

Un ejemplo de Innovación Educativa en Ingeniería: Reconstrucción y animación gráficas, mediante Técnicas DAO, de la transmisión electrohidráulica de un tractor de 73,6 kw y estudio tecnológico de la misma.

GÓMEZ-ELVIRA GONZÁLEZ, Miguel Ángel ⁽¹⁾; BARREIRO ELORZA, Pilar ⁽²⁾; CRUZ CALZADO, Carolina ⁽³⁾

⁽¹⁾ UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. E.T.S.I. AGRÓNOMOS.
Dpto. de INGENIERÍA CARTOGRÁFICA, GEODESIA Y FOTOGRAMETRÍA. EXPRESIÓN GRÁFICA.
Cátedra de DIBUJO TÉCNICO
Ciudad Universitaria, s/n. 28040 MADRID
Teléfono: 91-3365809
C- Electrónico: miquelangel.gomezelvira@upm.es

⁽²⁾ UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. E.T.S.I. AGRÓNOMOS.
Dpto. de INGENIERÍA RURAL.
Cátedra de MOTORES Y MAQUINARIA AGRÍCOLA
Ciudad Universitaria, s/n. 28040 MADRID
Teléfono: 91-3363260
C- Electrónico: pilar.barreiro@upm.es

⁽³⁾ INGENIERA AGRÓNOMA por la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
Exalumna del TRABAJO FIN DE CARRERA de los profesores "Gómez-Elvira" y "Barreiro" durante el Curso 2006-2007
c/ Puerto de Maspalomas, 8 2º-2. 28029 MADRID
Teléfono: 661-446752
C- Electrónico: carolinacruz@terra.es

Palabras clave: Innovación. El DAO en la Actividad Docente. Demostración virtual transmisión electrohidráulica.

1. Introducción

Esta comunicación que presentamos en las VII JORNADAS SOBRE LA ACTIVIDAD DOCENTE E INVESTIGADORA EN INGENIERÍA AGROFORESTAL, es fruto de la realización de un Proyecto/Trabajo Fin de Carrera, en adelante TFC, realizado durante el Curso Académico 06-07 por la alumna de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid "Srta. Carolina Cruz Calzado" y tutorado por los profesores de la mencionada Escuela, pertenecientes a las unidades docentes de "Dibujo Técnico" y "Motores y Maquinaria Agrícola", Profesores "Gómez-Elvira" y "Barreiro" respectivamente. Asimismo dicho trabajo le sirvió a la Srta. Cruz para obtener su título de Ingeniera Agrónoma por la Universidad Politécnica de Madrid en la convocatoria de Septiembre de 2007, titulación que obtuvo con una magnífica calificación en su TFC: Sobresaliente.

2. Objeto del trabajo

El objeto de este trabajo no es otro que realizar una reconstrucción gráfica de una caja de cambios de un tractor, animarla gráficamente y realizar su estudio tecnológico en aras a diseñar una metodología docente innovadora para enseñar a los alumnos de Ingeniería Rural el funcionamiento de una transmisión. Este ejercicio de innovación también se ha diseñado, con trabajos similares, en el campo de las industrias agroalimentarias para los alumnos de esta orientación (almazaras, bodegas, etc.)

Esta metodología para la docencia se desea aplicar a la enseñanza de los alumnos de la E.T.S. de Ingenieros Agrónomos de Madrid, en las asignaturas correspondientes que imparte el Departamento de Ingeniería Rural: "Motores y Máquinas. Hidráulica" (asignatura troncal de 2º Curso) y "Tractores" (asignatura Optativa de la Orientación 6). Se pretende facilitar la comprensión del funcionamiento de la caja de cambios mediante animaciones tridimensionales realizadas con software de Dibujo Asistido por Ordenador. En este sentido la colaboración de la Cátedra de Dibujo Técnico ha sido esencial.

Asimismo, al tiempo que se consigue una colaboración entre Departamentos (en este caso Dibujo con Maquinaria Agrícola), también se logra una sinergia entre asignaturas de ciclos diferentes de la Carrera de Ingeniería Agrónoma: *Dibujo Técnico* pertenece al primer Ciclo y *Motores y Máquinas* al segundo.

3. Breve historia de los tractores

El término *mecanización agraria* indica la realización con máquinas de los trabajos que en el campo en otros tiempos se hacían con fuerza animal o mediante la actividad del hombre.

Dos son los objetivos básicos de la mecanización agrícola: Aumentar la productividad y mejorar la ergonomía del trabajo agrícola.

Muchas y muy variadas han sido las soluciones mecánicas encontradas por el hombre para trabajar en la agricultura, hasta el punto que hoy puede decirse que, en la mayoría de las actividades agrícolas, el ser humano ha dejado de ser el aporte energético, pasando a ser el controlador de la potencia requerida por las máquinas que él ha inventado.

