

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA  
**TRABAJO FIN DE GRADO**

***TRANSMISIÓN DE UN VEHÍCULO AGRÍCOLA***

***DOCUMENTO II- MEMORIA***

**Alumno/Alumna:** Fernández Peña, Saúl

**Director/Directora (1):** Martija López, Itziar

**Curso:** <2020-2021>

**Fecha:** 16/10/2020

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO DEL PROYECTO</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b> .....	<b>7</b>
3.1	DATOS DE PARTIDA.....	7
3.2	FUENTES DE CONSULTA .....	7
<b>4</b>	<b>POSIBLES SOLUCIONES. SOLUCIÓN ADOPTADA</b> .....	<b>8</b>
4.1	EMBRAGUE .....	8
4.1.1	EMBRAGUE DE FRICCIÓN.....	8
4.1.2	<i>EMBRAGUE HIDRÁULICO</i> .....	9
4.1.3	<i>EMBRAGUE DE DISCOS MÚLTIPLES</i> .....	10
4.1.4	<i>SOLUCIÓN ADOPTADA</i> .....	10
4.2	CAJA DE CAMBIOS .....	11
4.2.1	<i>CAJA DE CAMBIOS MANUAL</i> .....	12
4.2.2	<i>CAJA DE CAMBIOS AUTOMÁTICA</i> .....	13
4.2.3	<i>SOLUCIÓN ADOPTADA</i> .....	15
4.3	SISTEMA SINCRONIZADOR.....	15
4.3.1	<i>SINCRONIZADOR CONVENCIONAL</i> .....	15
4.3.2	<i>SOLUCIÓN ADOPTADA</i> .....	15
4.4	SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	16
4.4.1	<i>MOTOR DELANTERO CON PROPULSIÓN TRASERA</i> .....	16
4.4.2	<i>MOTOR DELANTERO CON PROPULSIÓN TOTAL</i> .....	17
4.4.3	<i>SOLUCIÓN ADOPTADA</i> .....	17
4.5	GRUPO DIFERENCIAL.....	18
4.5.1	<i>GRUPO DIFERENCIAL DELANTERO</i> .....	18
4.5.2	<i>GRUPO DIFERENCIAL TRASERO</i> .....	18
4.5.3	<i>GRUPO DIFERENCIAL AUTOBLOCANTE</i> .....	19
4.5.4	<i>SOLUCIÓN ADOPTADA</i> .....	19
<b>5</b>	<b>FUNCIONAMIENTO</b> .....	<b>20</b>

<b>6</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES.....</b>	<b>23</b>
6.1	EMBRAGUE .....	23
6.2	CAJA DE CAMBIOS .....	23
6.2.1	ENGRANAJES.....	23
6.2.2	EJES.....	24
6.2.3	SINCRONIZADORES.....	24
6.2.4	RODAMIENTOS .....	25
6.2.5	CASQUILLOS .....	25
6.2.6	LUBRICACIÓN.....	25
6.3	GRUPO CÓNICO.....	26
6.4	DIFERENCIAL .....	26
<b>7</b>	<b>MANTENIMIENTO .....</b>	<b>27</b>
7.1	REDUCTOR Y CAJA DE CAMBIOS.....	27
7.2	GRUPO CÓNICO Y DIFERENCIAL.....	28

## 1 INTRODUCCION

Un tractor es un vehículo dotado de motor que le sirve para poder desplazarse por sí mismo y remolcar o accionar las distintas máquinas que se utilizan en la agricultura actual.

El tractor agrícola consta fundamentalmente de las siguientes partes:

- Bastidor o Chasis
- Motor
- Transmisión:
  - Embrague
  - Caja de cambios
  - Diferencial
  - Reducción final
  - Palieres
  - Ruedas
  - Toma de fuerza
- Polea
- Alzamiento hidráulico
- Enganche
- Dirección
- Frenos

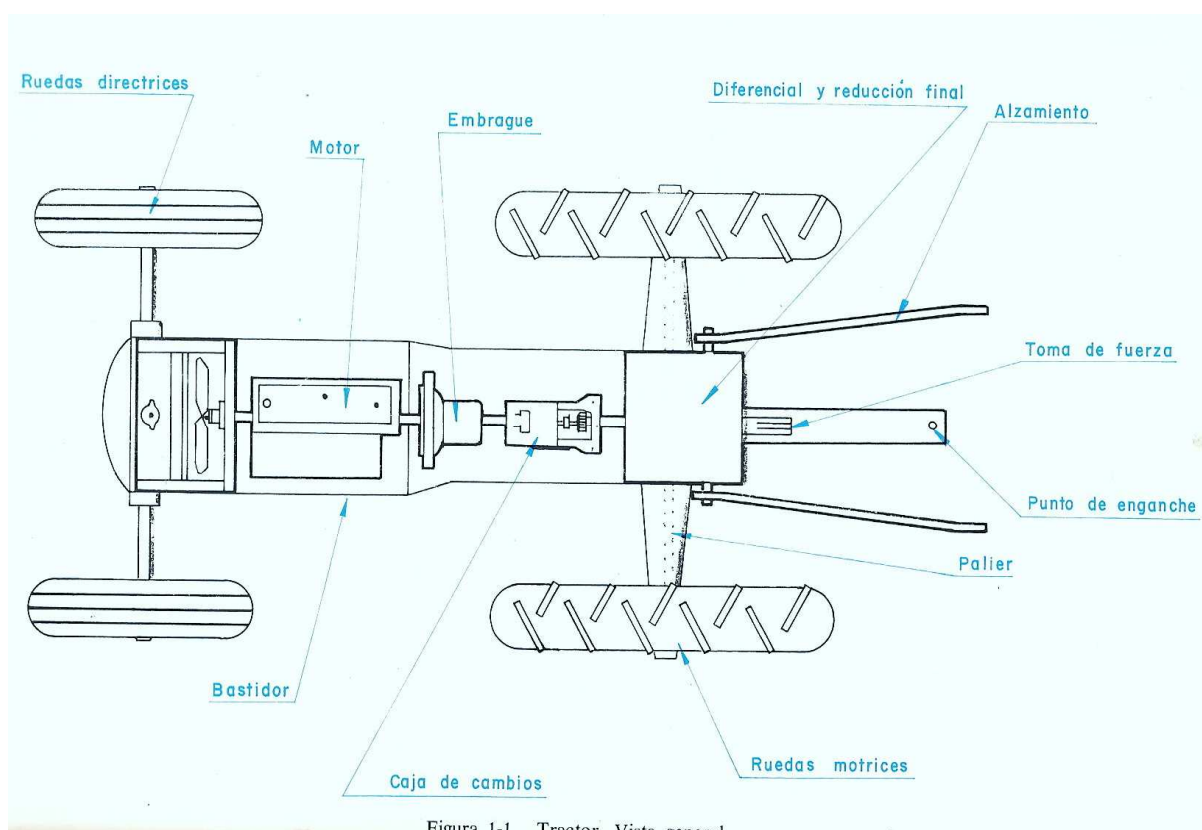
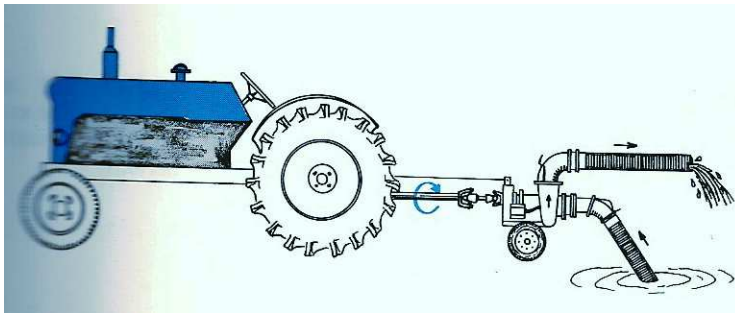


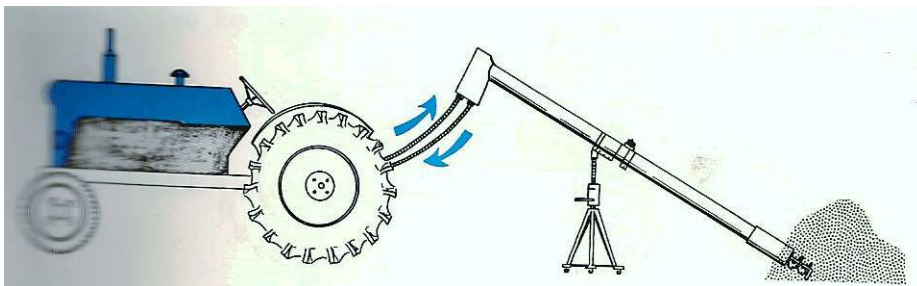
Figura 1-1. Tractor. Vista general.

