

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***CÁLCULO Y DISEÑO DE LA
TRANSMISIÓN DE UN VEHÍCULO DE 6
VELOCIDADES***

DOCUMENTO 2- MEMORIA

Alumno/Alumna: Cabrero, de Castro, David

Director/Directora (1): Pera, Santos, Juan Antonio

Curso: 2017-2018

Fecha: Bilbao, 25 de Julio de 2018

DOCUMENTO 2: MEMORIA

2.1 OBJETO DEL PROYECTO	3
2.2 ALCANCE DEL PROYECTO	4
2.3 NORMATIVA Y REFERENCIA.....	5
2.3.1 Normativa.....	5
2.3.1.1 Normativa de documentación.....	5
2.3.1.2 Normativa de diseño	6
2.3.1.3 Normativa de seguridad	6
2.3.2 Bibliografía	6
2.3.2.1 Libros.....	6
2.3.2.2 Catálogos.....	7
2.3.2.3 Web	7
2.3.2.4 Software utilizados	8
2.4 DEFINICIONES Y NOMENCLATURAS.....	9
2.4.1 Nomenclaturas	9
2.4.2 Definiciones.....	13
2.5 CONDICIONES DE DISEÑO	15
2.6 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.....	16
2.6.1 Embrague.....	16
2.6.1.1 Embrague mecánico	17
2.6.1.2 Embrague electromagnético	18
2.6.1.3 Embrague hidráulico	19
2.6.2 Caja de cambios.....	20
2.6.2.1 Caja de cambios manual.....	20
2.6.2.1.1 Componentes de la caja de cambios manual	22

2.6.2.2 Caja de cambios automática.....	23
2.6.3 Árbol de transmisión.....	24
2.6.3.1 Juntas Cardan.....	25
2.6.4 Diferencial	25
2.6.4.1 Diferencial autoblocante.....	26
2.6.5 Configuración de la transmisión.....	28
2.6.5.1 Motor delantero y tracción delantera	29
2.6.5.2 Motor delantero y tracción trasera.....	29
2.6.5.3 Motor trasero y tracción trasera.....	30
2.6.5.4 Tracción 4 ruedas	30
2.7 SOLUCIÓN ADOPTADA.....	31
2.7.1 Configuración de la transmisión.....	31
2.7.2 Embrague.....	32
2.7.3 Caja de cambios.....	33
2.7.3.1 Engranajes.....	34
2.7.3.2 Eje primario.....	37
2.7.3.3 Eje intermediario	38
2.7.3.4 Eje secundario	39
2.7.4 Árbol de transmisión.....	40
2.7.5 Diferencial	40
2.7.6 Elemento comerciales	41
2.7.6.1 Rodamientos.....	41
2.7.6.2 Anillos de retención.....	43
2.7.7 Sincronizadores.....	44
2.7.8 Junta cardan	45
2.8 PLANIFICACIÓN.....	46

2.9 COSTE DEL PROYECTO	47
2.10 ESTUDIO DE SEGURIDAD.....	48

2.1 OBJETO DEL PROYECTO

La finalidad del proyecto es el cálculo y diseño de la transmisión de un vehículo BMW tipo berlina. El modelo a estudiar es el E46 330d (2004).

Se ha solicitado diseñar una transmisión para ese modelo de vehículo. El motor está situado en la parte delantera del vehículo y las ruedas motrices son las traseras, siendo así un automóvil de tracción trasera. Siguiendo las especificaciones técnicas del fabricante, la potencia nominal del vehículo es de 204 cv (150 kW) y de 4000 rpm. La transmisión mecánica está formada por una caja de cambios de 6 marchas hacia delante y una marcha atrás.



Imagen 2.1: BMW e46 330d (2004)

Creador del proyecto: Cabrero de castro, David

DNI: 22755656P

2.2 ALCANCE DEL PROYECTO

Este proyecto sera técnico y simplemente se limitará al campo de la mecánica, no teniendo en cuenta los sistemas electricos, electrónicos e hidráulicos que puedan influenciar en la transmisión.

Por otro lado el proyecto seguira la norma UNE 157001:2002. El proyecto estará formado por 7 documentos, los cuales seran suficientes para definir el diseño de la transmisión.

A la hora de desarrollar el diseño, deben de tenerse en cuenta las especificaciones del cliente:

- El vehículo debe superar todas las condiciones críticas que puedan darse en carretera y tener la capacidad de movimiento normal con estas condiciones
- Se optimizará el peso del vehículo con lo que se consumirá menos combustible. Para ello los materiales a utilizar serán ligeros pero de alta resistencia.
- Las relaciones de transmisión de la caja de cambios establecidas deberán cumplirse.
- Las dimensiones del vehícuo deben respetarse (distancia entre eje de salida y ruedas motrices,...).

Estas serán las condiciones que deberá cumplir la transmisión, y el diseño se realizará en base a estos criterios.

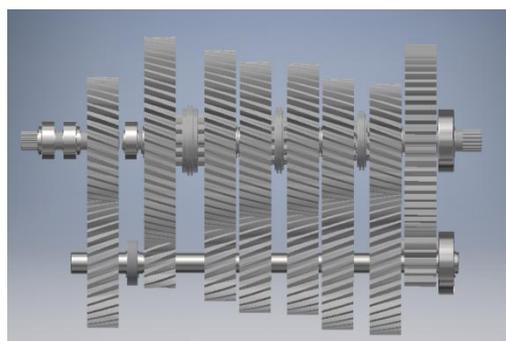


Imagen 2.2: Caja de cambios

2.3 NORMATIVA Y REFERENCIA

2.3.1 Normativa

2.3.1.1 Normativa de documentación

Documentación del proyecto	UNE 157001:002
Numeración de la documentación	UNE 50132:1994
Escritura	UNE 1-034-71/1
Cajetin	UNE 1-035-95
Escala	UNE1-026-83
Lista de componentes	UNE 1-135-89
Referencia de componentes	UNE 1-100-83
Formato	UNE 1-026-83/2
Plegado de planos	UNE 1-027-95
Acotación	UNE 1-039-94
Perdones generales	ISO 2768-m
Perdones dimensionales	UNE EN 20286-1:1996
Perdones geométricos	UNE EN 22768-2:1994
Fundamentos técnicos de dibujo	UNE 1-032-83
Acabados superficiales	UNE 1-037-83

2.3.1.2 Normativa de diseño

Aceros normalizados	UNE 36010
Cálculo de rodamientos	ISO281-1
Estriado de ejes	DIN 5480
Chavetas	DIN 6885
Cálculo de ejes	ASME
Anillos de seguridad	DIN 471

2.3.1.3 Normativa de seguridad

Seguridad de las máquinas	UNE-EN 1005:2002+A1:2009
Distancia de seguridad	ISO 13857:2008
Señalización de seguridad	UNE-EN 981:1997
Ergonomía	UNE-EN 13861:2011

2.3.2 Bibliografía

2.3.2.1 Libros

- K. H. DECKER. "Elementos de máquinas". Editorial Urmo.Bilbao.
- MANUEL CASCAJOSA "Ingeniería de vehículos". Editorial Tebar.Madrid

- FRANCISCO MUÑOZ GRACIA “Cálculo teórico-práctico de los elementos y grupos del vehículo industrial y automóvil I y II”.Editorial Dossat.España
- ANGEL SANZ GONZALEZ. “Tecnología automoción 5”.Editorial Edebé. Barcelona
- MIKEL ABASOLO BILBAO, SANTIAGO NAVALPOTRO CUENCA, EDURNE IRIONDO PLAZA. “Diseño de máquinas”.EIB Bilbao.UPV-EHU
- WILLIAN H. CROUSE. “Transmisión y caja de cambios del automóvil”. Marcombo (1984).