De todas las máquinas desarrolladas por el hombre para la mecanización de la agricultura es, sin duda alguna, el tractor agrícola la más importante. Hoy, en la mayor parte del mundo, el tractor es un símbolo de evolución, gracias al cual el hombre ha pasado a ocupar una posición más próxima a la que merece, utilizando la energía que le ofrece la naturaleza en su provecho y en el de sus semejantes.

Instintivamente, cuando se escucha el vocablo tractor, inmediatamente se piensa en una máquina que efectúa tracción o arrastre. En los diccionarios el tractor se define como una máquina automotriz provista de dispositivos de adherencia y que dispone de un enganche para remolcar arados u otras máquinas o vehículos. Evidentemente hoy ésta es una definición ya incompleta pues, si bien en un principio los tractores agrícolas se dedicaron a reemplazar la tracción animal, en la actualidad son máquinas equipadas con dispositivos adicionales que los convierten en auténticas fuentes de energía, consiguiendo una polivalencia de uso que los hace insustituibles en toda la agricultura desarrollada.

Como todas las máquinas agrícolas, el tractor ha tenido una evolución y una adaptación gracias a la cual, hoy, son las máquinas más útiles en la agricultura; hasta tal punto, que son éstos, los tractores, las máquinas que sirven como índice que permite medir el grado de mecanización de la agricultura de los países.

Los primeros tractores construidos como máquinas autopropulsadas datan de 1.890, aunque los trabajos publicados en revistas y libros cuentan que ya en 1.810 se realizó un primer arado alternativo arrastrado por cable mediante dos máquinas de vapor situadas a ambos lados del arado que tiraban de él.

Las primeras máquinas de vapor no tenían sistema de tracción y sus aplicaciones agrícolas las hacían mediante transmisiones por correa. Los primeros tractores con motor de vapor aparecieron cuando se consiguió un sistema de transmisión a las ruedas del vehículo. La rodadura del tipo triciclo hizo más fácil el diseño, y aunque al principio las ruedas fueron lisas, más tarde, para mejorar la capacidad de tracción, se dotaron de tetones. Posteriormente para facilitar la rodadura, las ruedas se dotaron de nervaduras.



Fig. 1. Máquina de vapor para labores agrícolas situada en la E.T.S.I. Agrónomos. (Fuente propia)

Fue en la última década del siglo XIX cuando aparecieron los primeros tractores arados con motor de explosión. Los primeros tractores con motor de combustión interna no aparecieron hasta después de 1.890, cuando expiraron las patentes de Otto. Los primeros tractores construidos con motor de ciclo Otto se parecían enormemente

a los primitivos tractores accionados por máquinas de vapor, pero su potencia era mucho más elevada y su peso más reducido, aunque surgieron problemas debido a la reducida capacidad de tracción.

Para aumentar la capacidad de tracción los constructores se dedicaron a producir tractores grandes y pesados con ruedas de transmisión cada vez más anchas y con mayor diámetro, provistos de un sistema de rodadura con ruedas metálicas con banda de rodadura lisa y de gran anchura y diámetro, buscando, al aumentar la superficie de contacto rueda-suelo, mejorar la capacidad de tracción y con ello la potencia de tiro.

Las garras en la banda de rodadura de las llantas metálicas fueron, durante mucho tiempo, una solución mecánica simple y que de forma muy eficaz permitió incrementar la capacidad de tracción de los tractores, pero presentaban grandes limitaciones en lo referente a posibilidades de transporte por vías de circulación. Con esta limitación se construyeron muchos tractores, con motores de gasolina que además eran capaces de utilizar otros combustibles volátiles.

De hito puede considerarse la primera demostración de tractores en Omaha (Nebraska – EE.UU.). A ella, en 1.911, acudieron tractores más pequeños, más ligeros e incluso algunos con avanzados diseños sin bastidor. Como dato interesante, puede señalarse que los primeros tractores provistos de toma de fuerza aparecieron entre 1.915 y 1.919.

El aumento de la polivalencia de los tractores agrícolas llevó a desarrollar sus posibilidades de transporte. Así en 1.919 ya se construían tractores con motor monocilíndrico, se cubría la banda de rodadura de las ruedas metálicas con bandas de caucho provistas de nervaduras, lo que permitía hacer faenas de tracción y de transporte circulando por vías públicas.

