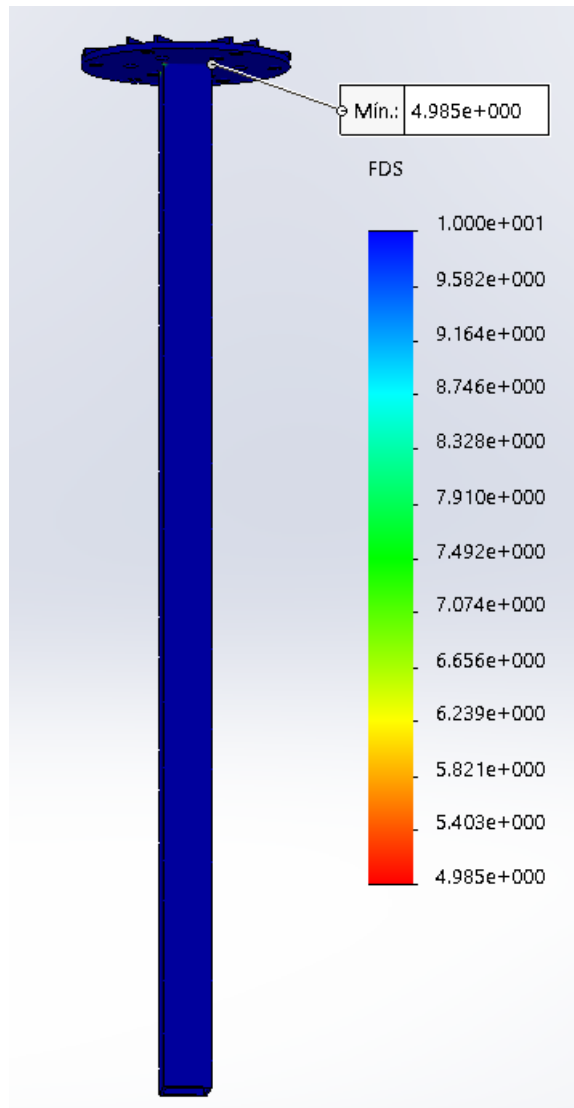


Ilustración 55 Coeficiente de seguridad a fatiga barra cuadrada

8.4.4.3. Comparación de resultados

Al no poderse realizar el cálculo de una forma manual debido a problemas con valores de las tablas solo se tiene en cuenta la simulación. Al obtener un valor de 4,985, se garantiza que la pieza tendrá vida infinita.

8.5. Simulación de la estructura

Para este apartado solo se realiza la simulación en SolidWorks debido a la complejidad. Para ello se exponen los dos casos más desfavorables. El primer caso es que se monte un número impar de niños y queden descompensadas las fuerzas en el mástil. El otro caso es tener el tiovivo totalmente lleno de niños.

En las simulaciones daban muchos problemas y errores las conexiones de las piezas grilletes y cables de acero. Para solucionar ese problema se ha optado por diseñar una pieza que sustituya al pequeño conjunto formado por esas piezas y que cumpla la misma función sin alterar al resto del conjunto.