2.3.2.2 Catálogos

- Catálogo rodamientos SKF
- Catálogo anillos de seguridad RAYMOND
- Catálogo eje de transmisión PROTUBSA

2.3.2.3 Web

- www.protubsa.com
- www.asraymond.com.mx
- www.articardan.com
- www.thyssenkrupp.com

- www.ausasteel.com
- www.ultimatespecs.com
- www.coches.net
- www.tubosybarrashuecas.com
- www.Noticias.coches.com
- www.8000vueltas.com
- www.testcoches.com

2.3.2.4 Software utilizados

- Autodesk Inventor Professional 2017
- Microsoft Office Word 2007
- Microsoft Office Excel
- Microsoft Office Power Point
- Gantt Project
- MD Solids 4.0

2.4 DEFINICIONES Y NOMENCLATURAS

En este capítulo se definen las nomenclaturas mas utilizadas a lo largo de los 7 documentos facilitando así la comprensión de los términos técnicos presentes a lo largo del proyecto. También se ha de decir que la mayoría de las siguientes nomenclaturas son utilizadas en el documento 3, Cálculos.

2.4.1 Nomenclaturas

R_r : Resistencia por rodadura.

R_p : Resistencia a pendiente.

R_i : Resistencia a inercia

R_a : Resistencia aerodinámica

P : Peso del vehículo

P_c : Carga maxima que aguanta el vehículo

C_x : Coeficiente de resistencia aerodinámica

S : Superficie recto transversal del vehículo

δ : Peso específico del aire

v : Velocidad

a : Aceleración

T_{roz} : Par torsor

w : Velocidad angular

r_{dif} : Relación diferencial

g: Gravedad

μ : Coeficiente de rozamiento

L_t : Longitud del nervado

k: Factor soporte

h: Altura portante de los nervios

p: Presión en los falcos

w_{rueda} : Velocidad angular rueda

w_{motor} : Velocidad angular motor

$R_{resistente}$: Fuerza resistente

$M_{resistente}$: Momento resistente

Z: Número de dientes

m: Módulo

Z': Número de dientes corona

β : Ángulo de hélice de engranaje

i_1 : Relación de transmisión primera marcha

i_2 : Relación de transmisión segunda marcha

i_3 : Relación de transmisión tercera marcha

i_4 : Relación de transmisión cuarta marcha

i_5 : Relación de transmisión quinta marcha

i_6 : Relación de transmisión sexta marcha

i_R : Relación de transmisión marcha atrás

N: Potencia del vehículo

K_{adm} : Presión admisible de rodadura

Ψ : Factor guiado

α : Angulo de presión de engranaje

b: Ancho del engranaje

p: Paso del engranaje

$R_{primitivo}$: Radio primitivo del engranaje

j: Holgura

h_c : Addendum

h_f : Dedendum

h: Altura del diente

s: Espesor del diente

R_c : Radio cabeza

R_f : Radio fondo

R_b : Radio base

U: Fuerza tangencial

F_a : Fuerza axial

F_r : Fuerza radial

W: Fuerza resultante

σ_{adm} : Tensión admisible

σ_{flex} : Tensión máxima admitida por flexión

q: Coeficiente Wissman

CS: Coeficiente de seguridad

C_m : Coeficiente a fatiga momento flector

C_t : Coeficiente a fatiga momento torsor

σ_{yp} : Tensión de fluencia del material

R_{AX} : Reacción apoyo A en el eje X

R_{AY} : Reacción apoyo A en el eje Y

R_{BX} : Reacción apoyo B en el eje X

R_{BY} : Reacción apoyo B en el eje Y

R_{BZ} : Reacción apoyo B en el eje Z

$M_{max X}$: Momento máximo en eje X

$M_{max Y}$: Momento máximo en eje Y

M_{total} : Momento flector total

T_{total} : Momento torsor total

F_e : Fuerza equivalente de cada marcha

X: Factor

Y: Factor

V: Factor de relación

L: Duración nominal rodamiento para una fiabilidad distinta al 90%

L_{10} : Duración nominal del rodamiento para el 90% de fiabilidad

R: Fiabilidad del rodamiento

C: Capacidad dinámica de carga

F_A : Factor de carga o accionamiento

C_0 : Capacidad estática del rodamiento

ϕ_{int} : Diametro interior del rodameinto

ϕ_{ext} : Diametro exterior del rodamiento

b: Ancho del rodamiento

σ : Tensión normal

t: Profundidad en el eje

r_e : Radio eje transmisión

J: Momento estático del eje

F_{crit} : Frecuencia crítica

E: Módulo de young

y: Desplazamiento eje de transmisión

I_{eje} : Momento de inercia del eje de transmisión

2.4.2 Definiciones

- Fuerza: Capacidad de un cuerpo para realizar un trabajo físico o un movimiento.
- Tensión: Acción de fuerzas opuestas a que está sometida un cuerpo.
- Presión: Magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie.
- Momento flector: Momento de fuerza resultante de una distribución de tensiones sobre una sección.

- Momento torsor: Componente paralela al eje longitudinal del momento de fuerza resultante de una distribución de tensiones sobre una sección.
- Velocidad: Magnitud física de carácter vectorial que relaciona el cambio de posición con el tiempo.
- Relacion de transmisión: Relación entre las velocidades de rotación de dos engranajes conectados entre sí, donde uno de ellos ejerce fuerza sobre el otro.
- Potencia: Cantidad de trabajo o energía que un cuerpo puede realizar por unidad de tiempo.
- Par motor: Momento de fuerza que ejerce un motor sobre un eje de transmisión.
- Rendimiento: La energía obtenida (energía útil) de su funcionamiento y la energía suministrada o consumida por la máquina o el proceso.

2.5 CONDICIONES DE DISEÑO

Para relajar el diseño, lo primero de todo es saber que tipo de motor utilizará el vehículo. En este caso, el coche que se presenta en este proyecto es un BMW e46 330d. El motor transmite una potencia de 204 cv a una velocidad de 4000 rpm. Por consecuente transmite un par máximo de 410 Nm a una velocidad de 1500 rpm.

El vehículo tiene una caja de cambios manual con 6 velocidades y una de marcha atrás. Se obtiene por tanto la máxima velocidad en la última marcha (la sexta), llegando a alcanzar los 236 km/h. En cuanto a aceleración se refiere, el vehículo alcanza los 100 km/h en 7,2 segundos.

El motor está situado en la parte delantera del coche y las ruedas motrices son las traseras, por lo que se dice que se trata de un vehículo de propulsión delantera y tracción trasera. La caja de cambios esta situada en la parte delantera del coche, por lo que, la transmisión a las ruedas motrices (traseras) se hace mediante un árbol de transmisión.

El peso del vehículo esta definido por el fabricante , pesando 1600 kg sin pasajeros. Las dimensiones de las ruedas también están dadas por el fabricante siendo: 225/45 R17 en las delanteras y 245/40 R17 en las traseras.

Para finalizar, las relaciones de transmisión entre los engranajes de la caja de cambios también son dadas por el fabricante, siendo las siguientes:

RELACIÓN DE TRANSMISIONES	
1ª Marcha	5,08
2ª Marcha	2,804
3ª Marcha	1,783
4ª Marcha	1,62
5ª Marcha	1
6ª Marcha	0,83
R Marcha atrás	4,607

Tabla 2.1: Especificaciones del fabricante para la relación de cada marcha

2.6 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

En este capítulo se estudiarán los diferentes componentes que se necesitan para el diseño de una transmisión. Tras el estudio, se elegirán aquellos componentes que mejor se adapten a los requisitos del diseño.

Como anteriormente mencionado, la transmisión de este proyecto es de tracción trasera y estará formada por: embrague, caja de cambios, árbol de transmisión y diferencial.