Buscando aplicar a los tractores agrícolas las ventajas del ciclo Diesel, y de la reversibilidad de los motores de dos tiempos, en 1.921 se comenzaron a introducir tractores sencillos, robustos, de bajo precio, de reducido coste de funcionamiento y alta fiabilidad en su trabajo, provistos de un motor monocilíndrico con pistón horizontal que desarrollaban hasta 12 CV de potencia. Con velocidades máximas de funcionamiento de hasta 42 km/h en los que el avance o el retroceso lo determinaba el sentido de rotación del motor.

Los experimentos Coulomb permitieron demostrar lo que ya se intuía: la importancia de la doble tracción. En el año 1.929 apareció un tractor con motor de inyección, con tracción a las cuatro ruedas y con doble diferencial, que le permitía ofrecer mucha más potencia a la barra que otros tractores similares en peso y potencia. Su distribución de peso en vacío era de 1/3 en el eje trasero y 2/3 en el eje delantero, de forma que en condiciones de uso tenía una distribución de carga prácticamente igual en ambos ejes. Su motor, con ciclo Diesel, quemaba alquitrán, gasoil, grasas animales y vegetales, y se refrigeraba con agua.

Los tractores de cadena, por su parte, aparecieron con el fin de maximizar la capacidad de tracción, reducir la compactación del suelo y aumentar la estabilidad del tractor en terrenos con pendientes pronunciadas.

La utilización de neumáticos hinchables en la rodadura ofrecía notables ventajas, tanto en tracción, como en transporte. En esta línea, en 1.931, aparecieron en el mercado tractores con motor todavía de gasolina compuestos de seis cilindros y tracción simple con sistema de rodadura de neumáticos inflables.

En 1.938 se comercializaban tractores con una concepción especialmente adaptada a las plantaciones de frutales. Estos tractores contaban con una reducida envergadura en altura y una carrocería con un diseño que permitía circular sin enganches con las ramas bajas de los árboles.

Convencidos de un campo comercial importante, se introdujeron en el mercado tractores pequeños y se lanzaron en la década de los años treinta diversos modelos pensándose en el potencial de compra de los pequeños agricultores apegados aún a la tracción animal. También sirvieron estos modelos como tractor secundario para aquellos agricultores mecanizados para su utilización en labores con poca necesidad de potencia.

A comienzos de los cuarenta apareció una nueva aplicación de los tractores, las tomas de fuerza se normalizaron, lo que contribuyó al desarrollo de máquinas para ser accionadas por el tractor. También el equipo hidráulico fue adoptado en esta década por gran número de fabricantes, y se comercializaron tractores dotados de toma de fuerza, enganche en tres puntos y equipo hidráulico, que permitía ajustes en marcha eliminando la necesidad de cables y palancas de elevación de los aperos.

En la década de los cincuenta aparecieron tractores que ofrecían detalles que atendían a la comodidad de trabajo del conductor, tales como asientos mejorados, dirección hidráulica y gran habitáculo para la conducción.

Desde 1.975 se empezaron a utilizar las cabinas de seguridad con nivel bajo de ruidos y a partir de 1.982 se generalizó la doble tracción con amplio giro de las ruedas delanteras.

Desde entonces el tractor ha pasado de ser una máquina simple a poder llegar a ser extraordinariamente compleja según las aplicaciones a que se dedique: tractores con suspensión, cabinas de elevado confort, transmisión bajo carga, acoplamiento automático de aperos, control electrónico de diferentes funciones, etc.

A partir de 1.990 en los países más desarrollados se ha cambiado el concepto de fabricación en serie de los tractores por el de fabricación individualizada en función de la demanda del cliente.

4. Evolución de las transmisiones

Se consideran transmisiones al conjunto de elementos que aseguran la transferencia del par motor a los diferentes puntos en los que se tiene que utilizar.

Esta transmisión del movimiento se realiza modificando simultáneamente los dos factores que componen la potencia: *par motor* y *régimen de giro*, de manera que a las ruedas llegue el movimiento en las condiciones más favorables para el funcionamiento del tractor, es decir, proporcionando las fuerzas que demandan las labores a las velocidades de avance a las que éstas se deben ejecutar.

El accionamiento directo por el motor del eje de las ruedas motrices resulta imposible. La transmisión debe proporcionar una notable reducción. Esta reducción, denominada *relación de transmisión*, se expresa como el cociente entre "la velocidad de giro del cigüeñal del motor" y "la del eje de las ruedas motrices", o su equivalente: *número de vueltas del volante del motor por cada vuelta de la rueda motriz*.

Considerando que el intervalo de trabajo habitual del tractor agrícola está entre algo menos de 1 km/h y algo más de 30km/h, las relaciones de transmisión variarán entre valores de más 500:1 hasta de menos de 30:1. Además como consecuencia del movimiento continuo del motor térmico, hay que disponer de los correspondientes elementos de desconexión que permitan detener el movimiento para parar el vehículo o cambiar la relación de transmisión.