El tractor es una máquina de múltiples aplicaciones en la agricultura actual. Una breve clasificación de los trabajos que puede llevar a cabo, son:

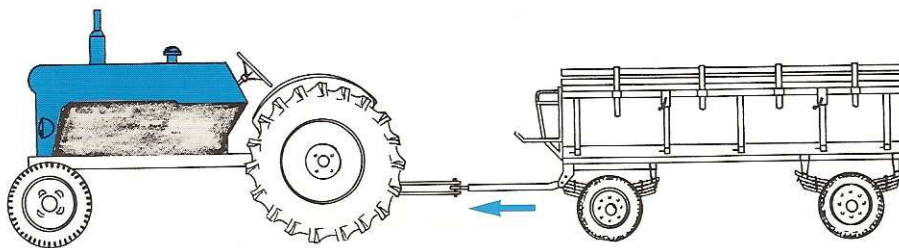
- Estacionarios, con toma de fuerza. Ej. Bombas de riego, molinos de pienso.



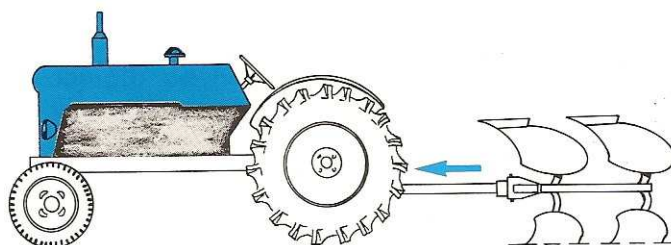
- Estacionarios, con equipo hidráulico. Ej. Elevadores de grano, etc.



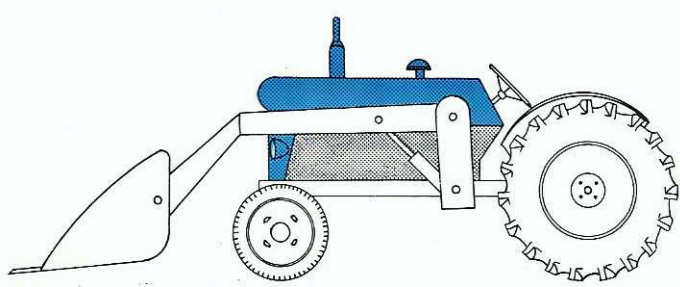
- De transporte, ej. Remolques, etc.



- De arrastre, aj. Arados de vertedera, grada de disco, etc.

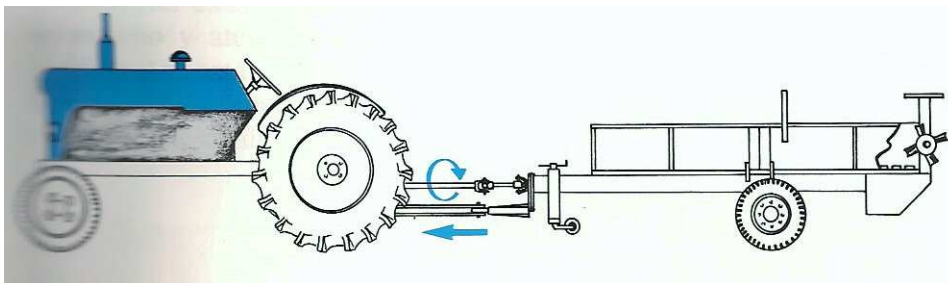


- De empuje, ej. Pala cargadora, bulldozer, etc.

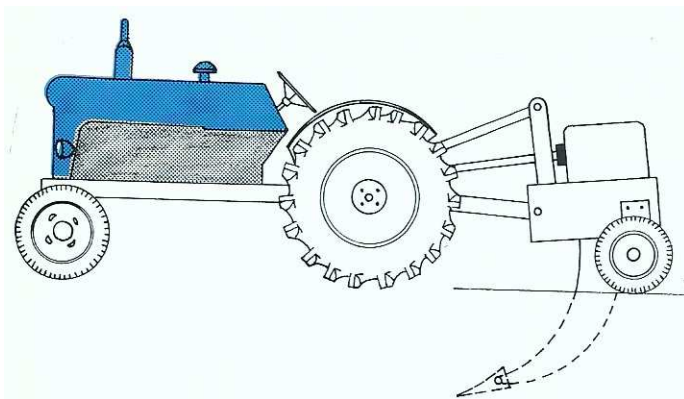


- Combinados:

- Transporte y toma de fuerza, ej. Empacadoras, remolque distribuidor de estiércol, etc.



- Arrastre y toma de fuerza, ej. Subsolador vibrador, fresa, etc.



Todos estos trabajos se pueden reunir en cuatro grandes grupos que constituyen las aplicaciones básicas del tractor, y que son:

- Remolcar
- Arrastrar
- Empujar
- Transmitir otros movimientos

## 2 OBJETIVO DEL PROYECTO

El objeto del proyecto es diseñar y calcular los diferentes elementos que componen la transmisión de un vehículo agrícola (tractor) de tracción simple y trasera.

La transmisión objeto de diseño constará de cuatro velocidades más la marcha atrás en la caja de cambios, además de las tres gamas de las que dispone el reductor, que serán cortas, medias y largas.

Éste elemento permite variar la relación de giro entre el motor de explosión de cuatro tiempos y las ruedas. Los vehículos agrícolas llevan una amplia gama de marchas debido a la gran variedad de trabajos que llevan a cabo y a la diversidad de fuerza requerida en cada uno de ellos.

Los elementos que componen la transmisión a diseñar van a ser los siguientes:

- **Embrague (Comercial)**
- **Reductor**
- **Caja de velocidad**
- **Grupo cónico y diferencial**

### 3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

#### 3.1 DATOS DE PARTIDA

Los datos iniciales a partir de los cuales se llevará a cabo el diseño serán lo mostrados a continuación:

##### MOTOR:

- Potencia máxima: 96 C.V.
- Cilindrada: 4400 cc
- Régimen de giro a potencia máxima: 2000rpm.
- Par máximo: 405Nm a 1400rpm.

##### VEHÍCULO:

- Tracción: Trasera
- Número de marchas: 4 hacia adelante y 1 hacia atrás
- Combinaciones de marchas: Cortas, medias y largas.
- Peso: 3550 Kg (sin combustible)
- Dimensiones del vehículo:
  - Altura: 2.75 m
  - Anchura: 2.16 m
  - Batalla: 2.46 m
  - Longitud: 4.21m

#### 3.2 FUENTES DE CONSULTA

Las fuentes consultadas han sido varias y diversas, tanto libros especializados en mecánica, como libros de carácter general pero del ámbito de la ingeniería mecánica y revistas especializadas.

Gran parte de la información obtenida proviene de internet, de páginas webs relacionadas con el asunto que se trata.

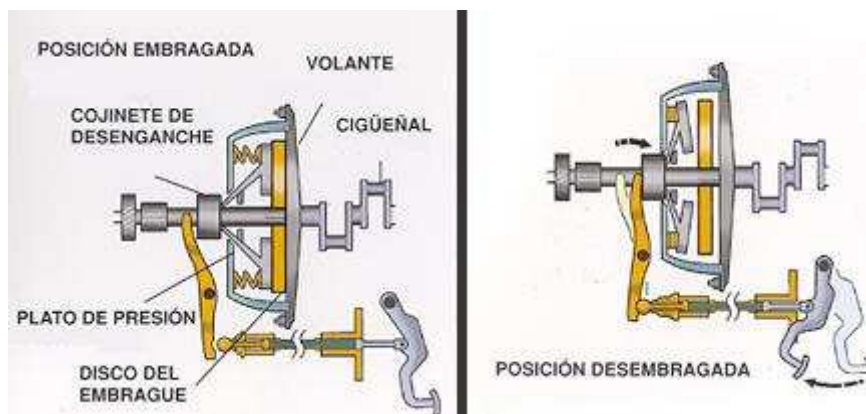
Para una visión más detallada se invita a consultar el anexo de Bibliografía que se incluye junto con los demás documentos que completan el presente proyecto.