2.6.1 Embrague

Los embragues son elementos que sirven para acoplar (embragar) y desacoplar (desembragar) dos ejes en función de las necesidades. Se trata por tanto de elementos de unión temporal entre ejes. En los vehículos está situado entre el eje de salida del motor y el eje de entrada de la caja de cambios. Cuando el conductor desee cambiar de marcha, pisará el pedal del embrague, de tal manera que se desacoplará el motor de la caja de cambios pudiendo así realizar el cambio de marchas en ausencia de par motor y por tanto sin brusquedad.

Existe una gran variedad de tipos de embragues, clasificados en función de su principio básico de operación y su método de accionamiento. Este último se refiere a cómo se introduce en el embrague la fuerza que une y separa los ejes, mientras que el principio básico de operación se refiere a cómo se transmite el par torsor de un eje a otro:

- Embragues mecánicos
- Embragues hidráulicos
- Embragues Electromagnético

2.6.1.1 Embrague mecánico

Este tipo de embrague es el más utilizado en la automoción debido a su versatilidad.

Los embragues de fricción o embragues mecánicos transmiten el par por fricción entre superficies. La principal ventaja de estos embragues es el acoplamiento entre ejes ya que se produce de forma suave y progresiva. Los ejes pueden estar girando a velocidades que pueden ser muy diferentes, de manera que en el instante en el que entran en contacto existe deslizamiento entre ambas superficies debido a la diferencia de velocidades de giro; sin embargo, la fricción hace que este deslizamiento vaya desapareciendo poco a poco (de forma suave y progresiva) hasta que finalmente los dos ejes acaban girando a la misma velocidad.

Los embragues de fricción pueden ser de tipo disco, cónico o centrifugo. Los más utilizados son los de tipo disco, el cual ha sido elegido para este proyecto.

El embrague está formado por los siguientes componentes:

- **Disco de embrague:** Es el elemento encargado de transmitir a la caja de cambios todo el par motor sin que se produzcan resbalamientos en condiciones estacionarias. El disco está forrado de un material de fricción (muy resistente al desgaste y al calor) que se adhiere a las superficies metálicas. El dimensionado de dicho disco depende del par motor a transmitir y del peso del vehículo.
- **Plato de presión:** Sirve de acoplamiento del conjunto al volante de inercia y va montado entre el disco de fricción y la carcasa. Se compone de un disco de acero en forma de corona circular.
- **Carcasa:** Es el elemento que sirve de cubierta del mecanismo de embrague, por el que se fija éste al volante de inercia mediante tornillos.

- Cojinete de embrague: Es el elemento por el que se acciona el mecanismo. Se trata de un cojinete de bolas que se desliza sobre el tramo del eje primario situado en la campana de la caja de velocidades.



Imagen 2.3: Embrague de fricción.

2.6.1.2 Embrague electromagnético

El embrague electromagnético está formado por una corona de acero que se encuentra montada sobre el eje de salida de potencia del motor. Dentro de la corona está colocada una bobina que al pasar una corriente eléctrica por ella crea un campo magnético alrededor del embrague.

En el interior de la corona hay un espacio el cual está relleno con polvo magnético y chapas de acero. Cuando se introduce la corriente eléctrica en la bobina, el polvo magnético se acumula uniéndose a la corona y al disco transmitiendo el par motor. En cambio, si no se introduce corriente, el polvo no se acumula y la corona realiza el giro sin transmitir potencia al disco, es decir, está desembragado.

Este tipo de embrague tan solo se utiliza en la industria para máquinas o componentes muy concretos debido a su alto precio.



Imagen 2.4: Embrague electromagnético.

2.6.1.3 Embrague hidráulico

Este tipo de embrague actúa como embrague automático entre el motor y la caja de cambios, la cual en estos casos es normalmente semiautomática. Dicho embrague permite que el motor gire al ralentí (en vacío) y además transmite el par motor cuando el conductor acelera.

Los embragues hidráulicos están fundados en la transmisión de energía que una bomba centrífuga comunica a una turbina por mediación de un líquido, el cual generalmente es aceite mineral.

Cuando el motor gira, el aceite contenido en la carcasa es impulsado por la bomba, proyectándose por su periferia hacia la turbina, en cuyos alabes incide paralelamente al eje. Dicho aceite es arrastrado por la propia rotación de la bomba formando un torbellino tórico. La energía cinética del aceite que choca contra los alabes de la turbina, produce en esta una fuerza que tiende a hacerla girar.

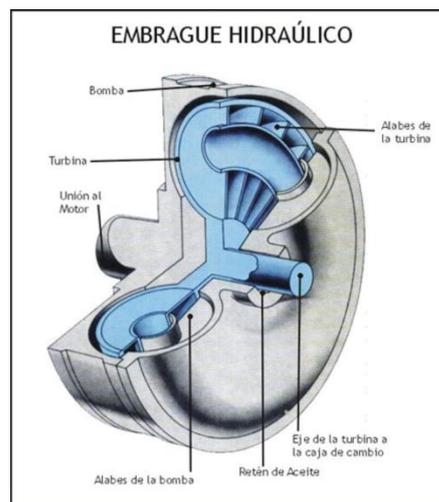


Imagen 2.5: Embrague hidráulico.

2.6.2 Caja de cambios

La caja de cambios es el elemento encargado de obtener en las ruedas motrices el par motor suficiente para poner en movimiento el vehículo desde parado, y una vez en marcha obtener un par suficiente en ellas para vencer las resistencias:

- Resistencia aerodinámica: Se denomina a la resistencia que ofrece el aire que choca contra el vehículo, el cual depende de la superficie y velocidad del automóvil.
- Resistencia al rodamiento: Se denomina a la resistencia que ofrece el asfalto. Puede variar dependiendo del asfalto, el tipo de neumático y el peso que hay sobre el coche.
- Resistencia por pendiente: Se denomina a la resistencia que ofrece la carretera dependiendo de la inclinación de esta y del peso del vehículo.
- Resistencia por inercia: Se denomina a la resistencia que ofrece el cambio de velocidad del vehículo.

2.6.2.1 Caja de cambios manual

En este tipo de cajas de cambio, la selección de las diferentes velocidades se realiza mediante mando mecánico. El accionamiento de los mecanismos internos desde el exterior de la caja, los cuales tienen que ser realizados por un conductor, se realizan mediante cables flexibles no alargables y varillas rígidas.

Las distintas velocidades de que consta la caja están sincronizadas. Esto quiere decir que disponen de mecanismos de sincronización que permiten igualar las velocidades de los distintos ejes de que consta la caja durante el cambio de una a otra. La conexión cinemática entre el motor y la caja de cambios se realiza mediante el embrague, como anteriormente ha sido explicado.

Existen dos tipos de cajas de cambio manuales, de toma directa u de toma constante:

- Caja de cambios de toma directa: También denominadas caja de cambios de dos ejes. Están diseñadas generalmente para vehículos de tracción delantera. Son compactas y simples debido a que comparten espacio con el motor en la parte delantera del automóvil. Poseen tan solo dos ejes para transmitir potencia. Uno de los ejes, denominado eje primario, es el que recibe el giro directamente del motor. Dicho eje transmite el giro al siguiente eje, denominado eje secundario, siendo este último el que a su vez transmite el giro al diferencial. Al tener solo dos ejes los piñones soportarán cargas más elevadas.
- Caja de cambios de toma constante: También denominadas caja de cambios de tres ejes. Son de mayor tamaño por lo que están situadas en el centro del vehículo. Al ser de tres ejes las cargas en los piñones serán más bajas disminuyendo así su coste de fabricación ya que los materiales a utilizar serán de peor calidad. A la salida del embrague está el denominado eje primario el cual transmite el giro al eje secundario mediante el eje de toma constante o eje intermediario (denominado así debido a que permanecen siempre engranados).