También la necesidad de dotar al tractor agrícola de tomas de fuerza y el accionamiento de los sistemas hidráulicos, obliga a establecer diferentes transmisiones (lo que se conoce como cadenas cinemáticas) con algunos elementos comunes para reducir el tamaño del conjunto y abaratar costes de producción.

Esto hace que en la mayoría de los casos se recurra a una transmisión formada por grupos separados, a veces en cajas independientes, como son: caja de cambios y reductoras, puente trasero y reducción final y caja de la toma de fuerza para conseguir en ella más de una velocidad nominal (*540-1.000 rpm*).

Tanto si se construyen las transmisiones formando un solo cuerpo como en bloques separados, el conjunto de las cajas que las contienen constituyen el cuerpo central de la estructura resistente del tractor (en ausencia del bastidor), actuando como una viga apoyada sobre los ejes y sometida a esfuerzos de flexión, compresión y torsión. Las tensiones que esto produce, unidas a los altos pares que se transmiten, como consecuencia de la elevada reducción, y a las condiciones externas (intemperie, condiciones atmosféricas polvorientas, etc.) hacen de las transmisiones el elemento más importante en el conjunto que constituye el tractor.

La caja de cambios constituye la primera parte de la cadena cinemática del motor a las ruedas. Ésta permite la variación de relaciones de transmisión en los tractores y se deriva de la que por años se ha utilizado en automoción. Al igual que en los automóviles y camiones, permite seleccionar las diferentes relaciones en función de la carga que demandan las labores y de la velocidad a la que se quiere circular; además, dispone de una posición de punto muerto y una relación, al menos, que permita desplazarse hacia atrás.

De acuerdo con la fuerza que exige la realización de una labor determinada, la misión de la caja de cambios, es la de adaptar a esa labor determinada, la velocidad de avance del tractor, de acuerdo con la fuerza exigida para dicha labor, y de manera que el aprovechamiento de la potencia del motor sea máximo. De aquí el por qué los tractores agrícolas actuales disponen de una caja de cambios con una gama amplia de velocidades. De esta manera pueden adaptar el complejo de velocidad de avance-fuerza de tracción a las exigencias de las diferentes labores que deben realizar en la explotación agraria.

Para ello, siguiendo el modelo de caja convencional, se dispone de un eje conocido como eje primario, o de entrada, que recibe el movimiento del motor a través del embrague, permitiendo que llegue a la caja, y otro eje,

conocido como eje secundario, o de salida, que transmite el movimiento desmultiplicado hasta el diferencial y el eje trasero.

Entre el primario y el secundario, existe otro eje conocido como eje intermediario, que proporciona apoyo a algunos de los engranajes para conseguir las diferentes relaciones de transmisión. La disposición relativa de los ejes puede ser diferente. En algunas cajas el número de ejes puede ser mayor. Todos estos ejes se encuentran apoyados sobre rodamientos, en un cárter con aceite que se encarga de la lubricación, bien por barboteo, bien forzada mediante bomba, de manera similar a lo que se hace en el motor.

La transmisión del movimiento entre cada dos ejes sucesivos se realiza por pares de engranajes que se conectan por desplazamiento o se encuentran permanentemente en contacto o toma constante, en cuyo caso la transmisión o interrupción del movimiento se consigue mediante al bloqueo o la liberación de los engranajes con respecto al eje que lo soporta.

En cualquier caso la velocidad de salida de la caja, en relación con la de entrada, depende del número de pares de engranajes que componen la cadena cinemática y de la relación entre el número de dientes de cada par de ruedas que engranan entre sí. Normalmente la *relación de transmisión* se expresa como el cociente entre el número de vueltas del eje de entrada por cada vuelta del eje de salida.

Existen varios tipos de cajas de cambios y diversas maneras de clasificarlas. Hasta el momento en que no se habían desarrollado sistemas de control electrónico, la distinción entre ellas era mucho más sencilla e intuitiva ya que describía su construcción y funcionamiento. En tanto que se han desarrollado sistemas de control electrónico para cajas, se da la paradoja que existen cajas manuales con posibilidad de accionamiento manual y cajas automáticas con posibilidad de intervención manual. La clasificación en función de su accionamiento es una de las clasificaciones aceptadas por mayor número de autores:

Manuales o mecánicas: Tradicionalmente se denominan cajas mecánicas a aquellas que se componen de elementos estructurales (carcasas y mandos) y funcionales (engranajes, ejes, rodamientos, etc.) de tipo mecánico. En este tipo de cajas de cambio la selección de las diferentes velocidades se realiza mediante mando mecánico, aunque éste puede estar automatizado.