## 4 POSIBLES SOLUCIONES. SOLUCIÓN ADOPTADA

### 4.1 EMBRAGUE

El **embrague** es un sistema que permite transmitir una energía mecánica a su acción final. En un automóvil, por ejemplo, permite controlar la transmisión de potencia desde el motor hacia las ruedas. Está constituido por un conjunto de piezas situadas entre el motor y los dispositivos de transmisión.



#### 4.1.1 EMBRAGUE DE FRICCIÓN

Están constituidos por una parte motriz, que transmite el giro a una parte conducida, utilizando para tal efecto la adherencia existente entre los dos elementos, y a los que se les aplica una determinada presión, que los une fuertemente uno contra el otro. El embrague de fricción está compuesto por dos partes claramente diferenciadas, el disco de embrague y el plato de presión.

##### *DISCO DE EMBRAGUE*

Este dispositivo está formado por un disco de acero en el que por medio de unos remaches van sujetos los forros, de tal manera que la cabeza de los remaches van embutidas para que no rocen contra la superficie del asiento del volante y en el plato de presión.

El disco de acero tiene unos cortes en su periferia formando una especie de lengüetas (5) que pueden doblarse en ambos sentidos de giro por la inercia de la fricción. Para amortiguar la inercia de contacto se colocan unos muelles entre el disco de acero y el platillo. Para el accionamiento del disco el árbol primario de la caja de cambios, se incluye un manguito estriado (8). El disco de embrague es el elemento encargado de transmitir a la caja de velocidades todo el par motor sin que se produzcan resbalamientos. Por este motivo, el disco de embrague, está forrado de un material de fricción que se adhiere a las superficies metálicas (superficies con las que entra en contacto dicho disco); es muy resistente al desgaste y al calor. Dependiendo del par motor a transmitir, y del peso del vehículo, se calcula el dimensionado del disco de embrague. Se trata de un disco en cuyo centro está dispuesto

un cubo estriado (por el que se pone en contacto con el eje primario de la caja de velocidades) que se une, mediante unos muelles repartidos en toda su circunferencia, a un plato forrado por sus dos caras con el material adherente anteriormente descrito. Dichos muelles, sirven para que la transmisión de giro desde el material adherente al cubo estriado (y por tanto al eje primario), se realice de una manera elástica (y pueda volver a su posición inicial). El plato, a su vez, por su parte externa está provisto de unos cortes, quedando toda la periferia de éste dividida en diferentes lengüetas, que están dobladas en uno y otro sentido facilitando la progresividad, cuando se realiza el apriete del disco de embrague contra el volante debido a la flexibilidad que adoptan dichas lengüetas.

### PLATO DE PRESIÓN

El plato o disco de presión (4) sirve de acoplamiento del conjunto al volante de inercia por medio de un disco de fricción y va montado entre el disco de fricción y la carcasa. Entre el disco de presión y la carcasa van montados los elementos de presión que pueden ser muelles helicoidales o un diafragma. También denominado maza de embrague, se compone de un disco de acero en forma de corona circular. Por una cara se une a la carcasa del mecanismo de embrague, a través de unos muelles o diafragma y por otra cara se une a una de las caras del disco de embrague.

### 4.1.2 EMBRAGUE HIDRÁULICO

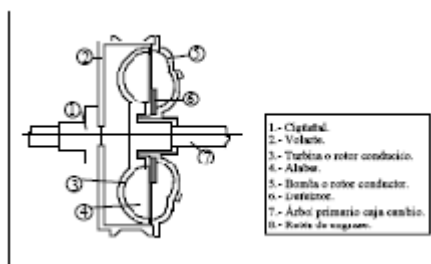
El embrague hidráulico actúa como embrague automático entre el motor y la caja de cambios. Dicho embrague permite que el motor transmita el par motor cuando llega a un determinado régimen de giro.

Para comprender bien este principio se pueden suponer dos ventiladores colocados uno frente a otro. El ventilador conectado a la red, mueve el aire y lo proyecta como impulsor o bomba sobre el otro ventilador que está sin conectar, y al recibir el aire, se pone a girar como una turbina.

Está constituido por dos coronas giratorias, tienen forma de semitoroide geométrico, provistas de unos tabiques planos, llamados álabe. Una de ellas, llamada corona motriz, va unida al árbol motor por medio de tornillos y constituye la bomba centrífuga, la otra, unida al primario de la caja de cambios constituye la turbina o corona arrastrada.

Ambas coronas van alojadas en una carcasa estanca y están separadas por un pequeño espacio para que no se produzca rozamiento entre ellas.

Cuando el motor gira, el aceite contenido en la carcasa es impulsado por la bomba proyectándose por su periferia hacia la turbina, en cuyos álabes incide paralelamente al eje. Dicho aceite es arrastrado por la propia rotación de la bomba corona o motriz, formándose así un torbellino tórico.



La energía cinética del aceite que choca contra los álabes de la turbina produce en ella un par de fuerza que tiende a hacerla girar. Cuando el motor gira a ralentí, la energía cinética del aceite es pequeña y el par de fuerza transmitido a la turbina es insuficiente para vencer el par resistente. En estas condiciones, hay un resbalamiento total entre bomba y turbina con lo que la turbina permanece inmóvil. El aceite resbala por los álabes de la turbina y es devuelto desde el centro de ésta al centro de la bomba, en donde es impulsado nuevamente a la periferia para seguir el ciclo.

A medida que aumentan las revoluciones del motor, el torbellino de aceite va incidiendo con más fuerza sobre los álabes de la turbina. Esta acción vence al par resistente y hace girar la turbina, mientras se verifica un resbalamiento de aceite entre bomba y turbina que supone el acoplamiento progresivo del embrague. Cuando el motor gira rápidamente, el aceite es impulsado con gran fuerza contra la turbina y ésta es arrastrada sin que exista apenas resbalamiento entre ambas.

El par motor pasa a la transmisión, cualquiera que sea el par resistente y aunque el motor se acelere rápidamente el movimiento del vehículo se produce progresivamente, existiendo un resbalamiento que disminuye a medida que se va venciendo al par resistente.

### **4.1.3 EMBRAGUE DE DISCOS MÚLTIPLES**

Este embrague se instala cuando lo exigen las características del volante del motor, ya que el mayor tamaño del disco que se puede colocar no es suficiente para transmitir todo el par motor. Entonces se emplea el embrague de varios discos, cuya superficie total de adherencia sea equivalente a la que se necesitaría con un solo disco. Sobre el extremo del eje primario va el mandril, cuyos nervios soportan los discos metálicos hembras, entre éstos están intercalados los discos machos, que por su periferia son llevados por las estrías interiores de la campana. La campana está unida al volante. Este embrague se sumerge, generalmente, en aceite fluido o una mezcla de aceite y petróleo.

Con el mismo principio se construyen embragues de varios discos en seco, forrados con tejido de amianto.