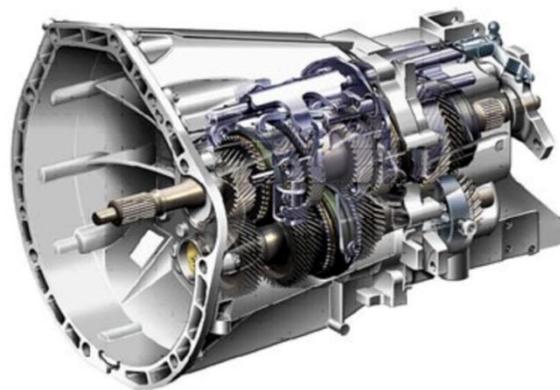


Imagen 2.6: Caja de cambios manual.

2.6.2.1.1 Componentes de la caja de cambios manual

- Eje primario: Recibe el movimiento a la misma velocidad de giro que el motor. Lleva un piñón conductor que engrana con el eje intermediario. Gira en el mismo sentido que el motor.
- Eje intermediario: Está compuesto de un piñón corona que engrana con el eje primario y de varios piñones, que se unen al eje mediante estriados con apriete, que engranan con el eje secundario en función de la marcha seleccionada. Gira en sentido opuesto al motor.
- Eje secundario: Consta de varios engranajes conducidos que están montados sueltos en el árbol, pero que se pueden hacer solidarios mediante un sistema en el que se utilizan sincronizadores.
- Eje marcha atrás: Lleva un piñón que se interpone entre el eje intermediario y el secundario para invertir el sentido de giro habitual del eje secundario. Normalmente el piñón es de dentado recto, más sencillo de fabricar.
- Rodamientos: También denominados cojinetes de rodadura, sirven de apoyo a los ejes anteriormente mencionados. Dependiendo de las cargas que tengan que soportar los rodamientos pueden ser de un tipo u otro.
- Engranajes: Son los encargados de transmitir el giro entre ejes. Pueden ser de dentado recto o helicoidal, estos últimos son menos ruidosos y son activados mediante los sincronizadores.

- Sincronizadores: Son los elementos encargados de, dependiendo de la marcha, accionar un engranaje u otro. Están constituidos por una pieza central, una corona dentada y una horquilla.

2.6.2.2 Caja de cambios automática

La caja de cambios automática se encarga por sí misma de cambiar la relación de cambio automáticamente a medida que el vehículo se mueve, liberando así al conductor del vehículo de cambiar de marcha manualmente.

El cambio de una relación a otra se produce en función tanto de la velocidad a la que circula el vehículo como el régimen de giro del motor. Al pisar el pedal del acelerador provoca el cambio de relación conforme el motor varía de régimen de giro.

El cambio automático proporciona por tanto mayor confort a la hora de conducir y por consiguiente mayor seguridad.

Los elementos que componen la caja de cambios automática son:

- Convertidor hidráulico: Varía y ajusta de forma automática su par de salida, al par que necesita la transmisión.
- Tren epicicloidal: Elementos que establecen las distintas relaciones del cambio.
- Mecanismo de mando: Selecciona automáticamente las relaciones de los trenes epicicloidales. Puede ser mecánico, hidráulico o electrónico, o bien, una combinación de ellos.



Imagen 2.7: Caja de cambios automática.

2.6.3 Árbol de transmisión

El árbol de transmisión es un elemento mecánico que transmite potencia. En este proyecto al ser el vehículo de motor delantero la potencia generada se transmite a través del árbol de transmisión a las ruedas motrices que son las traseras.

Al transmitir, en este caso, el par motor a las ruedas traseras la longitud del árbol de transmisión es casi la longitud completa del vehículo. El mecanismo que se utiliza en la unión de la caja de cambios y del eje de transmisión se denomina junta cardan.



Imagen 2.8: Árbol de transmisión.

2.6.3.1 Juntas Cardan

El cardan es un elemento mecánico que permite unir dos ejes. Su objetivo es transmitir el movimiento de rotación desde un eje conductor a otro conducido. También se le denomina junta de Hooke.

Se compone de dos horquillas metidas cada una en su árbol y unidas entre sí por una cruceta intermedia o bien por una unión atornillada.

2.6.4 Diferencial

El diferencial del vehículo es un sistema de engranajes que se encarga de regular la velocidad de giro de las dos ruedas que están unidas por un solo eje. La función principal es establecer un diferencial de velocidad entre las ruedas del mismo eje para que ninguna de ellas patine.

El diferencial está compuesto por el piñón, la corona, los satélites y los planetarios. El diferencial va unido a la corona mediante los satélites, estos engranan y arrastran a su vez a los planetarios. Estos últimos transmiten el giro a la ruedas mediante unos ejes denominados palieres.

Cuando el vehículo va en dirección recto ambos planetarios giran a la misma velocidad, repartiendo por igual el par motor entre las ruedas motrices. Pero en cambio si el vehículo está dando una curva, la rueda exterior describe un mayor arco que la rueda interior por lo que, el planetario exterior girará más que el planetario interior, compensado así la diferencia en el recorrido de las ruedas.



Imagen 2.9: Diferencial.

2.6.4.1 Diferencial autoblocante

Los diferenciales autoblocantes tienen el mismo funcionamiento que los diferenciales convencionales (anteriormente descritos), con la particularidad de que en caso de que una rueda deslize la otra rueda no recibirá toda la potencia.

Una de las ventajas de estos diferenciales es que el vehículo tiene mayor estabilidad ya que no se desviará cuando una de las ruedas motrices vuelva a recuperar adherencia con el terreno después de haberla perdido. Existen varios tipos de diferenciales autoblocantes.

2.6.4.1.1 Diferencial de deslizamiento limitado

También conocidos por las siglas LSD (Limited Slip Differential) es un diferencial de deslizamiento limitado que se diferencian entre dos tipos:

- Autoblocante mecánico: Son muy utilizados en los vehículos de competición, generalmente de tracción trasera. Debido a las grandes potencias con las que cuentan estos automóviles, necesitan incorporar este sistema ya que suele tener pérdidas de tracción y es primordial controlar dichas pérdidas mediante el uso de una serie de discos de fricción que distribuyen la potencia a las ruedas.

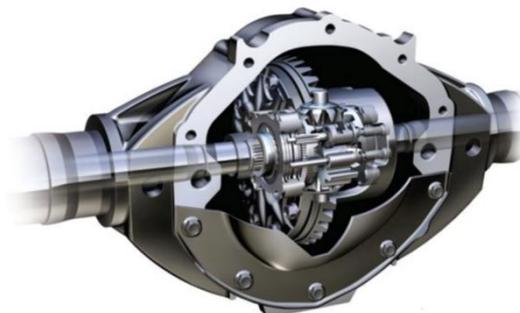


Imagen 2.10: Diferencial autoblocante.

- Viscoso o Ferguson: Se caracterizan por llevar una carcasa en el árbol de transmisión que cubre los discos, intercalados entre sí. Está compuesto por un aceite mezclado con silicona, cuando el eje pierde tracción, la temperatura de este lubricante aumenta, así como su presión, consiguiendo así un total recubrimiento de los discos. De esta manera se obtiene un bloqueo armónico, en función de la atención que requiera cada rueda. Normalmente utilizado en vehículos 4x4, ya que es barato y compacto.



Imagen 2.11: Diferencial viscoso.

2.6.4.1.2 Diferencial Torsen

El diferencial Torsen es un sistema sensible al par. A diferencia al resto de diferenciales anteriormente mencionados, su funcionamiento es más completo y eficiente. En vez de distribuir el giro de cada rueda dependiendo de la velocidad a la que se esté circulando en la curva, este sistema lo hace en función de la resistencia que oponga cada eje a dicho giro.