Los acoplamientos en el interior se realizan mediante mecanismos compuestos de balancines y ejes guiados por cojinetes. El accionamiento de los mecanismos internos desde el exterior de la caja se realiza mediante cables flexibles no extensibles o varillas rígidas.

Las distintas velocidades de las que consta la caja están sincronizadas. Esto es, 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.

Automáticas (*Power Shift*): El funcionamiento de un tractor con caja de cambios convencional, exige desembragar el motor cada vez que se debe cambiar la velocidad o marcha. Esto provoca una interrupción momentánea de la potencia transmitida a las ruedas que, durante el trabajo, plantea bastantes inconvenientes ya que el tractor se frena, e incluso se para, y para volver a moverse es necesario muchas veces elevar el apero con lo que la labor es irregular. En cualquier caso, es necesario que el embrague soporte una fuerte sobrecarga en el momento de iniciar el movimiento, produciendo un desgaste prematuro del mismo. Además, hay un aumento de los tiempos muertos con lo que disminuye la eficiencia en el trabajo realizado.

Para evitar estos problemas, hoy en día en muchos tractores se montan en su transmisión cajas de cambio automáticas, también llamadas *Power Shift*, o semiautomáticas, *Semi Power Shift*. Se trata de cambios en los que no es necesario pisar el pedal del embrague para cambiar de marcha.

Fundamentalmente existen dos grandes tipos de cambios automáticos: el primero de ellos se basa en los trenes de engranajes planetarios o solares, mientras que en el segundo la conexión entre piñones y ejes se efectúa mediante embragues multidisco de accionamiento hidráulico.

Por lo que respecta al primer grupo, se trata de un grupo reductor de mando hidráulico en el que un tren de engranajes planetarios permite reducir la velocidad sin necesidad de embragar. En la

mayoría de los casos el diseño no es exactamente enlazar dos trenes planetarios simples, sino combinar sistemas planetarios en los denominados trenes múltiples, para conseguir tres o cuatro velocidades, e incluso la marcha atrás, a base de piñones (planetarios, satélites, corona), embragues y frenos, éstos con accionamiento hidráulico.

En cuanto a los del segundo tipo, los sincronizadores que habitualmente llevan las cajas convencionales, se sustituyen por embragues multidisco de accionamiento hidráulico y, según el diseño, podemos obtener tres o cuatro velocidades sin embrague, incluida la marcha atrás.

Normalmente, tanto en un tipo como en otro, la entrada y salida del aceite a presión de los accionamientos hidráulicos se controla mediante electroválvulas, lo que simplifica mucho el manejo del cambio y, además, permite la colocación en el sistema de un procesador electrónico que, teniendo en cuenta la velocidad a que giran los ejes y la carga a que están sometidos en el momento del cambio, regula la acción de las electroválvulas para evitar sobrecargas y averías en el cambio de velocidades.

5. La transmisión electrohidráulica del tractor New Holland TS100

5.1. Características generales

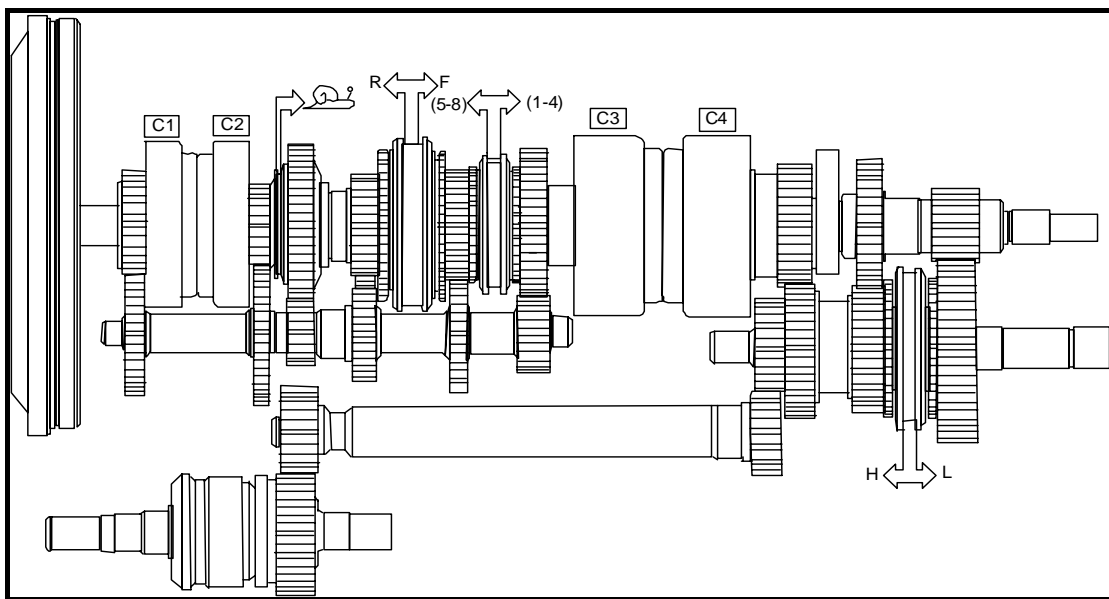


Fig. 2. Transmisión New Holland TS100. (Fuente: Unidad Docente de Motores – E.T.S.I.A.)