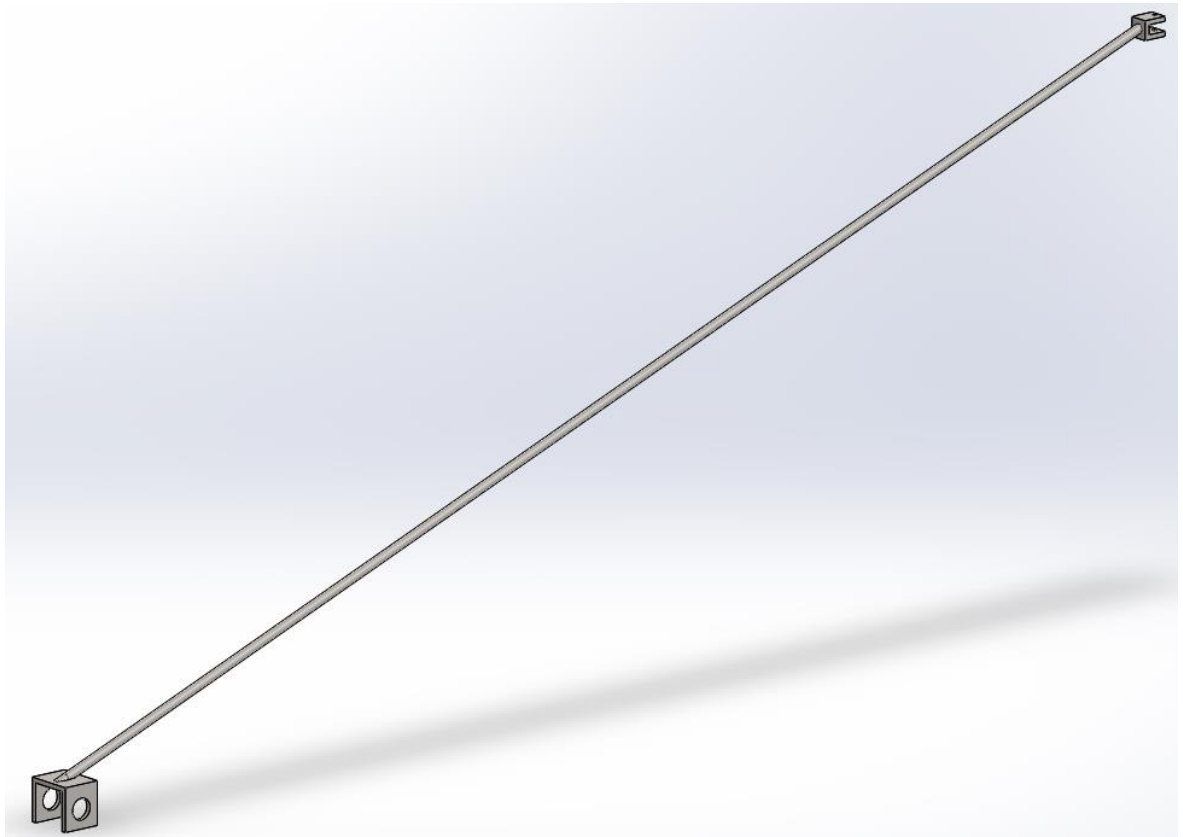


Ilustración 56 Pieza simplificación conjunto grilletes y cable

8.5.1. Simulación de un número impar de niños

Para realizar este estudio se realiza como si solo se subiese un niño al tiovivo.

Fuerzas aplicadas:

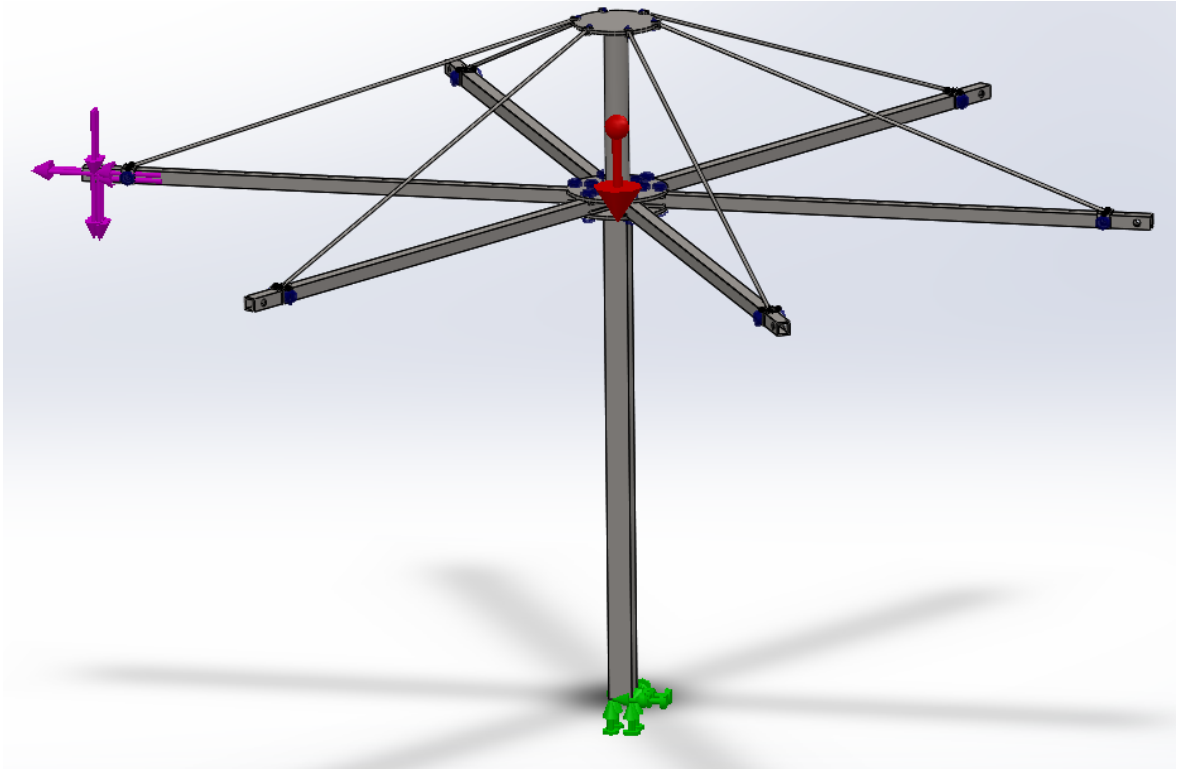


Ilustración 57 Aplicación en la estructura cuando monta un solo pasajero

Solo se aplican las fuerzas que ejerce un niño y la fuerza la gravedad de las piezas. El conjunto está fijado por la parte interior que es como esta al introducirse dentro de la pieza eje para rodamiento.