Su funcionamiento se basa en tres pares de ruedas helicoidales que funcionan como un mecanismo de tornillo sin fin. Cuando el vehículo este tomando una curva, dichos ejes giran sobre si mismos y dependiendo del giro uno gira más y el contrario se ralentiza.

La principal ventaja de estos diferenciales es que solo actúan en aceleración y en momentos de frenado. Además mantiene más estable el vehículo ofreciendo un control de la dirección.



Imagen 2.12: Diferencial Torsen.

2.6.4.1.3 Diferencial de deslizamiento controlado

Estos diferenciales también conocidos como sistemas Haldex, cumplen la misma función que un diferencial Ferguson, con la particularidad de que se parece al funcionamiento de un embrague. Utiliza un paquete de discos conductores, presionados por un sistema hidráulico, de este modo, según la necesidad, el embrague actúa más sobre una rueda que otra.

Se trata de un sistema muy común en vehículos de tracción total. Un sistema que en situaciones normales funciona como tracción delantera y en situaciones extremas. La transmisión enpujara la potencia del motor a las ruedas traseras.

2.6.5 Configuración de la transmisión

Dependiendo del vehículo y de la potencia del motor de este, varía la configuración de la transmisión siendo de varios tipos dependiendo de donde esté colocado el motor y de que ruedas sean las motrices.

Existen 3 tipos de configuración: motor delantero y tracción delantera, motor delantero y tracción trasera y por último, motor trasero y tracción trasera. Existe una cuarta configuración, la cual la potencia es repartida en las cuatro ruedas denominandola 4x4 o tracción total. Dicha configuración tan solo utilizada en vehículos todo terreno o en vehículos que carguen grandes cargas, como los camiones.

2.6.5.1 Motor delantero y tracción delantera

Es el sistema en el cual el par motor se transmite a las ruedas delanteras. El motor esta situado en la parte delantera del vehículo y transmite la potencia directamente de la caja de cambios al diferencial y de este a las ruedas delanteras. Es muy utilizado en vehículos utilitarios de poca cilindrada.

2.6.5.2 Motor delantero y traccion trasera

El motor está situado en la parte delantera del vehículo mientras que las ruedas motrices son las traseras. El motor transmite la potencia a la caja de cambios y esta a un árbol de transmisión de potencia que va hasta el diferencial que se encuentra situado entre las ruedas traseras.

Este tipo de configuración es empleada sobretodo en vehículos de gran cilindrada. Este tipo de configuración es más efectiva con el acelerado, ya que tiene mayor peso en la zona trasera del vehículo.

2.6.5.3 Motor trasero y tracción trasera

Como en la configuración de motor delantero y tracción delantera, el motor directamente transmite la potencia a las ruedas motrices, siendo en este caso las traseras. Aunque es un sistema que está prácticamente obsoleto.

2.6.5.4 Tracción 4 ruedas

Esta configuración también denominada 4x4 se transmite la potencia del motor a las 4 ruedas del vehículo. El motor puede estar en la parte delantera o trasera dependiendo del fabricante. Es utilizado en vehículos todo terreno o en camiones u otro tipo de automóvil que transporte grandes pesos.

2.7 SOLUCIÓN ADOPTADA

Tras mencionar y explicar todos los componentes que forman una transmisión, en este capítulo se hará una selección de los elementos a utilizar en este proyecto.

Se hará por tanto un estudio de los elementos utilizados tales como; engranajes, sincronizadores, ejes y diferencial así como los elementos normalizados utilizados (rodamientos, embrague, anillos de retención y junta cardan).

2.7.1 Configuración de la transmisión

El vehículo de este proyecto es de gran cilindrada (204 cv) por lo que la configuración por la que se a optado es de motor delantero y tracción trasera.

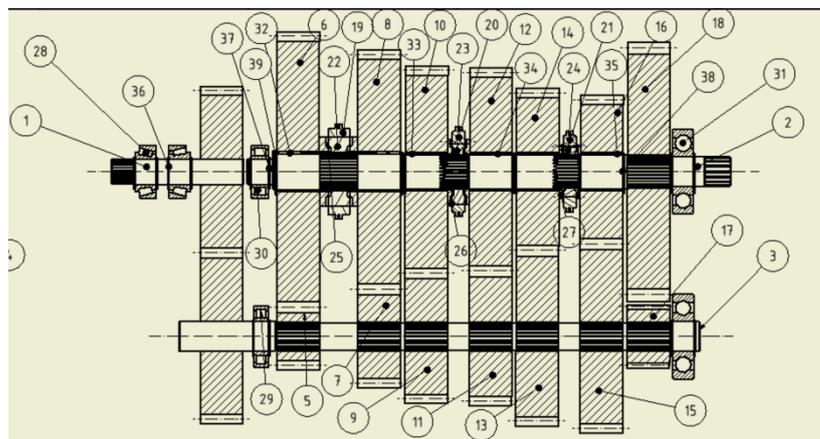


Imagen 2.13: Conjunto de caja de cambios

El giro del motor entra por la pieza 1 que es el eje primario. El eje primario esta apoyado sobre dos rodamientos cónicos siendo las piezas 28. El eje primario transmite la potencia del motor mediante el engranaje de toma constante ala pieza 3, eje intermediario. Dicho eje esta apoyado sobre rodamientos de rodillos y bolas siendo las piezas 29 y 31. Los engranajes que hay sobre el son los de las diferentes marchas. El secundario es el eje que esta encima de el y que se conectan mediante los pares de engranajes.

El eje secundario tambien está apoyado sobre dos rodamientos de bolas y rodillos, siendo las piezas 30 y 31. Sobre este eje también se encuentran los sincronizadores para cada par de marchas, siendo la pieza 22,19 y 25 el sincronizador completo para las marchas primera y segunda. Este eje esta conectado con al juntacardan mediante un estriado y transmite a través de ese estriado el par de potencia que le llega al árbol de transmisión y de ahí al diferencial, situado en la parte trasera del vehículo.

2.7.2 Embrague

El tipo de embrague a utilizar en este proyecto es un embrague mecánico de tipo fricción. Se utiliza dicho embrague debido a su versatilidad. El tipo de embrague de fricción será de tipo disco debido a su simplicidad y a sus buenos resultados.



Imagen 2.14: Embrague de fricción de tipo disco

En este proyecto se ha calculado un embrague cuyas características están especificadas en el Documento 3: Anexo de cálculos apartado 3.3.Embragues.

El diametro del embrague calculado es de 266,8 mm y el diametro mínimo interior es de 186,76 mm. La presión que debe aguantar el embrague es de 1,68 kg/cm². Según los cálculos desarrollados en el apartado 3.3.2. Dimensiones del embrague, el embrague seleccionado es capaz de transmitir movimiento ya que el par torsor que es capaz de transmitir es de 501,48 Nm, siendo mayor que el par máximo a transmitir 410 Nm.

El embrague está directamente conectado con la caja de cambios mediante un nervado. Según la norma DIN 5480 el módulo seleccionado es de 1 mm y compuesto por 26 dientes, teniendo una largura a lo largo del eje de 26 mm.

Los cálculos realizados se encuentran en el apartado 3.3.3 del Documento 3: Anexo de cálculos.

2.7.3 Caja de cambios

La caja de cambios a utilizar en este proyecto será de tipo manual con 6 velocidades hacia delante y una de marcha atrás. Las 6 velocidades estarán compuestas por engranajes helicoidales mientras que la marcha atrás estará compuesta por 3 engranajes rectos.

La caja de cambios se encarga de transformar el par de giro que llega del motor o el sentido de la marcha. Esto se consigue gracias al grupo de engranajes que la componen, pudiendo así aumentar o disminuir el par del motor. Es El propio conductor el que selecciona las diferentes marchas en función de las necesidades en la conducción.