Este sistema de transmisión consta de dieciséis marchas adelante y dieciséis atrás constituida por cuatro embragues electrohidráulicos y tres conjuntos de cambio sincronizado. Los cuatro embragues electrohidráulicos son de tipo multidisco en baño de aceite, con giro constante, están lubricados y aplicados por presión y sueltos por muelle.

Los embragues C1 y C2 colocados en el eje primario en la posición más cercana al amortiguador, están formados por cuatro discos de fricción y cuatro discos metálicos respectivamente en cada uno de ellos. Los embragues C3 y C4, situados cerca de la salida del eje de la toma de fuerza, están formados por ocho discos de fricción y ocho discos metálicos respectivamente.

Esta transmisión posee un amortiguador de volante pero no tiene un embrague convencional.

En modelos existe un sincronizador adicional con control electro hidráulico. En este caso se dispone de una gama adicional de supercortas, dando un total de 24+24 marchas.

El procesador permite un control exacto, por medio de las válvulas Moduladoras de Amplitud de Impulso (PWM) de los cuatro embragues de disco en baño de aceite. Esto también permite las operaciones de inversor sin embrague, ajustar la velocidad de las marchas, el cambio secuencial *powershift* y una lógica de marchas largas. Consta de tres sincronizadores de cono de fricción, los sincronizadores de adelante-atrás y el de las marchas, situadas en el eje primario y el sincronizador de gamas situado éste en el eje secundario.

5.2. Elementos constitutivos

5.2.1. Engranajes

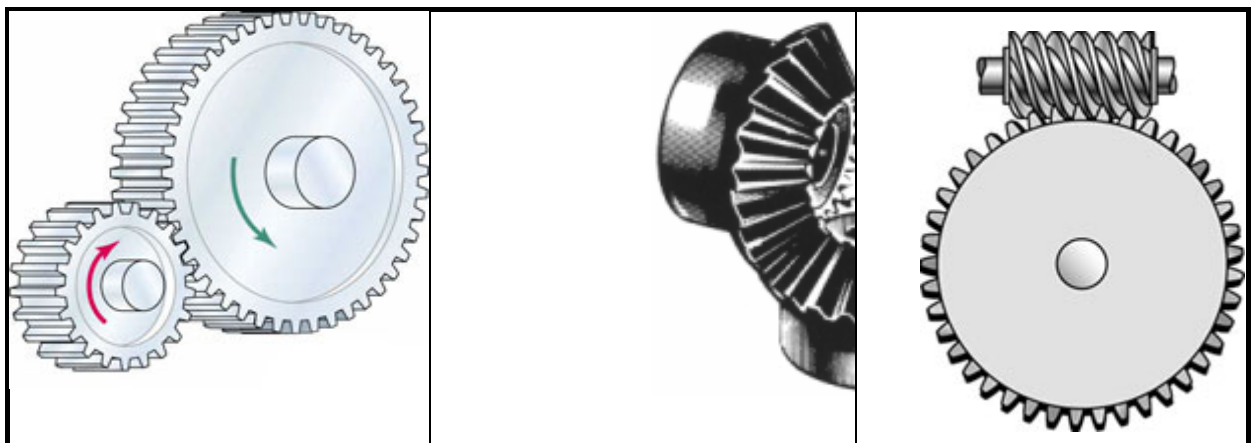
Se denomina engranaje al mecanismo utilizado para transmitir potencia mecánica entre las distintas partes de una máquina. Los engranajes están formados por dos ruedas dentadas que transmiten movimiento una a otra; la que transmite el movimiento se llama rueda conductora y la que es movida por ésta, se denomina rueda conducida.

Cuando las ruedas son de diámetros muy distintos, como ocurre en la transmisión que nos ocupa, a la menor se la denomina piñón y a la mayor, corona.

La función de un engranaje es transmitir movimiento, rotacional o alternativo, de un miembro de una máquina a otro, reduciendo o aumentando la velocidad de un eje. Los engranajes son cilindros o conos con dientes en sus superficies de contacto que garantizan un movimiento entre ellos.