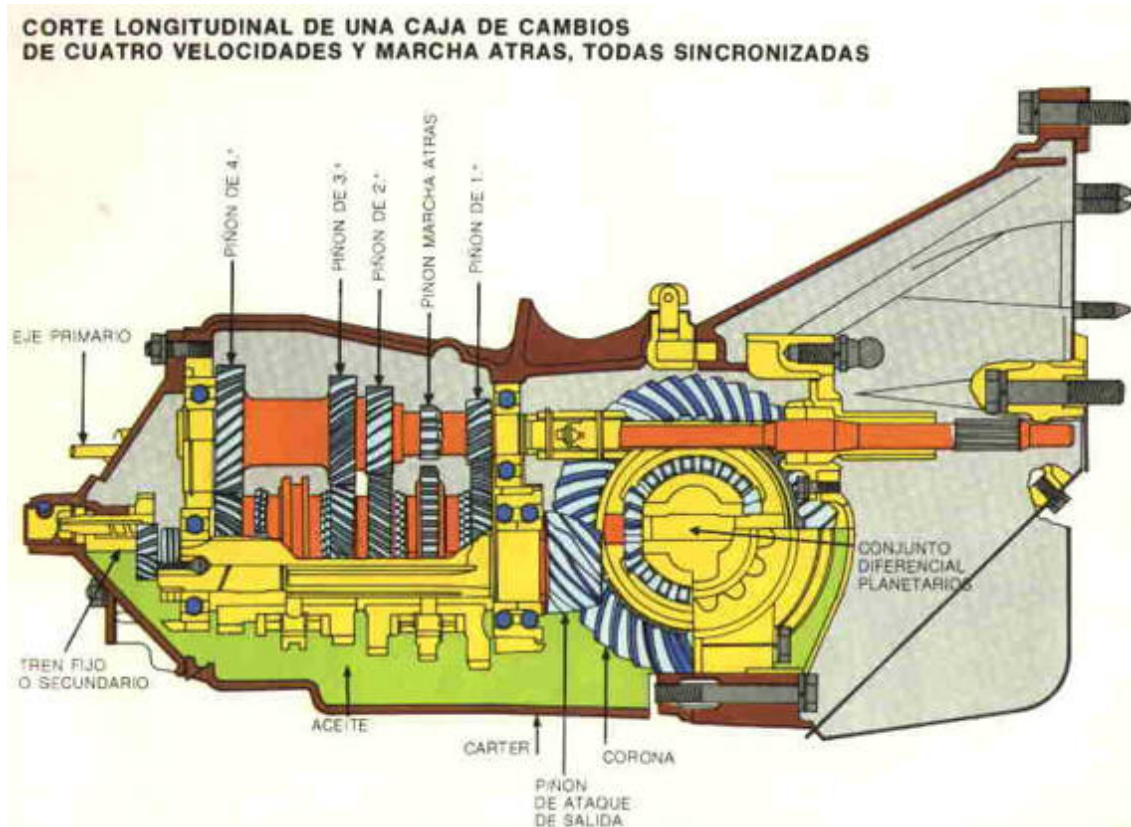
Algunos embragues de este tipo se usan en los tractores de cadenas para su dirección, y en este caso son accionados con una leva mandada con una palanca, según apriete o deje sueltos los discos produce el embrague o desembrague.

### **4.1.4 SOLUCIÓN ADOPTADA**

El embrague no ha sido motivo de estudio en el presente proyecto, por lo que será comercial. El embrague seleccionado ha sido un 180 DBR 335 recomendado en catálogos especializados (referencia en el documento de bibliografía) en maquinaria agrícola como un embrague adecuado para el rango de potencia en el que nuestra transmisión se moverá.

## 4.2 CAJA DE CAMBIOS

En los vehículos, la caja de cambios o caja de velocidades es el elemento encargado de acoplar el motor y el sistema de transmisión con diferentes relaciones de engranes o engranajes, de tal forma que la misma velocidad de giro del cigüeñal puede convertirse en distintas velocidades de giro en las ruedas. El resultado en las ruedas de tracción generalmente es la reducción de velocidad de giro e incremento del par motor.



### 4.2.1 CAJA DE CAMBIOS MANUAL

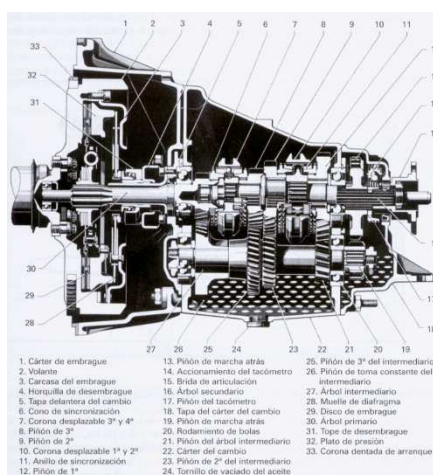
La caja de cambios convencional está formada por un eje primario, en el cual forma parte un piñón que engrana de forma constante con su respectivo en el eje intermediario. Además, en el intermediario van labrados los piñones correspondientes para cada velocidad. Éstos piñones engranan sobre otros piñones que van montados locos sobre el eje secundario con interposición de cojinetes de bronce, de forma que giran libremente arrastrados por el eje intermediario.

El eje primario recibe el giro del motor a través del mecanismo de embrague y el eje secundario es el encargado de transmitir el giro a la transmisión y a las ruedas. Los tres ejes que forman la caja de cambios, eje primario, secundario e intermediario, van apoyados sobre cojinetes de bolas/rodillos. El eje secundario y el eje primario van unidos a través de un cojinete de agujas, de forma que el movimiento no se transmita de uno a otro.

Para conseguir que el eje secundario gire junto con el motor es necesario que se engrane con los piñones que lleva acoplados locos a él. Esta acople se consigue mediante el uso de cubos sincronizadores, que están integrados por un cubo estriado sobre el eje secundario, sobre el cual se monta una corona desplazable, también estriada, que se puede mover lateralmente un cierto recorrido. En el interior de los cubos sincronizadores van montados dos anillos sincronizadores, uno a cada lado, cuyo dentada engrana a la perfección en la corona del cubo interior. Además, estos anillos se acoplan a las superficies cónicas de los piñones del eje secundario.

Cuando la corona del sincronizador se desplaza a uno y otro lado se produce el engrane de su estriado interior con el de los anillos sincronizadores, y con el piñón correspondiente a la velocidad seleccionada. Antes de lograrse el engrane total se produce un frotamiento entre el anillo sincronizador y el cono del piñón que hace que ambos ejes igualen su velocidad de giro entre ambos ejes. Una vez logrado el engrane total se transmite el movimiento desde el piñón al cubo sincronizador, y de éste al eje secundario.

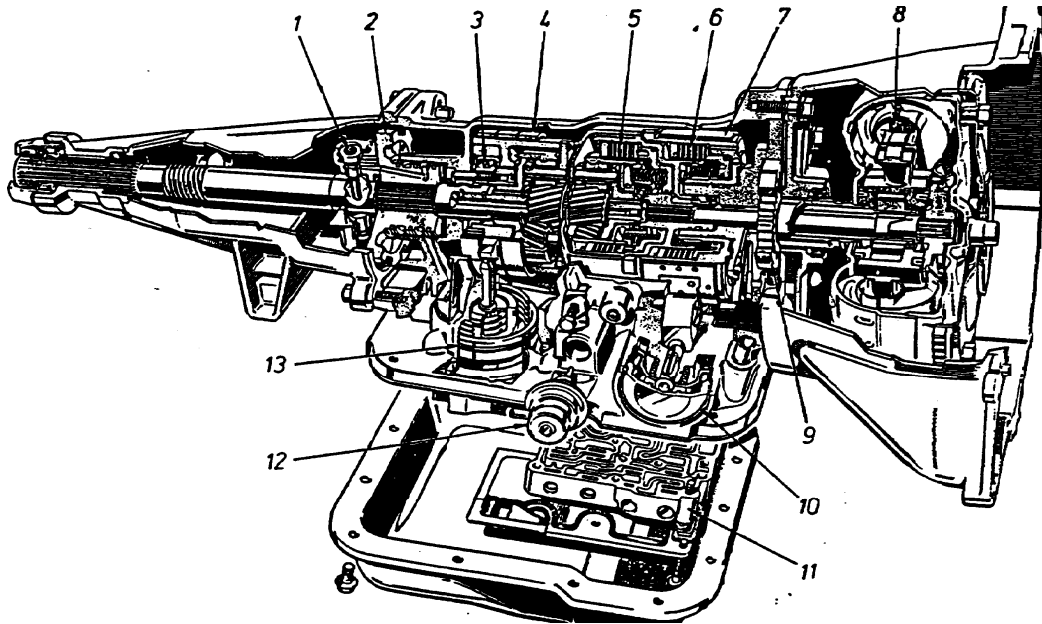
El eje intermediario dispone de un piñón helicoidal para cada velocidad y otro piñón recto para formar el mecanismo de la marcha atrás.



### 4.2.2 CAJA DE CAMBIOS AUTOMÁTICA

La caja de cambios es la encargada de transmitir el par motor y adaptarlo a las condiciones de carga y marcha del vehículo. En las cajas de cambio automáticas esto se realiza sin necesidad de que el conductor actúe directamente sobre los mecanismos del cambio, si bien el conductor puede intervenir, con distintas actuaciones, en el funcionamiento de la caja de cambios automática.

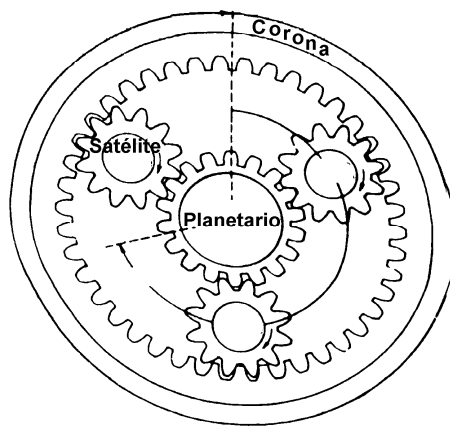
Constitución de una caja de cambios automática “Hydra-Matic”.