Resultado deformación Von Mises

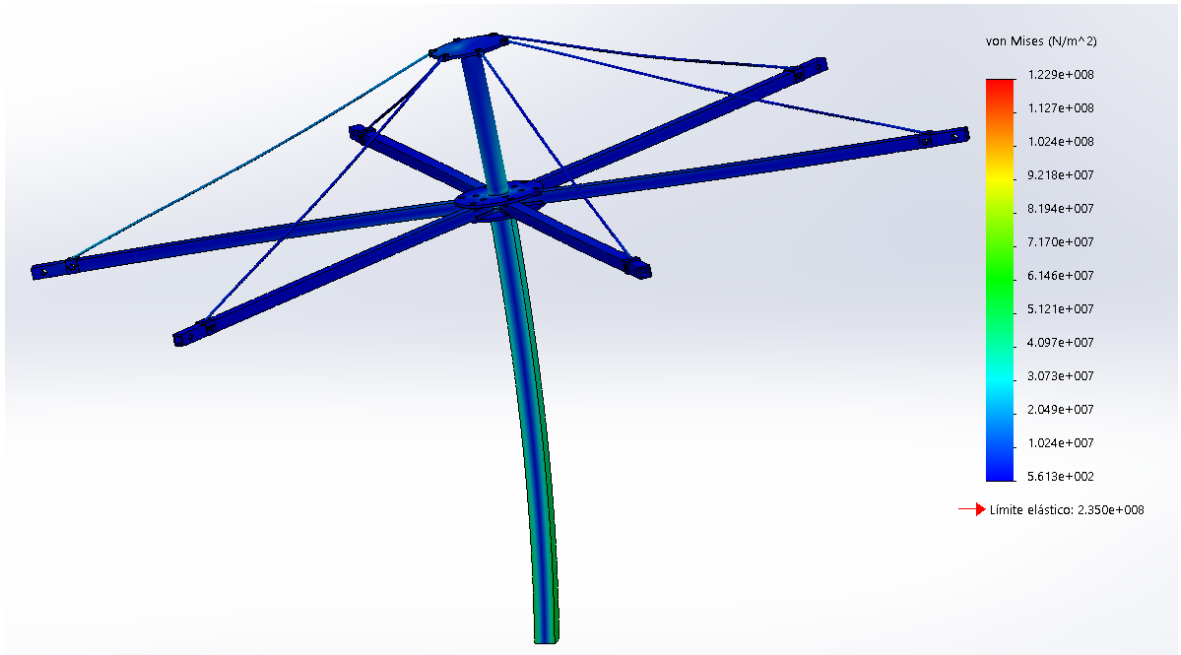


Ilustración 58 Von Mises en la estructura cuando monta un solo pasajero

Resultado desplazamientos:

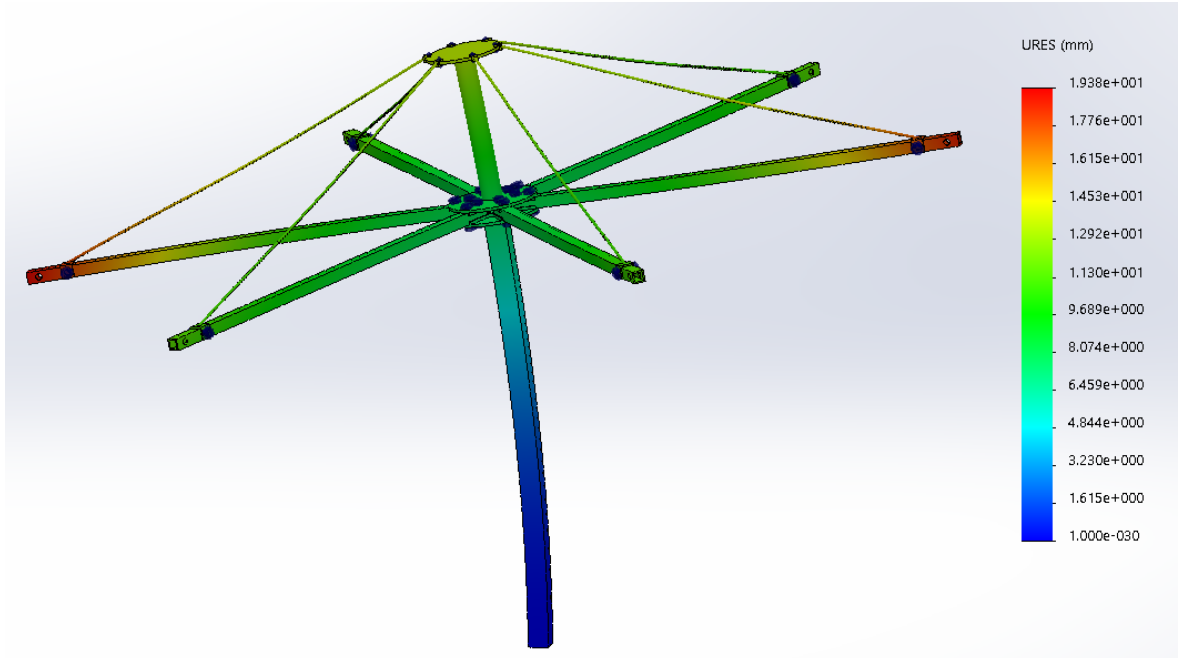


Ilustración 59 Deformación en la estructura cuando monta un solo pasajero

La deformación máxima son casi 2 centímetros, que es más que asumible para este tipo de piezas.

Resultado a fatiga:

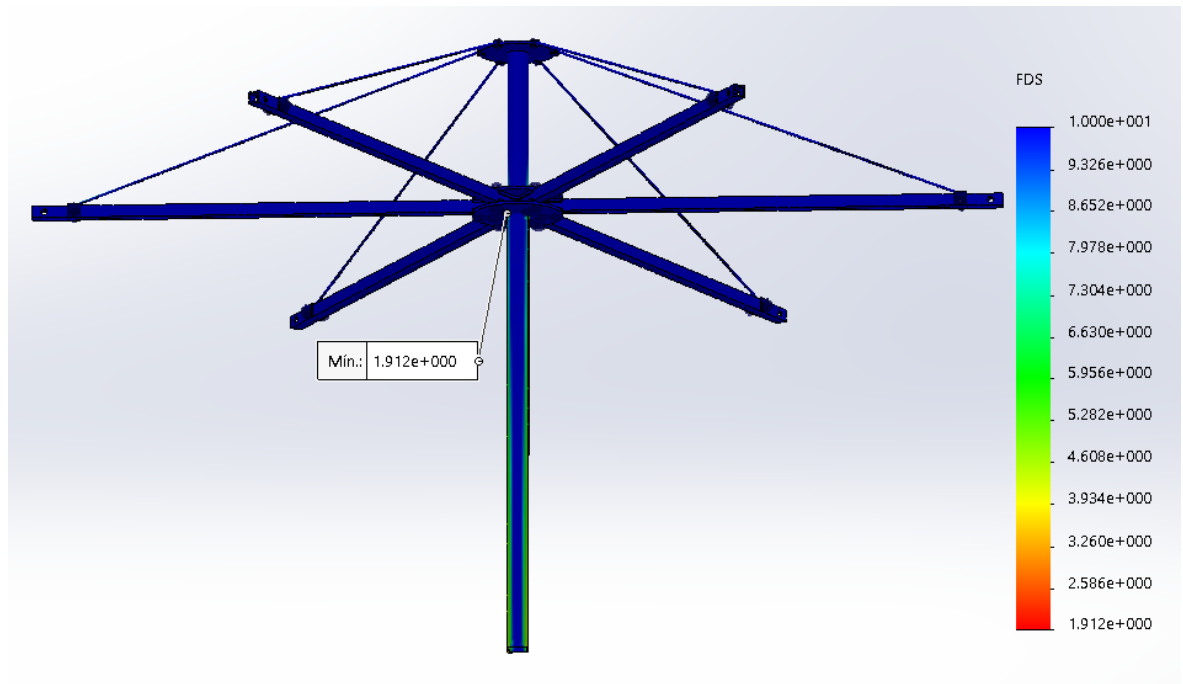


Ilustración 60 Coeficiente de seguridad a fatiga en la estructura cuando monta un solo pasajero

En la mayoría del conjunto se aprecia un factor de seguridad mayor a 10. La sección crítica se encuentra en la parte de la soldadura de la pieza sección cuadrada. Este valor es inferior a 2 pero es próximo así que esta parte se debe analizar con detalle en el estudio que se realizará en el prototipo.

8.5.2. Simulación con el tiovivo a plena carga

Para realizar este estudio se realiza como si se subiese seis niños en el tiovivo.