Existen muchas clases de engranajes que pueden agruparse de acuerdo a la posición relativa de los ejes que conectan entre sí, en:

- Rectos, que conectan ejes paralelos y son los disponibles en la transmisión que nos ocupa. (Fig. 3: 3.1).
- Cónicos: que vinculan ejes con líneas centrales que se interceptan. (Fig. 3: 3.2).
- De tornillo sin fin que conectan ejes cuyas líneas centrales no se interceptan. (Fig. 3: 3.3).



3.1

3.2

3.3

Fig. 3. Tipos de engranajes según posición relativa de los ejes que conectan entre sí: 3.1 Rectos. 3.2 Cónicos. 3.3 Tornillo sin fin. (Fuente: internet)

El diseño de engranajes es complicado y atañe aspectos de resistencia, desgaste y así como de selección de materiales. Generalmente un delineante selecciona un engranaje a partir de catálogos comerciales. La mayoría de los engranajes se fabrican de hierro fundido o acero, pero también se fabrican de latón, bronce o fibras, cuando se tienen en cuenta factores como desgaste y ruido.



Fig. 4. Detalle de algunos engranajes de la transmisión. (Fuente propia)

Fórmulas para el cálculo de los engranajes

Aunque modernamente, el cálculo de los engranajes se suele hacer en función del desgaste para un número de horas de vida o duración del material empleado. En este TFC hemos optado por calcular los engranes por el procedimiento clásico, esto es, a partir del módulo y partiendo de la base de que la distancia entre ejes de la transmisión se mantiene constante independientemente de los piñones implicados. Sabiendo que la distancia entre ejes (a) es la suma de los radios de las respectivas circunferencias primitivas, y utilizando el dato de partida del número de dientes (Z) que posee cada engranaje hemos deducido los módulos (m) a partir de la expresión que relaciona el radio primitivo con el módulo y el número de dientes, donde el diámetro primitivo es el resultado del producto entre el número de dientes y el módulo.

$$a = m \cdot \frac{Z_1 + Z_2}{2} \quad \text{Ec. 1.: Cálculo de la distancia entre ejes de dos engranajes}$$

Una vez obtenido el módulo a partir de esta relación, el cálculo tanto de los diámetros exterior, interior y primitivo como el de los demás valores característicos, se realiza a partir de las siguientes ecuaciones, donde p es el paso del engranaje.

$$D_{\text{exterior}} = m \cdot (Z + 2) \quad \text{Ec. 2.: Cálculo del diámetro exterior de un engranaje}$$

$$D_{\text{primitivo}} = m \cdot Z \quad \text{Ec. 3.: Cálculo del diámetro primitivo de un engranaje}$$

$$D_{\text{interior}} = D_{\text{primitivo}} - 2h \text{ con } h=2,166p \quad \text{Ec. 4.: Cálculo del diámetro interior de un engranaje}$$

$$e = 0,4875 \cdot p \quad \text{Ec. 5.: Cálculo del espesor de un diente de un engranaje}$$

$$H = 0,5125 \cdot p \quad \text{Ec. 6.: Cálculo del hueco de un diente de un engranaje}$$

$$C = 0,3 \cdot p \quad \text{ó también } C=m \quad \text{Ec.7.: Cálculo de la cabeza de un diente de un engranaje}$$

$$q = 0,38 \cdot p \quad \text{ó también } q = 1,16 \cdot p \quad \text{Ec. 8.: Cálculo del pie de un diente de un engranaje}$$

$$L = 3 \cdot p \quad \text{ó también} \quad L = 10 \cdot m$$

Ec.9.: Cálculo de la longitud de un diente de un engranaje

5.2.2. Rodamientos o cojinetes.

Recibe el nombre de cojinete, la superficie, cilíndrica cóncava en que se apoya un eje para girar. Si el apoyo es directo, el cojinete se dice que es plano. En los mecanismos de transmisión, el apoyo de los ejes sobre sus cojinetes se realiza por intermedio del cojinete de bolas (Fig. 5.2), rodillos (Fig. 5.3) o agujas (Fig. 5.1), también llamados rodamientos. Este procedimiento tiene la ventaja de que el rozamiento del eje sobre su cojinete se sustituye por el rodamiento, que consume mucha menos energía y reduce sensiblemente los calentamientos.

Los rodamientos están constituidos por dos pistas, una interior en la que el eje que ha de girar va ajustado a presión, y otra pista exterior acoplada a la superficie cilíndrica cóncava en la que ha de girar el eje. Éste, el eje, con su giro arrastra con él la pista interior produciendo el rodamiento de las bolas o rodillos entre las superficies internas de ambas pistas. Estas bolas o rodillos se alojan en los correspondientes surcos interiores de ambas pistas y en algunos casos pueden disponer de unas a modo de jaulas o cestas que mantienen las bolas alojadas en ellas. Estas jaulas mantienen las bolas o rodillos uniformemente separados evitando que se toquen entre sí en los puntos en que sus velocidades relativas son máximas. Cuando los rodillos son de poco diámetro y gran longitud los cojinetes reciben el nombre de rodamientos de agujas.