- 1 conjunto regulador
- 2 plato regulador almenado de bloqueo
- 3 embrague de una vía
- 4 freno de cinta anterior
- 5 embrague anterior
- 6 embrague posterior y toma directa
- 7 freno de cinta posterior
- 8 convertidor (formado por Impulsor (o bomba), reactor y turbina)
- 9 bomba hidráulica
- 10 servo del freno de cinta posterior
- 11 caja comandada (válvulas limitadoras de presión, electroválvula de modulación, válvula manual, válvula de progresividad, válvulas de secuencia, válvula de corte)
- 12 membranas de presión
- 13 servo del freno anterior

El principio en que se basa la caja de cambios automática para obtener diferentes relaciones de transmisión es un sistema planetario de engranajes.

Este sistema consiste en una corona exterior, 3 piñones satélites cuyos ejes van montados en un soporte, y un engranaje planetario central. Se le da este nombre de sistema planetario por su similitud con los planetas del sistema solar que tienen un movimiento de rotación y otro de traslación alrededor del Sol.



El funcionamiento del sistema es el siguiente:

Cuando se mantiene fijo uno de los tres miembros, y hay otro que gira se producen una serie de situaciones según sobre que elemento actuemos, las distintas posibilidades se presentan en el siguiente cuadro:

Situaciones	1	2	3	4	5	6
Corona	D	T	H	H	T	D
Soporte	T	D	D	T	H	H
Planetario	H	H	T	D	D	T
Velocidad	I	L	L	I	I/R	L/R

D - Impulsado

L - Reducción de velocidad

H - Fijo

R - Inversión del sentido de marcha

I - Incremento de velocidad

T - Motriz

Como vemos, fijando uno de los elementos del sistema planetario de engranajes puede obtenerse una reducción de velocidad, una multiplicación (según el elemento que se fije), o una inversión del sentido de giro (marcha atrás, si el soporte de los piñones planetarios se mantiene estacionario y se hace girar la corona o el engranaje planetario central, aquellos actúan como piñones inversores locos), y también si se bloquean dos elementos contiguos del conjunto obtendríamos una relación directa.

### 4.2.3 SOLUCIÓN ADOPTADA

Para el diseño del presente proyecto se ha optado por diseñar una caja de cambios manual y sincronizada por ser de un diseño sencillo y ser la más adecuada para llevar a cabo el proyecto final de carrera ya, que mecánicamente abarca todos los campos vistos durante la misma. El sistema de sincronizado se estudiará en el siguiente apartado.

## 4.3 SISTEMA SINCRONIZADOR

### 4.3.1 SINCRONIZADOR CONVENCIONAL

Como ya se ha dicho anteriormente, (aptd. 4.2.1) los sincronizadores se utilizan para conseguir engranar de forma adecuada. En las cajas de cambios convencionales, el engrane se obtiene con el desplazamiento de la corona del sincronizador, también llamada carrete. Este carrete lleva un dentado interno que consigue engranar con el piñón loco de la velocidad deseada. Se aprecia que para un correcto engrane hay que igualar el giro de ambos ejes.

Ello se consigue con el uso de sincronizadores absolutos. Estos sincronizadores están formados por un buje, que engrana constantemente en el estriado del eje secundario. Dicho buje lleva labrado en su perímetro exterior unos dientes rectos, que engranan con los dientes interiores del carrete. A los piñones locos de las diferentes velocidades se le unen a través de un muelle unos anillos sincronizadores de cobre con forma cónica, que llevan un estriado igual que el de los piñones.

Cuando el conductor acciona la palanca del cambio y selecciona una velocidad, el carrete correspondiente es empujado hacia el engranaje loco. Conforme se va acercando el carrete el anillo cónico va entrando en él, produciendo un rozamiento que iguala las velocidades entre el eje secundario y el engranaje loco. Al seguir avanzando el carrete sus dientes engranan con los del piñón, haciéndose solidario el giro de este con el del eje secundario, es decir, entrando la velocidad.

Antiguamente se usaban otro tipo de sincronizadores en los que el anillo cónico iba mecanizado en mismo carrete.

### 4.3.2 SOLUCIÓN ADOPTADA

Se ha tratado de diseñar un sincronizador como el descrito en el apartado anterior, ya que es el más utilizado en automoción.

En nuestro caso, la rueda dentada lleva un acople adosado a ella, y en éste acople, engrana un cono macho para que al mover la palanca de cambios, el cono hembra, al rozar, haga que las velocidades angulares se igualen y el cambio se produzca sin choques entre los dientes y de forma silenciosa.



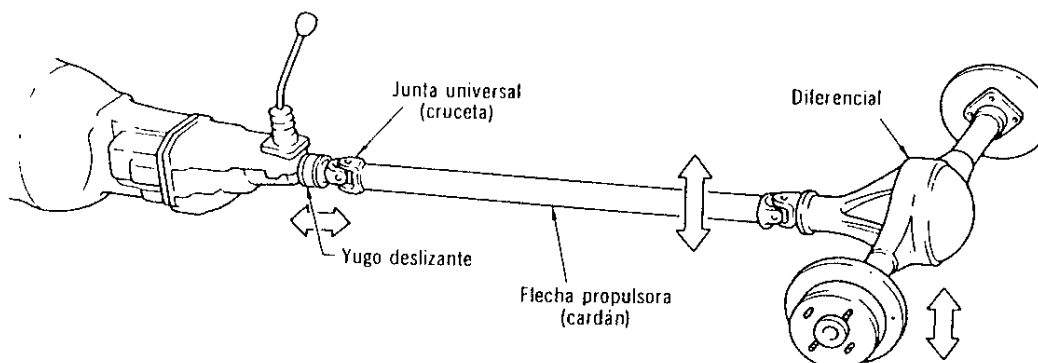
## 4.4 SISTEMA DE TRANSMISIÓN

### 4.4.1 MOTOR DELANTERO CON PROPULSIÓN TRASERA

En vehículos con motor delantero y tracción trasera, la flecha propulsora (eje cardán) conecta la transmisión con el diferencial para transmitir la fuerza del motor. La transmisión es usualmente fijada en el chasis usando soportes o monturas de hule, mientras que el eje trasero (con ruedas de propulsión y portador del diferencial) es fijado al chasis por medio de muelles y varillajes.

Cuando el vehículo se mueve, las ruedas propulsoras constantemente se mueven hacia arriba y hacia abajo causando que la distancia entre el diferencial y la transmisión cambie. Esto indica, que la flecha propulsora necesita ajustarse a esta longitud de acuerdo a estos movimientos. Por lo tanto, la flecha propulsora deberá satisfacer los tres requerimientos indicados.

- Transmitir la salida de potencia del motor suavemente al diferencial.
- Responder adecuadamente a las variaciones en el ángulo de mando que resulte del movimiento ascendente y descendente de las ruedas propulsoras.
- Este ajuste de longitud es requerido mientras se mueve el vehículo.



#### 4.4.2 MOTOR DELANTERO CON PROPULSIÓN TOTAL

En la propulsión total, tanto las ruedas delanteras como las traseras son motrices. Las delanteras pueden hacerse motrices a voluntad del conductor. Con las cuatro ruedas motrices, ésta clase de vehículos cuenta con una capacidad de adherencia considerablemente mayor que los vehículos con tracción únicamente en un eje, lo que les permite desenvolverse con facilidad por terrenos abruptos, embarrados o arenosos.

El mecanismo consiste en una caja de cambios corriente. Un eje lleva el movimiento al reenvió desde el cual parten los dos árboles de transmisión al eje delantero y trasero, ambos provistos de diferencial. El reenvió permite el desacoplamiento del motor, en cuyo caso el vehículo marcha como uno cualquiera de propulsión trasera.

Este sistema se suele dotar de un engranaje reductor que, cuando se marcha con todas las ruedas motrices, rebaja las velocidades proporcionadas por la caja de cambios, dando lugar a marchas más reducidas, aumentándose la adherencia y la potencia.