Fuerzas aplicadas:

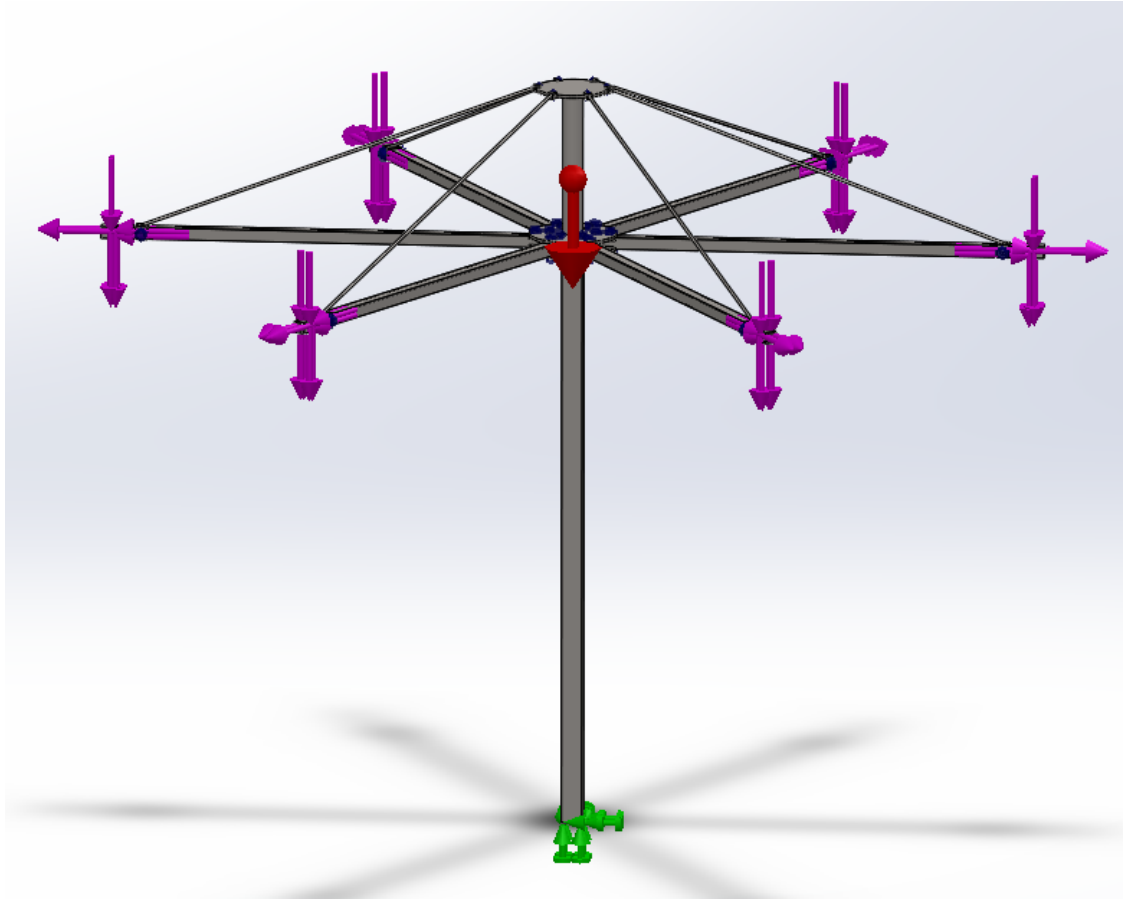


Ilustración 61 Aplicación de fuerzas en la estructura cuando montan todos los pasajeros

Solo se aplican las fuerzas que ejercen seis niños y la gravedad del conjunto. El conjunto está fijado por la parte interior que es como esta al introducirse dentro de la pieza eje para rodamiento.