El vehículo debe ser capaz de superar ciertas resistencias que se oponen a su movimiento:

- Resistencia por rodadura
- Resistencia a pendiente
- Resistencia por inercia
- Resistencia aerodinámica

Se ha comprobado que el vehículo es capaz de superar dichas resistencias, para más detalles consultar el Documento 3: Anexo de cálculos apartado 3.2.Cálculo de las fuerzas resistentes y apartados 3.4.2 y 3.4.3. Comprobación de la 1ª y 6ª marcha.

2.7.3.1 Engranajes

Los engranajes son las ruedas dentadas que engranan entre si transmitiendo el par motor. Cada pareja de engranajes tiene una relación de transmisión denominada i ofrecida por el fabricante, a mayor relación de transmisión mayor es el par generado y por tanto mayor las fuerzas que se crean en los dientes. Están fabricados en 16MnCr5, acero con dureza superficial y una resistencia a la fatiga medias.

Los engranajes de las 6 velocidades hacia delante son engranajes de dientes helicoidales ya que son capaces de transmitir mayor potencia y son menos ruidosos. En la marcha atrás se ha optado por un engranaje recto debido a que las velocidades que alcanzará el vehículo en esa marcha son bajas y que es la marcha menos utilizada en la conducción.

Todos los pares de engranajes tienen un acabado superficial de N7. En las siguientes tablas se muestran las dimensiones principales tanto de los engranajes como de las coronas, para información más detallada consultar los planos N° 5,6, 7, 8, 9 y 10 del Documento 4: Planos. Si se desea información acerca de los cálculos consultar el apartado 3.4.4. Cálculo de engranajes del Documento 3: Anexo de cálculos.

PIÑÓN	1ª marcha	2ª marcha	3ª marcha	4ª marcha	5ª marcha	6ª marcha	R marcha atrás
Nº dientes	12	20	27	28	37	40	12
Angulo hélice	20°	20°	20°	20°	20°	20°	0°
Angulo presión	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°
Ancho (mm)	50	50	50	50	50	50	50
Paso (mm)	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7
Módulo (mm)	5	5	5	5	5	5	5
R primitivo (mm)	31,92	53,2	71,83	74,49	98,43	106,41	30

Tabla 2.2: Dimensiones de los engranajes del eje intermediario

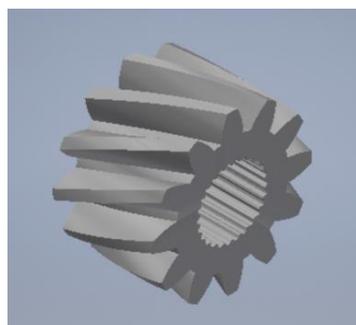


Imagen 2.15: Engranaje piñón

CORONA	1^a marcha	2^a marcha	3^a marcha	4^a marcha	5^a marcha	6^a marcha	R marcha atrás
Nº dientes	61	53	46	45	36	33	56
Angulo hélice	20°	20°	20°	20°	20°	20°	0°
Angulo presión	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°
Ancho (mm)	50	50	50	50	50	50	50
Paso (mm)	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7
Módulo (mm)	5	5	5	5	5	5	5
R primitivo (mm)	162,28	141	122,38	119,71	95,77	87,79	140

Tabla 2.3: Dimensiones de los engranajes del eje secundario

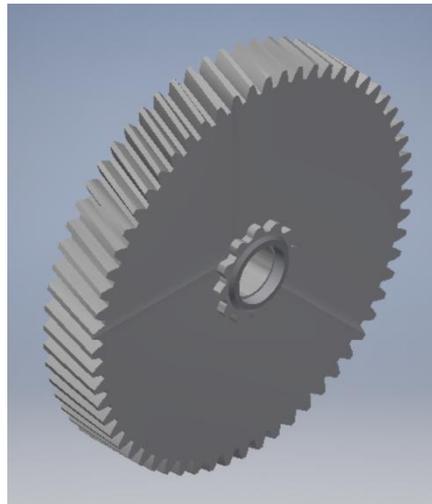


Imagen 2.16: Engranaje eje secundario (corona).

2.7.3.2 Eje primario

Como anteriormente mencionado el eje primario recibe el par de giro del embrague y lo transmite al eje intermediario mediante un engranaje helicoidal que está mecanizado riectamente al eje. Lleva un estriado DIN 5480 que conecta el disco del embrague con el eje.

El eje primario debe ser capaz de soportar todos los esfuerzos que se generan en él y así transmitir el giro correctamente. Tiene un diámetro de 30 mm y una longitud total de 154 mm. El embrague como anteriormente comentado tendrá 26 dientes en el estriado por lo que el eje tendrá 26 dientes también. Para más detalles consultar el apartado 3.4.5. Cálculo de ejes del Documento 3: Anexo de cálculos.

El ajuste utilizado será H8/h9 ya que tiene que cumplir la función de deslizamiento del disco en el eje. Para más detalles consultar el plano N° 2 del Documento 4: Planos.

El material seleccionado para el eje es 42CrMo4 que es un acero aleado al cromo con buena penetración para tratamiento de templado. Ideal para aplicaciones que requieran alta resistencia a la torsión, flexión y tracción.

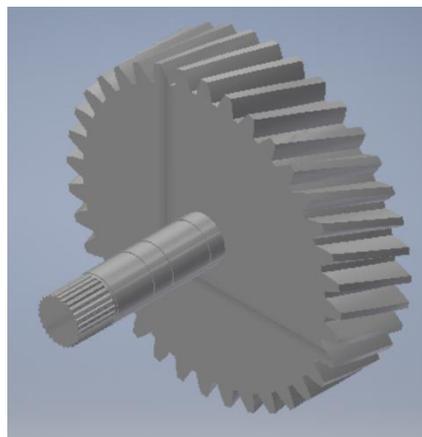


Imagen 2.17: Eje primario.

2.7.3.3 Eje intermediario

El eje intermediario esta compuesto por 6 engranajes helicoidales pertenecientes a las 6 velocidades del vehículo más un engranaje recto que pertenece a la marcha atrás. Los engranajes giran a la misma velocidad que el eje debido a la conexión estriado-engranaje. El eje debe ser capaz de soportar todos los esfuerzos generados por los engranajes. En el eje se encuentran colocados dos rodamientos uno a cada extremo del eje que le sirven de apoyo y que deben soportar las fuerzas axiales y radiales que se presenten.

El eje está escalonado, con diferentes diámetros, para acomodar a los elementos que están montados sobre él. Tiene una longitud total de 585 mm.

El eje está fabricado en 42CrMo4 como el eje primario. Para más información acerca de dimensiones, acabados y desarrollo de cálculos consultar el apartado 3.4.5. Cálculo de ejes del Documento 3: Anexo de cálculos y el plano N° 3 del Documento 4: Planos.