#### 4.4.3 SOLUCIÓN ADOPTADA

Entre las opciones de las que se disponen nos hemos decantado por la propulsión trasera con motor delantero, que, por su sencillez de diseño y funcionamiento se nos adecua muy bien a nuestras pretensiones en cuanto al diseño de la transmisión. Si bien, nuestra transmisión no lleva cardán puesto que para un vehículo agrícola la longitud del motor más la longitud de la transmisión hacen innecesario el acople de la misma, con lo que se gana en robustez.

La 2ª opción hubiese requerido introducir en la caja principal una variante para poder transmitir par al puente delantero, un diferencial delantero y dos reducciones finales adicionales, una para cada rueda.

## 4.5 GRUPO DIFERENCIAL

El mecanismo diferencial tiene por objeto permitir que cuando el vehículo trace una curva sus ruedas propulsoras puedan describir sus respectivas trayectorias sin deslizamiento sobre el suelo. La necesidad de este dispositivo se explica por el hecho de que al dar una curva el coche, las ruedas interiores a la misma recorren un espacio menor que las situadas en el lado exterior, puesto que las primeras describen una circunferencia de menor radio que las segundas. El diferencial reparte el esfuerzo de giro de la transmisión entre los semiejes de cada rueda.

### 4.5.1 GRUPO DIFERENCIAL DELANTERO

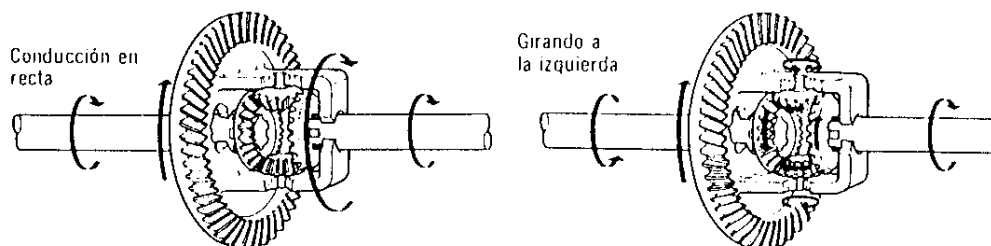
El grupo de diferencial delantero se instala en vehículos que tiene la tracción en el eje delantero o bien tienen tracción total.

Cuando el vehículo es conducido en línea recta, ambas ruedas traseras giran a la misma velocidad y el diferencial completo gira como un conjunto. Sin embargo, cuando el vehículo empieza a virar en una curva, la velocidad de la rueda exterior debe aumentar y la velocidad de la rueda interior debe disminuir. Como el engranaje y la caja porta-piñones permanecen operando a una velocidad constante, el piñón diferencial tiene una rotación alrededor del piñón lateral que ha disminuido su velocidad. En esta operación los engranes diferenciales giran en sus cojinetes, y el engrane lateral gira en la flecha del eje trasero de la rueda exterior. Esta acción causa que una rueda gire más rápido que la otra.

La cantidad para que una rueda aumente esta velocidad es siempre idéntica a la cantidad en que la otra rueda disminuye su velocidad. El promedio de las dos velocidades iguala la velocidad en la cual la corona y la caja giran.

### 4.5.2 GRUPO DIFERENCIAL TRASERO

Tiene exactamente la misma función y funciona de la misma manera que los grupos diferenciales delanteros, con la salvedad que va instalado en el eje secundario que para éste caso será el motriz. Al igual que en caso anteriormente expuesto, también se utilizan en los vehículos de tracción total de la manera ya explicada.



### 4.5.3 GRUPO DIFERENCIAL AUTOBLOCANTE

Cuando una de las dos ruedas del eje motriz rueda momentáneamente sobre una superficie deslizante (hielo, barro, etc), o bien se levanta en el aire (a consecuencia de un bache o durante el trazado de una curva a alta velocidad), la característica de balanza del diferencial da a lugar que el par motor se concentre en la rueda cuya adherencia se ha reducido. Esta rueda tiende a embalsarse, absorbiendo todo el par, mientras que la opuesta permanece inmóvil, lo que se traduce en pérdida de tracción del coche.

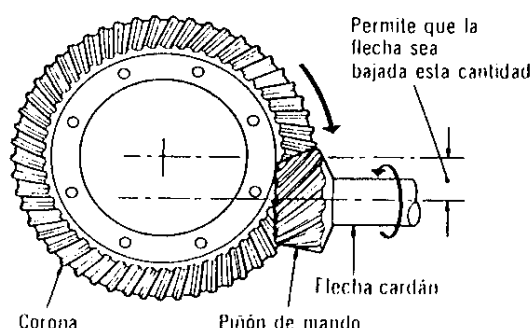
El diferencial autoblocante tiene como objetivo resolver este importante problema de pérdida de tracción.

De entre los diversos tipos de diferenciales autoblocantes que existen, sin duda el más utilizado y posiblemente el más eficaz es el Thotnton Powr-Lok, llamado también “de placas de fricción”. En este diferencial se cruzan uno sobre otro, pero constituyendo dos piezas independientes, a diferencia de los diferenciales corrientes, donde forman una pieza única con cuatro brazos. Los extremos de ambos ejes en la zona de acoplamiento en la caja del diferencial van tallados con dos planos formando una “V”. Los alojamientos para cada eje en la caja del diferencial están sobredimensionados, de modo que el eje entre con una considerable holgura. Estos alojamientos presentan además dos rampas talladas formando también una “V” de idéntico ángulo que la existente en los ejes.

Los piñones satélites planetarios son análogos a los de un diferencial convencional. Cada piñón planetario se acopla sobre sendos bujes estriados, que a su vez encajan sobre cada una de las dos mitades de la caja diferencial. Entre cada mitad de la caja y el buje estriado correspondiente existe un embrague compuesto por placas de fricción y arandelas elásticas de acero, o bien pequeños muelles helicoidales alojados en las carcasas.

### 4.5.4 SOLUCIÓN ADOPTADA

Para el caso que nos abarca, nos hemos decantado por instalar un grupo diferencial trasero, simple, el autoblocante no será diseñado. En nuestro caso la reducción del grupo cónico será de 1:3, y de tipo hipoide.



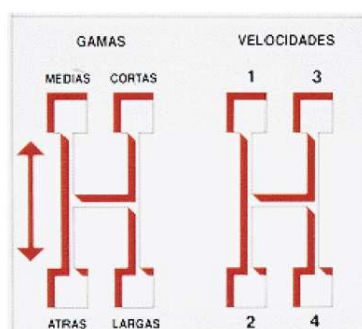
## 5 FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento de la transmisión que es objeto de estudio, se va a detallar desde que se origina la potencia en el motor de cuatro tiempos hasta que llega a las ruedas motrices.

El motor de explosión (96CV) de 4 tiempos que moverá nuestro diseño, (admisión-compresión-explosión-escape) origina una fuerza en el cada pistón, que transmiten al cigüeñal a través de las bielas que cada pistón lleva ensambladas.

Esta fuerza lineal, el cigüeñal lo convierte en una fuerza de rotación que pasa por el embrague como primera etapa. En éste punto el operario decide si transmitir la potencia a la transmisión a través del embragado y desembragado.

La potencia llega del embrague mediante el eje primario al reductor. El reductor nos permite, con una sencillez constructiva un elevado número de combinaciones en la caja de cambios. Como la diversidad de trabajos que realizan los tractores es muy elevada, es necesario que dispongan de una caja de cambios con una amplia gama de velocidades para trabajar con el mayor rendimiento posible. Recordar, que la gama cortas es ideal para realizar trabajos que exigen mucho par, y la gama largas lo contrario, por ejemplo para circular por carretera. La gama medias nos ofrece un punto medio y un abanico más amplio de posibilidades de par.



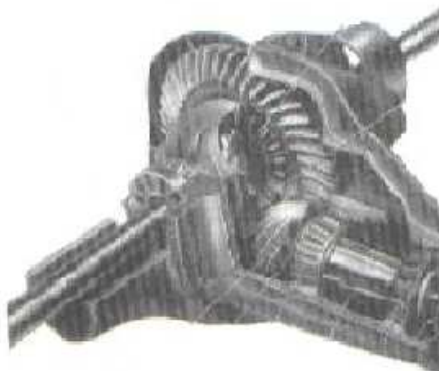
Combinaciones en la caja de cambios de un tractor.

A través del eje intermediario, en donde giran solidarias con el eje las ruedas tanto del reductor como las de la caja principal, transmitimos la potencia a la propia caja, donde seleccionamos entre 4 marchas hacia delante y una hacia atrás.