Resultado deformación Von Mises

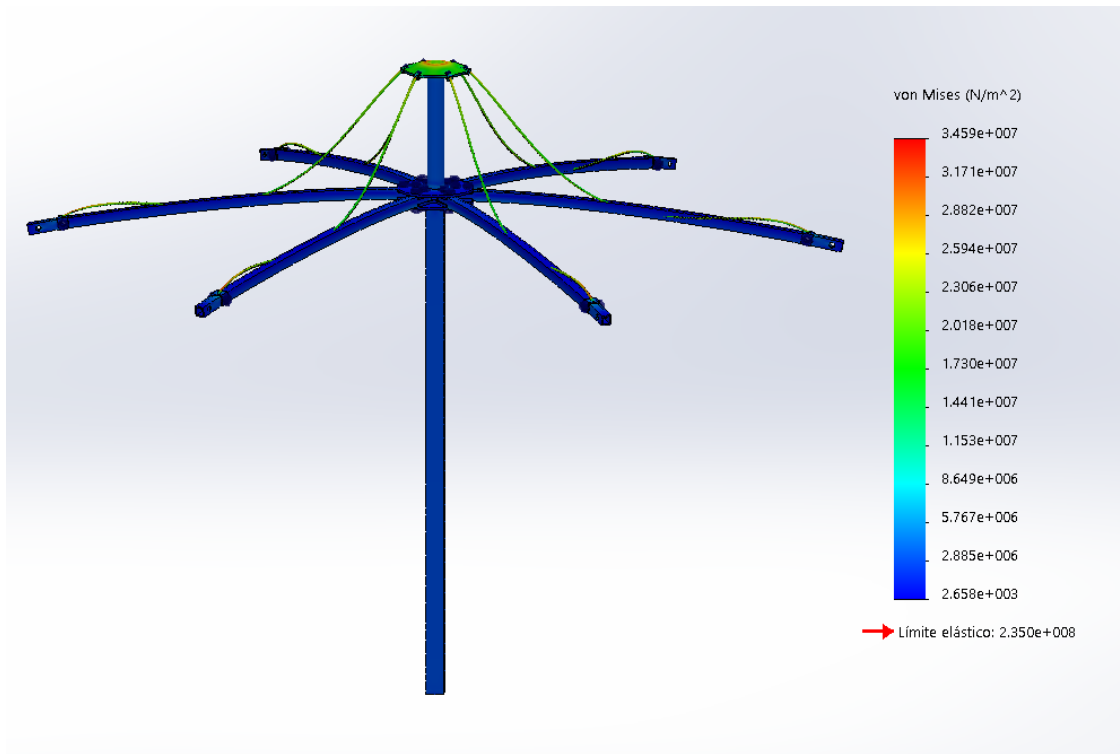


Ilustración 62 Von Mises en la estructura cuando montan todos los pasajeros

Resultado desplazamientos:

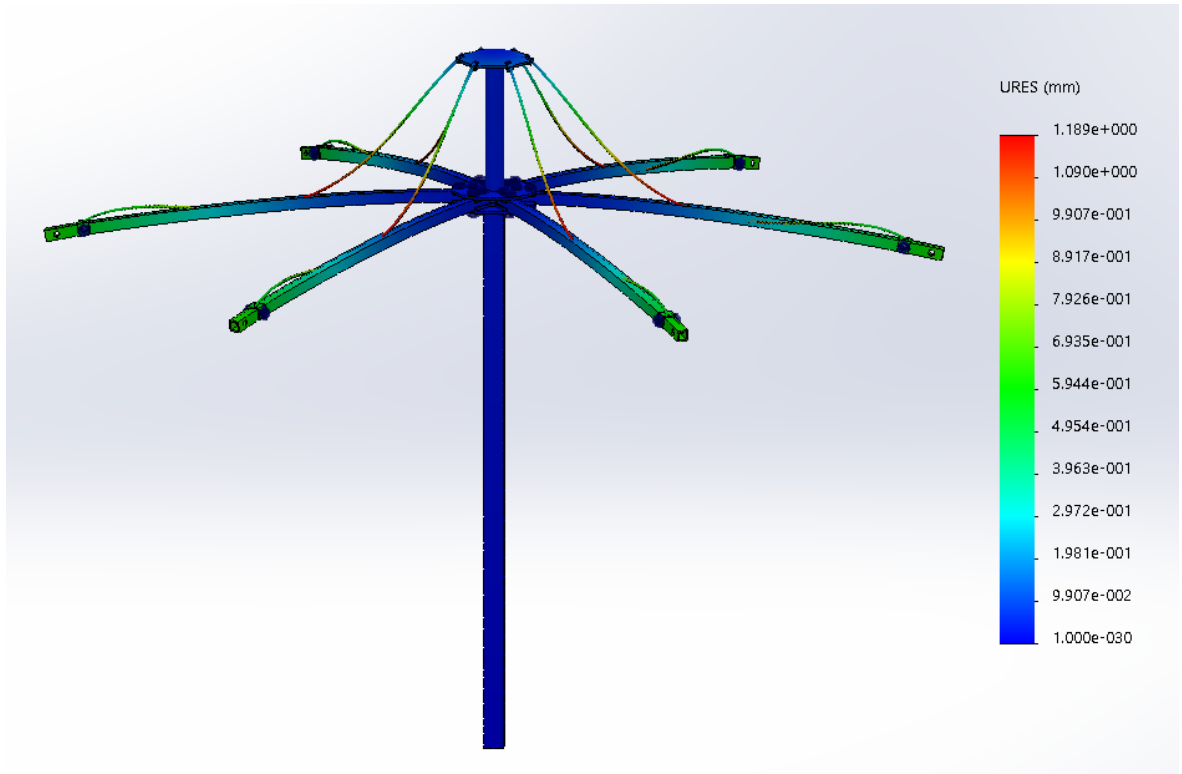


Ilustración 63 Deformaciones en la estructura cuando montan todos los pasajeros

La deformación máxima es poco más de un centímetro, que es casi la mitad que la anterior

Resultado a fatiga:

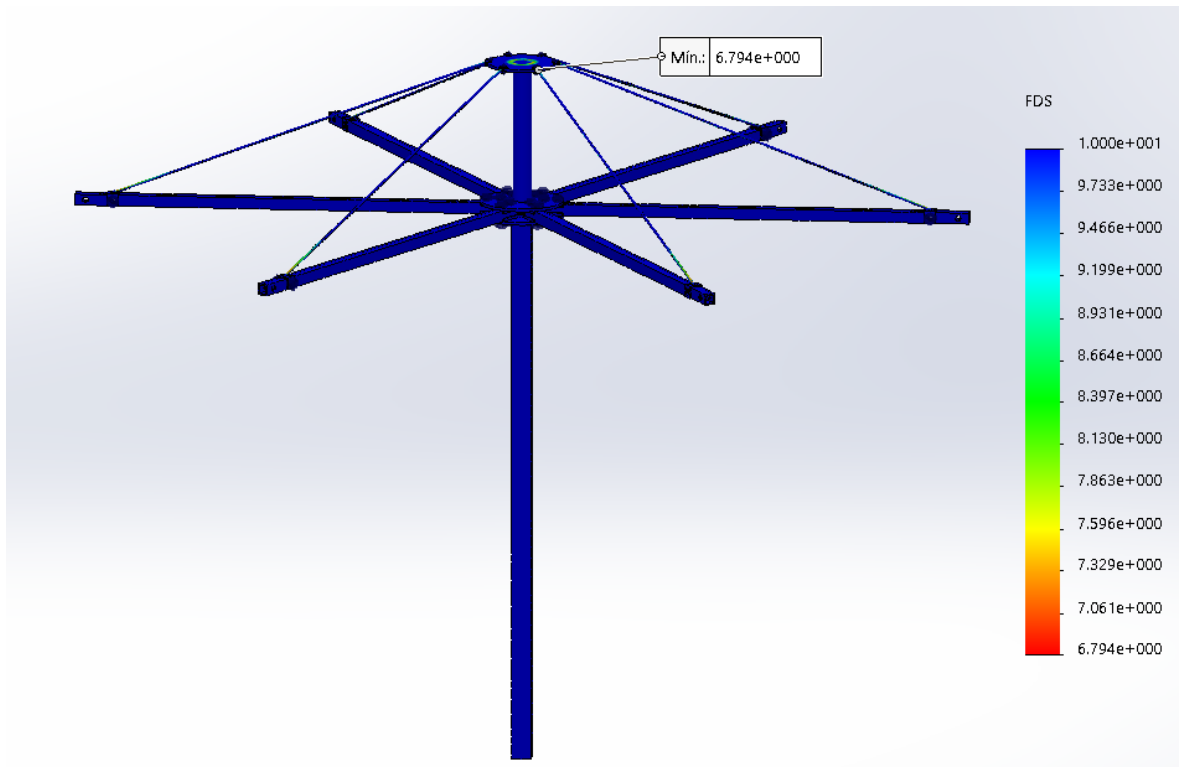


Ilustración 64 Coeficiente de seguridad a fatiga en la estructura cuando montan todos los pasajeros

En la mayoría del conjunto se aprecia un factor de seguridad mayor a 10. La sección crítica se encuentra en la pieza diseñada para sustituir al conjunto formado por los grilletes y el cable de acero así que la despreciaremos. Además, esta se encuentra en un valor superior a 2.

9. IMPACTO AMBIENTAL

Es de suma importancia a la hora de la elección de los materiales que componen el equipo no solo considerar diferentes aspectos como el económico sino también el impacto medioambiental que los mismos pueden llegar a provocar acorto, mediano y largo plazo.

Respecto a la interacción que la maquina pueda tener con el medio ambiente, no se han encontrado datos preocupantes en cuanto a piezas o componentes que la normativa considere como peligrosas y por lo tanto no se considera contaminante.

Su contaminación acústica no supera los límites de la normalidad en cuanto a ruido producido por una máquina, ya que los componentes más ruidosos durante su trabajo son los engranajes cónico y transmisión por cadena, los cuales no producen valores acústicos a tener en cuenta.

En lo referente al impacto ambiental conviene diferenciar entre:

- impacto ambiental en la fabricación de las piezas
- impacto ambiental durante el funcionamiento de la maquina
- impacto ambiental en el fin de vida de la maquina

9.1. Fabricación

Se deberá prestar atención al material sobrante de los procesos de fabricación de las diferentes piezas del conjunto. Este material de desecho, principalmente virutas y pequeños fragmentos de acero, será gestionado por las empresas que fabriquen dichas piezas, ya que es competencia de ellas la gestión de los residuos de las piezas que fabrican. Por norma general, las empresas menos grandes acostumbran a valorizar sus residuos de forma externa, vendiendo a terceros los desechos para que los reciclen, normalmente, fundiéndolos y mezclándolos con material virgen de la misma tipología.