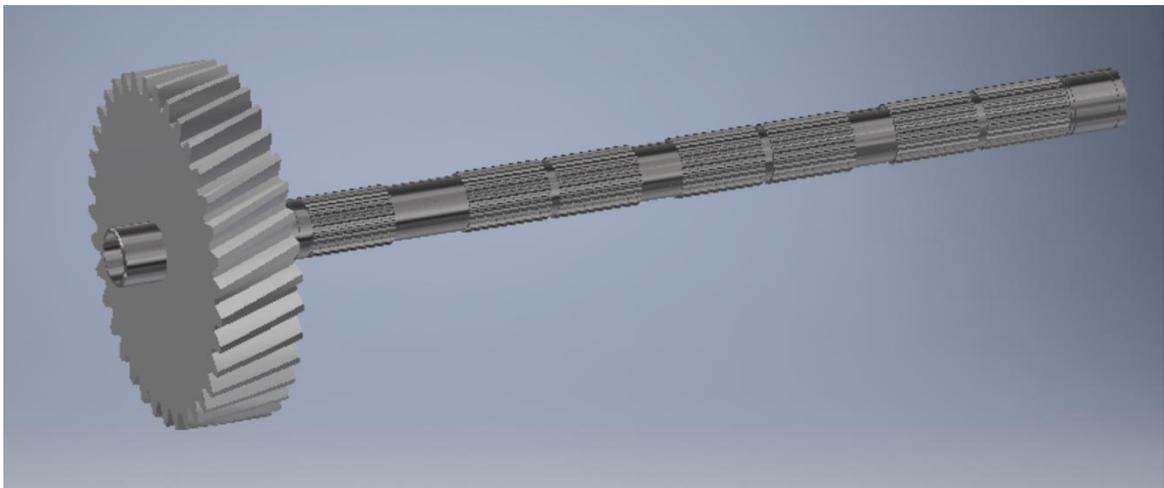


Imagen 2.18: Eje intermediario

2.7.3.4 Eje secundario

El eje secundario es donde se encuentran las ruedas locas y los sincronizadores. Las ruedas locas son engranajes helicoidales apoyados sobre rodamientos de aguja que minimizan el rozamiento y la fricción en el eje y así no se desgasta el eje. Los sincronizadores son elementos que hacen que los engranajes se fijen al eje. El eje se encuentra biapoyado sobre dos rodamientos cada uno en un extremo.

Cuando el conductor selecciona una marcha, la horquilla desplaza el sincronizador a través del cubo sincronizador juntando así el engranaje con el eje, haciendo que giren a la misma velocidad.

El material de fabricación del eje es el mismo que el de los dos ejes anteriores, 42CrMo4. La longitud total del eje es de 566 mm y escalonado, con diferentes diámetros a lo largo del eje, para acomodar a los elementos que están montados sobre él. Este eje es el que se une con la junta cardan y a su vez con el árbol de transmisión. Para más información sobre el desarrollo de los cálculos y dimensiones consultar el apartado 3.4.5. Cálculo de los ejes del Documento 3: Anexo de cálculos y el plano N° 4 del Documento 4: Planos.

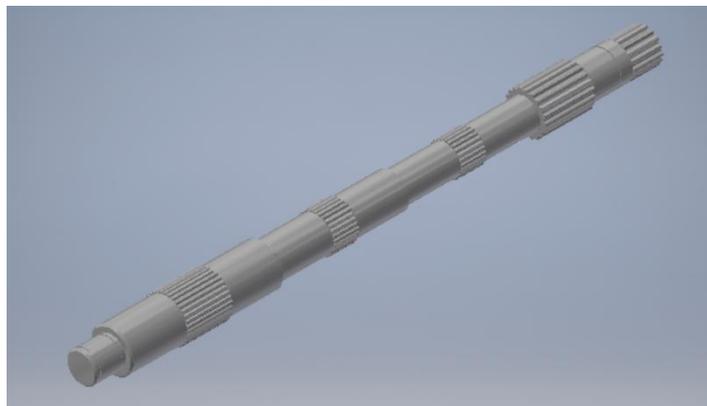


Imagen 2.19: Eje secundario.

2.7.4 Árbol de transmisión

El árbol de transmisión es el encargado de transmitir la potencia desde la caja de cambios al diferencial, que esta situado en la parte trasera del vehículo debido a que se trata de un vehículo de tracción trasera. El árbol de transmisión esta separado en dos partes de 1 m cada una.

El árbol hueco seleccionado pertenece al catálogo de Protubsa con un diametro exterior de 57 mm, anchura de 6,3 mm dando así a un diametro interior de 44,4 mm. Para mas información consultar el apartado 3.5. Árbol de transmisión del Documento 3: Anexo de cálculos.

El elemento a utilizar para unir el eje secundario con el árbol de transmisión es una junta cardan, la cual está unida al eje secundario mediante un estriado.

El eje ha sido deiseñado mediante el código ASME. El material utilizado E470 se trata de un acero sin soldadura laminado en caliente con un limite elástico de 470 N/mm².

2.7.5 Diferencial

El diferencial es un conjunto de engranajes con el cual se transmite el par de giro del árbol de transmisión a las ruedas. El diferencial utilizado en este proyecto es un diferencial convencional debido a que es el más utilizado en el sector o industria del automóvil.

El diferencial está formado por 2 satélites y 2 planetarios cuyo módulo sera de 5 mm pertenecientes a la serie I. Los satélites tendrán 15 dientes mientras que los planetarios estarán formados por 17 dientes. El material utilizado es el mismo que en los engranajes de la caja de cambios, 16MnCr5.

Para mas información sobre el cálculos y aspectos dimensionales del diferencial consultar el apartado 3.7.Diferencial del Documento 3: Anexo de planos.

2.7.6 Elemento comerciales

En este apartado se expondrán los elementos normalizados utilizados en el proyecto tales como rodamientos, anillo de retención, chavetas y sincronizadores. Todos ellos obtenidos de catálogos industriales.

2.7.6.1 Rodamientos

Los rodamientos son los elementos sobre los que van apoyados los ejes de la caja de cambios. Los rodamientos están compuestos por 4 elementos: el anillo interior, el anillo exterior, los elementos rodantes y la jaula o separador.

Los rodamientos pueden ser de muchos tipos dependiendo de la funcionalidad que se busque y de las cargas que tenga que soportar. Además de su correcta selección, otros aspectos importantes para el buen funcionamiento del rodamiento son la lubricación, la alineación y el montaje.

La lubricación introduce un film entre las superficies de contacto bola-pista, reduciendo la fricción, ayudando a disipar y distribuir el calor, prevenir la corrosión y proteger al rodamiento de la entrada de suciedad. La alineación está limitada a valores proporcionados por el fabricante.

En cuanto al montaje utilizado, se han montado los rodamientos con un ajuste a presión en el anillo interior, ya que es este anillo el que verá la carga radial girando respecto a él.

El eje primario estará compuesto por dos rodamientos de rodillos cónicos con un montaje indirecto (de espaldas). Mientras que el eje intermediario y el eje secundario estarán biapoyados sobre rodamientos de bolas y de rodillos respectivamente.



Imagen 2.20: Rodamiento de bolas, rodillos cónicos y rodillos cilíndricos.

Los rodamientos seleccionados pertenecen al catálogo SKF. En la siguiente tabla se puede ver el rodamiento seleccionado junto con sus dimensiones, su capacidad de carga y su referencia:

EJE PRIMARIO				
Apoyo A (Cónico) Ref:33206/Q	$\varnothing_{\text{ext}}=62 \text{ mm}$	$\varnothing_{\text{int}}=30 \text{ mm}$	b= 25 mm	C= 64,4 kN
Apoyo B (Cónico) Ref: 33206/Q	$\varnothing_{\text{ext}}=62 \text{ mm}$	$\varnothing_{\text{int}}=30 \text{ mm}$	b= 25 mm	C= 64,4 kN
EJE INTERMEDIARIO				
Apoyo C (Rodillos) Ref: NU 207 ECP	$\varnothing_{\text{ext}}=72 \text{ mm}$	$\varnothing_{\text{int}}=35 \text{ mm}$	b=17 mm	C= 56 kN
Apoyo D (Bolas) Ref: 6407	$\varnothing_{\text{ext}}=100 \text{ mm}$	$\varnothing_{\text{int}}=35 \text{ mm}$	b= 25 mm	C=55,3 kN
EJE SECUNDARIO				
Apoyo C' (Rodillos) Ref: NU 206 ECP	$\varnothing_{\text{ext}}=62 \text{ mm}$	$\varnothing_{\text{int}}=30 \text{ mm}$	b= 20 mm	C= 55 kN
Apoyo D' (Bolas) Ref: 6407	$\varnothing_{\text{ext}}=100 \text{ mm}$	$\varnothing_{\text{int}}=35 \text{ mm}$	b= 25 mm	C= 55,3 kN

Tabla 2.4: Elección de los rodamientos.