Ésta selección se hace a través de la palanca de la mencionada caja que mueve los sincronizadores, descritos anteriormente, y hace que el engrane de las diferentes marchas sea suave. Mencionar que el reductor también dispone de dos sincronizadores para realizar la misma operación.

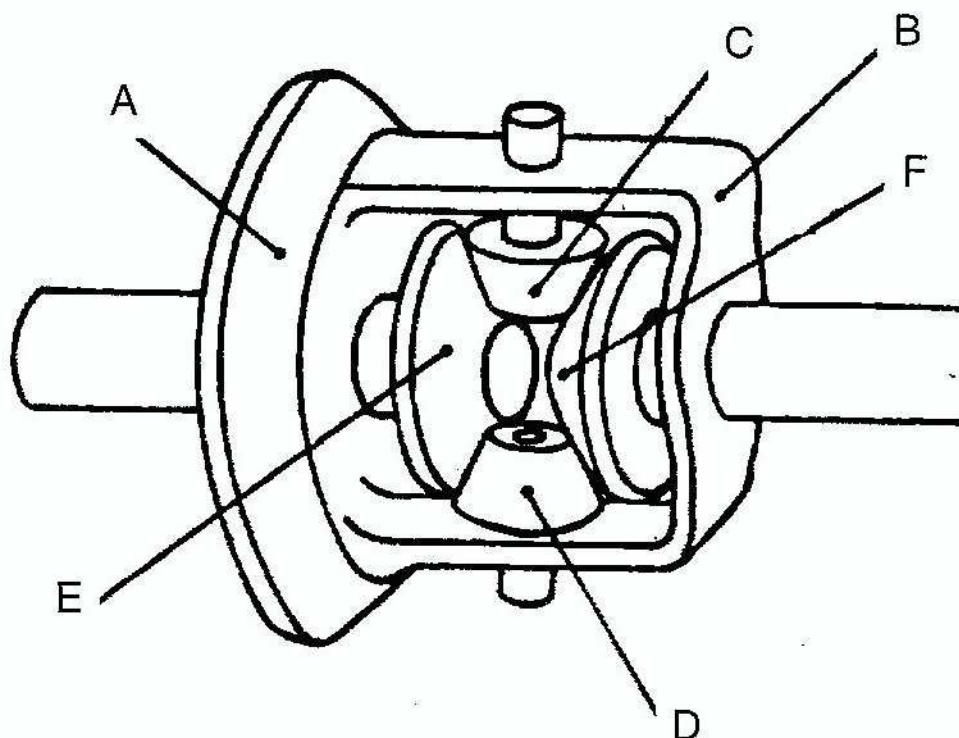
En la transmisión que se diseña, tenemos, por lo tanto, 4 velocidades a combinar con 3 gamas, por lo que son 12 combinaciones diferentes de velocidades hacia delante y 3 hacia atrás.

Analizadas las cajas de cambios, la potencia avanza por el eje secundario hasta llegar al piñón hipoide que está engranando con la corona hipoide, en lo que llamamos el grupo cónico.



Éste sistema permite transmitir la potencia entre ejes a  $90^\circ$ , y en el caso particular de los hipoides, bajar el piñón por debajo del centro de la corona, con lo que se gana en espacio. La relación piñón corona será de 1:3 como ya se mencionó anteriormente.

Adosado a la corona tenemos la carcasa porta satélites, que forma parte del diferencial, cuya misión fue definida anteriormente. Montaremos cuatro satélites y dos planetarios, que son los que transmiten por “empuje” la potencia a los palieres de las ruedas motrices.



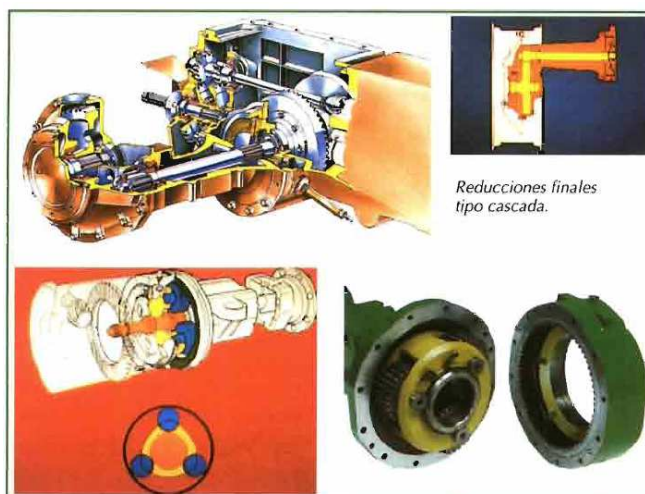
A: Corona Hipoide

C, D: Satélites

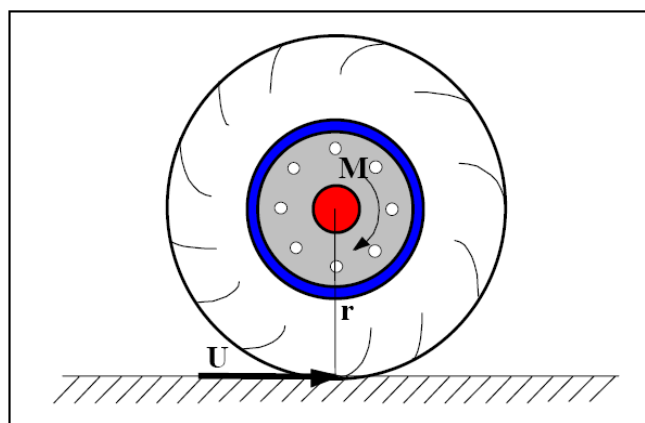
B: Carcasa Porta satélites

E, F: Planetarios

Los palieres son los encargados de transmitir el movimiento a las ruedas, pero en los vehículos agrícolas (tractores), disponen en la trompeta de salida del eje motriz, de una última reducción epicicloidial para adecuar las revoluciones de los satélites a las de las ruedas, en nuestro caso será de  $\frac{1}{4}$ .



Ésta reducción va solidaria con las ruedas, que transmiten al terreno la fuerza y que por acción reacción se hace posible el movimiento que se originó en el motor completándose así el ciclo.



## 6 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

Describiremos ahora los pasos que se han seguido para diseñar cada uno de los elementos que componen el presente proyecto y las referencias tomadas.

No se explicará el funcionamiento ni la finalidad de cada elemento por haberse tratado en el apartado 4º del presente documento.

### 6.1 EMBRAGUE

El embrague a emplear ha sido comercial, por no incluir su cálculo en el presente proyecto. Se ha seleccionado un embrague tipo 180 DBR 335 recomendado en catálogos especializados (referencia en el documento de bibliografía) de la casa Massey Ferguson.

### 6.2 CAJA DE CAMBIOS

En éste apartado englobamos tanto el reductor como la caja de cambios principal.

#### 6.2.1 ENGRANAJES

Los engranajes se han diseñado siguiendo el criterio que sigue el libro “Dibujo de Proyectos” de Abelardo García Mateos, referencia ya incluida en el documento de Bibliografía y apuntes de la asignatura “Diseño de Máquinas”.

El material para todos los piñones y ruedas es acero aleado mejorado mediante un templado, en concreto un F1260 NiCrMo16.

Los engranajes de la caja con de dentado helicoidal, a excepción de las ruedas que componen la marcha de retroceso que son de dentado recto.

En primer lugar se calcularon las relaciones de transmisión del reductor y de la caja mediante métodos recomendados por diversa bibliografía ya referenciada en el documento antes mencionado, entre otros “Transmisión” de Publio Pintado San Juan e “Ingeniería de Vehículos. Sistemas y Cálculos” de Manuel Cascajosa.

Con las relaciones de transmisión de los pares de ruedas se calculó un número de dientes tal, que la suma de dientes de cada par de ruedas permaneciera constante y que todas las ruedas tuviesen el mismo módulo. Además de que no nos indujera a problemas de interferencia por un número insuficiente de dientes, en los casos que fuera posible.

Estas dos hipótesis han de cumplirse impecablemente para que la distancia entre ejes permanezca constante en cada par de ruedas. Mencionar, que el reductor no tiene la misma distancia entre ejes que la caja principal.

Para el cálculo del módulo se siguió el criterio de la bibliografía mencionada en el primer párrafo del presente apartado, comprobando su validez tanto para el piñón como para la rueda.

Mediante las fórmulas existentes se terminaron de definir todos los pares de engranajes, tanto piñón como rueda con aspectos tales como el radio primitivo, radio de cabeza, de fondo, espesores de dientes, etc.