Otro aspecto a tener en cuenta en la fabricación de las piezas es el impacto ambiental indirecto resultado del consumo de energía a la hora de la fabricación. Esta cuestión también debe ser valorada y gestionada por las empresas que fabrican las piezas con tal de realizar una producción lo más sostenible posible.

9.2. Funcionamiento

El impacto ambiental de la máquina durante sus años de funcionamiento es mínimo ya que ni su mantenimiento ni su trabajo generan ningún tipo de residuo.

Comparando esta atracción con las usadas tradicionalmente, esta es más ecológica debido a que no precisa consumo de energía eléctrica.

9.3. Fin de la vida de la atracción

Al final del ciclo de vida de la atracción no es necesario tomar ninguna medida de carácter medioambiental especial por las razones mencionadas anteriormente. Deberá ser desmontada de forma que las piezas, clasificadas según su tipo de material, puedan ser puestas a disposición de una empresa de gestión de residuos. Estos materiales serán reciclados de la misma forma que los desechos de fabricación anteriormente mencionados.

10. CONCLUSIONES

Se ha logrado diseñar un tiiovivo lo más desmontable posible siguiendo la normativa UNE13814. Para ello se han diseñado diferentes componentes y usado otros de normalizados.

Al haber vida de personas en riesgo se tendrá que realizar un estudio en un prototipo para comprobar que todo sea correcto. Se deberá prestar atención a todas aquellas piezas que dieron un resultado de coeficiente de seguridad inferior o próximo a 2.

En cuanto al presupuesto sale un precio elevado debido a que la producción solo se realiza para las piezas necesarias para el prototipo y no para su comercialización. Cuando se comercialice el producto comenzaran a amortizarse las horas de diseño que en este caso han sido muchas debido a la falta de experiencia del ingeniero.

11. BIBLIOGRAFÍA

Toda la información consultada ha sido por web:

- <http://www.carruselecológico.com/>
- <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/11973/01%20Eficiencia%20mec%C3%A1nica%20de%20pedaleo%20en%20ciclistas%20de%20diferente%20nivel%20competitivo.pdf>
- <http://www.beatransmision.com/upload/catalogo-industrial/docs/18.1-Eng.Con.A-B.pdf>
- <http://www.nebrija.es/~alopezro/Conicos.pdf>
- <http://www.skf.com/group/splash/index.html>
- <https://www.jardinitis.com/productos/juguetes/juguetes-de-madera/juego-y-diversion/articulos-de-balanceo/columpio-caballo-pneumatico-63-x-20-x-172-cm>
- <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>
- <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn217.html>
- http://frfq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/3776/mod_resource/content/0/Componentes_de_Maquinas_-_Fatiga_de_Alto_Ciclo.pdf
- http://www.mecapedia.uji.es/calculo_resistente_de_chavetas.htm
- <http://www.eis.unl.edu.ar/z/adjuntos/239/Chaveta1.pdf>
- <http://www.acerosurssa.es/es/content/14-equivalencias-aproximadas-entre-normas>
- <http://www.ice-steels.com/steel-plate-sheet/EN-10025-S235JRG2-steel.html>
- http://www.protubsa.com/wp-content/uploads/P_Protubsa_Estructurales_2016.pdf
- <http://www.metalasa.es/files/Productos.pdf>
- http://baselgalizaga.com/img/cms/documentos/info_tecnica/informacion_tecnica_tornilleria.pdf
- <http://www.waldestruarc.com/pdfs/5108%20Series.pdf>
- <http://www.blockandblock.es/producto/tarima-escenarios-pata-fija/>
- <http://www.carpasbarcelona.com/escenarios-plegables/precios-tarimas-escenarios.htm>
- <http://www.multisononline.com/patas-y-ruedas-tarimas-escenarios/guil-pta4-t2530-40x40.html>
- <http://www.mundoluz.net/p/estructuras/tarimas-y-accesorios.html>
- https://www.decathlon.es/kit-freno-de-disco-m396-tras-id_8244984.html

- <https://www.francobordo.com/grillete-recto-inox-vinox-p-1755.html?osCsid=0c594dac36ca2e9218edbc27ba13568f>
- <http://www.wurth.es/cables-7-x-19-acero-inox-a4-d-4-mm>
- https://www.tss.trelleborg.com/es/es/service/desing_support/fits_tolerance/fits_tolerance_1.html
- <http://www.otia.com.ar/otia/CATALOGO%2006-2005.pdf>
- <http://www.eis.unl.edu.ar/z/adjuntos/239/Chaveta1.pdf>
- http://ocw.upm.es/expresion-grafica-en-la-ingenieria/ingenieria-grafica-metodologias-de-diseno-para-proyectos/Teoria/LECTURA_COMPLEMENTARIA/TOLERANCIAS/tolerancias.pdf