En el eje secundario además también hay rodamientos de aguja donde van apoyados los engranajes de esta manera pueden girar libremente. Los rodamientos de aguja son rodamientos con rodillos cilíndricos con un diametro pequeño respecto de su longitud.



Imagen 2.21: Rodamiento de agujas.

En la siguiente tabla aparecen los rodamientos seleccionados con sus dimensiones, su capacidad de carga y su referencia:

RODAMIENTOS DE AGUJAS EN EL EJE SECUNDARIO				
1ª marcha	$\varnothing_{\text{ext}}= 47 \text{ mm}$	$\varnothing_{\text{int}}= 42 \text{ mm}$	b= 30 mm	C= 31,9 kN
2ª marcha	$\varnothing_{\text{ext}}= 47 \text{ mm}$	$\varnothing_{\text{int}}= 42 \text{ mm}$	b= 30 mm	C= 31,9 kN
3ª marcha	$\varnothing_{\text{ext}}= 45 \text{ mm}$	$\varnothing_{\text{int}}= 40 \text{ mm}$	b= 17 mm	C= 20,5 kN
4ª marcha	$\varnothing_{\text{ext}}= 45 \text{ mm}$	$\varnothing_{\text{int}}= 40 \text{ mm}$	b= 27 mm	C= 31,4 kN
5ª marcha	$\varnothing_{\text{ext}}= 45 \text{ mm}$	$\varnothing_{\text{int}}= 40 \text{ mm}$	b= 13 mm	C= 16,8 kN
6ª marcha	$\varnothing_{\text{ext}}= 45 \text{ mm}$	$\varnothing_{\text{int}}= 40 \text{ mm}$	b= 13 mm	C= 16,8 kN

Tabla 2.5: Elección rodamientos de aguja

2.7.6.2 Anillos de retención

Los anillos de retención son elementos que se utilizan para fijar axialmente a los elementos. Se han utilizado para fijar los rodamientos axialmente al eje. Son muy útiles en la industria de la automoción y el material del que están fabricados es

acero. En este caso se ha optado por unos anillos de retención DIN 471 de distintos tamaños debido a los cambios de diámetros que hay a lo largo de los ejes.



Imagen 2.22: Anillo de retención.

2.7.7 Sincronizadores

Los sincronizadores son los elementos que juntan en el engranaje deseado con el eje secundario haciendo así que giren a la misma velocidad. Los sincronizadores están compuestos por tres elementos: el aro sincronizador, el cubo sincronizador y en sincronizador en sí. En este proyecto la caja de cambios tiene 3 sincronizadores divididos entre las marchas 1ª y 2ª, 3ª y 4ª y por último 5ª y 6ª.

Los 3 elementos están formados con un estriado DIN 5480, teniendo el estriado el aro sincronizador por el exterior, el cubo sincronizador tanto por el interior como el exterior y el sincronizador por el interior. Las dimensiones de los sincronizadores como de los cubos son distintas dependiendo de las marchas, ya que las potencias a transmitir son diferentes. Para más información acerca de los cálculos de las dimensiones consultar el apartado 3.4.7. Cálculo de los sincronizadores del Documento 3: Anexo de planos.

Tanto los cubos sincronizadores como los sincronizadores tienen un acabado general N7, y tanto los sincronizadores como los cubos sincronizadores están fabricados en 16 MnCr5 (al igual que los engranajes).

Los aros y los cubos sincronizadores tienen un ajuste de H7/j6 mientras que el ajuste del dentado interior del cubo sincronizador y el eje secundario es de H7/k9. Para más información acerca de las dimensiones y ajustes utilizados consultar los planos N° 12, 13 y 14 del Documento 4: Planos.



Imagen 2.23: Partes del sincronizador.

2.7.8 Junta cardan

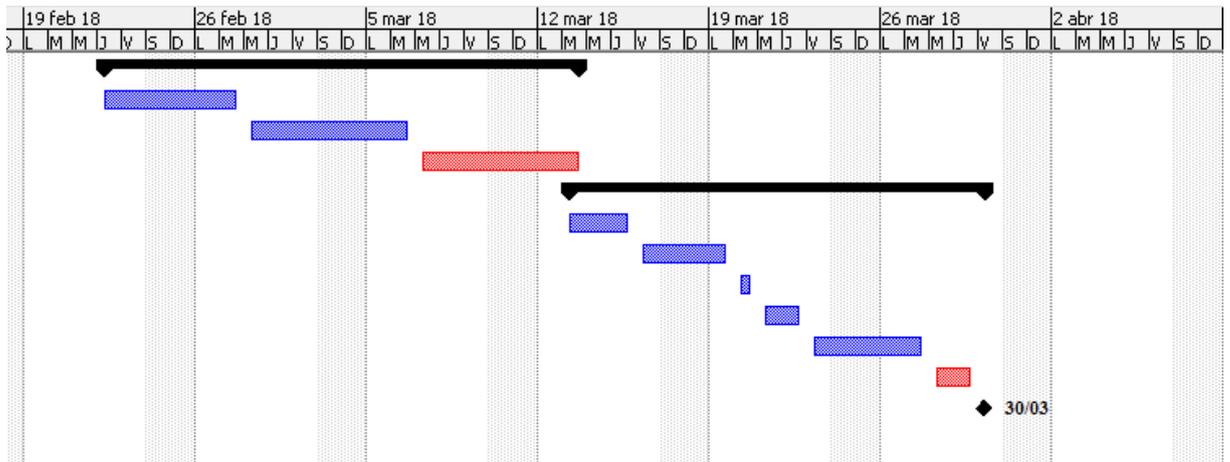
La junta cardan es un elemento de unión entre dos ejes que sirve para transmitir potencia, en este caso se une el eje secundario y el árbol de transmisión. La unión entre el eje secundario y la junta cardan se hace mediante un estriado de 16 dientes. En el otro extremo tiene 8 agujeros que sirven para introducir los tornillos y fijar así ese extremo con el árbol de transmisión. El par de transmisión máximo es de 1450 Nm y la velocidad de rotación máxima de 5729 rpm.



Imagen 2.24: Junta cardan.

2.8 PLANIFICACIÓN

Para calcular la duración aproximada de este proyecto se ha utilizado un diagrama de Gantt.



Gráfica 2.2: Diagrama de Gantt

		Nombre	Duración	Inicio
1		<input type="checkbox"/> FABRICACIÓN	14 days	22/02/18 8:00
2		FABRICACIÓN DE LOS EJES	4 days	22/02/18 8:00
3		FABRICACIÓN DE LOS ENGRANJES	5 days	28/02/18 8:00
4		FABRICACIÓN DEL DIFERENCIAL	5 days	7/03/18 8:00
5		<input type="checkbox"/> ELEMENTOS COMERCIALES	13 days	13/03/18 8:00
6		EMBRAGUE	3 days	13/03/18 8:00
7		RODAMIENTOS	2 days	16/03/18 8:00
8		ANILLAS	1 day	20/03/18 8:00
9		MONTAJE	2 days	21/03/18 8:00
10		CONTROL DE CALIDAD	3 days	23/03/18 8:00
11		PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	2 days	28/03/18 7:00
12		FINAL	0 days	30/03/18 7:00

Tabla 2.6: planificación

2.9 COSTE DEL PROYECTO

Tal y como se determina en el Documento 6: Presupuesto, el coste del diseño de esta transmisión es el siguiente:

Presupuesto total: 7079,64 €

El coste del presupuesto total es: siete mil setenta y nueve euros y sesenta y cuatro céntimos.

2.10 ESTUDIO DE SEGURIDAD

En el Documento 7: Estudio de seguridad, se estudiarán todos los requisitos, los pasos a llevar a cabo para su uso y las normas a seguir para que la transmisión sea segura.