### 6.2.2 EJES

Para el cálculo de los elementos que definimos en el presente apartado, nos hemos apoyado de las premisas que nos marca el libro “Proyectos de Elementos de Máquinas” de M.F. Spotts.

Los ejes han sido diseñados mediante el código ASME, por ser el más utilizado actualmente.

El material de los ejes ha sido el mismo para todos, un acero aleado de gran resistencia, un F1250 NiCrMo16, muy utilizado en el campo de automoción para la construcción de ejes y con una resistencia de 80-100 kg/mm<sup>2</sup>. Admite temple por inducción y la soldadura. Soporta grandes esfuerzos de fatiga.

El coeficiente de seguridad con el que se diseñan los ejes será de 2. Y el estudio se hace siempre para el caso más desfavorable, que será a 2000 rpm y con 96 CV, por ser éste el estado de potencia máxima del motor. El peso de las ruedas dentadas se desprecia por ser insignificante frente a las fuerzas que se producen.

Previo al cálculo de los ejes, se llevó un estudio previo, para saber con exactitud la longitud de los mismos.

### 6.2.3 SINCRONIZADORES

El diseño de los sincronizadores se ha hecho una vez sabido el diámetro del eje en el tramo donde iba montado, para así aprovechar al máximo la misma pieza para varios puntos. Es decir, el sincronizador del grupo reductor y el de la caja principal son idénticos a excepción del cubo desplazable que se ha adaptado obviamente al diámetro de cada eje.

De ésta manera conseguimos reducir el costo final ya que el ahorro tanto en horas de diseño como en realización de planos se ve notablemente reducida en éste aspecto.

#### 6.2.4 RODAMIENTOS

Para los rodamientos se ha utilizado como bibliografía de referencia el “Catalogo General” de rodamientos SKF que establece que para una transmisión por engranajes para uso general como la que se trata en éste proyecto, se estima de 10.000 a 25.000 horas de servicio.

Con los datos propios del motor, mencionados en el apartado 3.1 de presente documento y el dato antes señalado, se establece una relación apropiada para diseñar con seguridad los rodamientos a instalar.

En los apoyos en los cuales no se tiene fuerza axial se han instalado rodamientos de rodillos cilíndricos y de rodillos cónicos cuando aparezca una carga combinada.

Para el caso del grupo cónico se han instalado dos rodamientos cónicos de una hilera apareados frente a frente. Esto se hace puesto que con un rodamiento solo no se consigue soportar las reacciones del apoyo, y además tenemos fuerzas axiales en los dos sentidos, ya que el sentido de esas fuerzas cambia al engranar la marcha de retroceso.

Éste rodamiento será de la casa FAG, con su método de cálculo, ya que en el catálogo SKF no se pudo encontrar un rodamiento apropiado para éste apoyo

#### 6.2.5 CASQUILLOS

Los casquillos que se han instalado son autolubricados para alargar la vida útil del engranaje en el cual precisen casquillos.

Estos elementos son comerciales, concretamente de la casa AMES que ofrece una serie de garantías de seguridad tales como:

- Eliminación de riesgo de gripado.
- Película de aceite permanente.
- 20 a 30% del volumen está impregnado en aceite.
- Funcionamiento silencioso.
- Bajo Coeficiente de Rozamiento.
- Eliminación de engrasadores.

Y garantías tecnológicas como:

- Alta precisión.
- Cargas de 0 a 100 kg./cm<sup>2</sup>
- Velocidades hasta 30.000 r.p.m.
- Temperaturas desde -20°C hasta +120°C.

#### 6.2.6 LUBRICACIÓN

La lubricación de la transmisión se produce por inmersión de los engranajes, que al girar en el aceite producen un chapoteo por toda la caja que lubrica las partes móviles del elemento.

### 6.3 GRUPO CÓNICO

El proceso de diseño del grupo cónico ha sido similar al de los engranajes de la caja. Se ha tomado la misma bibliografía (“Ingeniería de Vehículos” de Manuel Cascajosa) que en el caso mencionado, aplicándola ahora a dentado hipoide.

El material de los elementos, piñón hipoide y corona hipoide es el mismo que el de los engranajes, un F1260 NiCrMo16

La relación de reducción producida es de 1/3, calculada según la relación entre las rpm de las ruedas entre las rpm del eje del piñón.

Para evitar que los dientes soporten constantemente la  $P_{m\acute{a}x}$ , se elige una relación de tal manera que el número de dientes de la corona no sea múltiplo del correspondiente piñón, es decir, primos entre sí.

Estimamos por lo tanto que el piñón tendrá 17 dientes y la corona 52 dientes, resultando una relación de 0,327.

Éste grupo lleva un rodamiento doble como ya se mencionó en el apartado referente a los rodamientos.

### 6.4 DIFERENCIAL

Para éste conjunto, se utilizó, como libro más habitual el “Tratado Teórico-Práctico de Elementos de Máquinas. Cálculo, Diseño y Construcción” de G. Niemman.

Con las relaciones que figuran en esa bibliografía se obtiene la relación de transmisión que nos sirve para después calcular el número de dientes de los satélites y de los planetarios. Más tarde se calculará el módulo y se comprobará como se ha hecho para todas las ruedas dentadas anteriormente mencionadas.

El diferencial a diseñar, dispone de 4 satélites y 2 planetarios.

Los satélites van alojados en una carcasa porta satélites, construida de acero F6120 fácilmente soldable, para soldarla a la carcasa hipoide, tal y como se muestra en el plano 29, “Corona y Porta satélites”.

## 7 MANTENIMIENTO

Entendido como las operaciones que puedan ser realizadas por el propio operario o por personal y con medios no especializados, incluyendo pequeñas reparaciones.

En el caso de nuestro proyecto, el mantenimiento se reduce a revisiones sistemáticas cada cierto número de horas que puede ser llevado a cabo por el mismo operario. Tales como, engrase de partes accesibles, cambio de aceites, etc.

### 7.1 REDUCTOR Y CAJA DE CAMBIOS

Tal y como se ha mencionado en la introducción de éste capítulo el mantenimiento de éstos elementos se reduce a cambiar el aceite y engrasar allí donde haya engrasadores habilitados.

El aceite ha de cumplir una serie de condiciones y funciones, tales como:

- Evitar el contacto del metal con el metal para evitar el desgaste prematuro de las piezas.
- Actuar como sellador.
- Refrigerar
- Contener aditivos (dispersantes y neutralizantes)

El aceite que se ha incluido en el presupuesto del presente proyecto como el más adecuado para las funciones que se han detallado ha sido el tipo SAE 80W.

Las labores de cambio de aceite, se estima que, han de hacerse cada 200 horas de trabajo aproximadamente. Si bien, mencionar, que no es lo mismo 200 horas arando duro que 200 horas con remolque ligero.

Los filtros que limpian de impurezas que puedan aparecer en la transmisión se recomiendan cambiar cada dos cambios de aceite, es decir, cada 400 horas aproximadamente.

Otro tipo de mantenimiento puede realizarse en los sincronizadores de las cajas de cambios. Pero estas operaciones han de llevarse a cabo en un taller especializado y con mano de obra cualificada.

Estas labores suelen consistir en reponer los elementos más susceptibles de desgaste, como los acoples de los sincronizadores a las ruedas dentadas, las bridas y los frenos.

## **7.2 GRUPO CÓNICO Y DIFERENCIAL**

Las operaciones de mantenimiento que llevan consigo estos elementos no difieren en gran medida de las que se llevan a cabo en las cajas de cambio.

Se vuelve a insistir en la importancia del cambio de aceite en los periodos marcados a tal efecto.

Como sucedía en el apartado anterior, otro tipo de mantenimiento que puede llevarse a cabo en éstos mecanismos, pero que ha de hacerse por personal cualificado, puede consistir en la sustitución de rodamientos que no cumplan la función para la que han sido diseñados o de casquillos.

Como recomendación final para éste tipo de vehículos, comentar que si se transita por terrenos en los que el agua ha alcanzado el nivel del bloque que engloba la transmisión habrá que tener especial cuidado con la posible entrada de agua por las juntas. El agua, al ser más densa que el aceite se deposita en el fondo y puede que aparezcan síntomas de oxidación del bloque.

Es un problema difícil de detectar que puede saberse por un repentino aumento del nivel del aceite, como consecuencia de que hay agua en el fondo.