Toda vez que las bolas, rodillos o agujas han de soportar el peso y esfuerzo de los ejes a los que sirven de apoyo, han de realizarse de aceros de gran resistencia mecánica, principalmente a base de aceros especiales al cromo-níquel y sometidos a los necesarios tratamientos térmicos, para darles mayor dureza y resistencia.

Tanto las bolas, rodillos o agujas, como el interior de las pistas, han de estar debidamente lubricadas generalmente por el mismo aceite que lubrica los engranajes constituyentes de la caja de transmisión. Cuando se prevén cargas de impacto o cuando se necesitan rodamientos muy grandes, se emplean usualmente rodamientos de rodillos cilíndricos y cónicos.

Un rodamiento de bolas se compone usualmente de cuatro partes: un anillo interior, un anillo exterior, las bolas y la caja o jaula. Para aumentar el área de contacto y permitir absorber cargas mayores, las bolas corren por pistas curvilíneas existentes en los anillos. El radio de esta muesca es ligeramente superior al de la bola. De esta forma se hace posible que el cojinete absorba pequeños defectos de alineación en el conjunto del montaje. La jaula mantiene las bolas uniformemente separadas y evita que se toquen entre sí entre los puntos en que sus velocidades relativas son máximas.



5.1

5.2



5.3

Fig. 5. Detalle de rodamientos: 5. 1. Rodamiento de agujas. 5. 2. Rodamiento de bolas. 5. 3. Rodamiento de cilindros. (Fuente propia)

5.2.3. Eje de la toma de fuerza

La toma de fuerza, a partir de ahora *tdf*, transmite la fuerza del motor directamente a un implemento suspendido o arrastrado a través de un eje estriado situado en la parte trasera del tractor. Además de la función anteriormente descrita, puede también usarse como sustituto de la polea.

Para el accionamiento de máquinas acopladas al tractor, la transmisión del movimiento es realizado a través de la *tdf* del tractor y de un árbol de transmisión articulado mediante dos juntas, "cardan", telescópico, denominado eje cardánico.

Hasta el año 1.958, la única velocidad normalizada para la *tdf* de los tractores agrícolas era *540 rpm*. Con la aparición de tractores de gran potencia y con motores de elevada velocidad de giro, esta velocidad resultaba demasiado lenta para transmitir la potencia requerida, dado que el par resultaba excesivo y las pérdidas eran elevadas. Por ello, en dicho año se adoptó una segunda velocidad normalizada, la de *1.000 rpm*.

La velocidad del eje de salida puede reducirse a *540 rpm* para los equipos diseñados para trabajar con un eje de seis estrías y a *1.000 rpm* para los equipos que trabajan con el eje alternativo de veintiuna estrías.

En la transmisión objeto de este trabajo, se ha instalado una *tdf* con eje estándar de seis estrías para trabajos a *540 rpm*. que es la que corresponde al tractor que nos ocupa.

Las *tdf* pueden dividirse en varios tipos según varios criterios: posición con respecto el tractor, modo de recibir el movimiento y forma, estando unido este último criterio al de la velocidad de giro.

En cuanto a su posición, normalmente la *tdf* está situada en la parte trasera del tractor, aunque también existen *tdfs* en la parte ventral o media y en la parte delantera. El sentido de rotación de la toma de fuerza trasera es a derechas, es decir el mismo de las agujas de un reloj (el mismo que normalmente lleva el motor) cuando uno está situado en la parte posterior del tractor. Las *tdfs* delanteras tienen generalmente el mismo sentido de giro que las traseras, es decir, mirando desde la parte delantera deben girar a izquierdas. En relación a este aspecto la *tdf* en este trabajo, de reconstrucción y animación gráficas, está situada en la parte trasera del tractor.

5.2.4. Sincronizadores

En toda transmisión con cambio sincronizado de las marchas, el momento de engranar los piñones al efectuar el cambio de marchas sigue siendo ruidoso y expuesto a choques. Fuertes rozamientos, desgastes, roturas y dificultad para cambiar de marcha. Este cambio se mejora, igualando en el momento del cambio, las velocidades del desplazable y de los engranajes de directa.

La misión de los sincronizadores pues, es ésta, igualar las velocidades de rotación del piñón que ha de enclavarse y del piñón que ha de transmitir el giro, con el fin de que en el momento de realizarse el acople ambos piñones se encuentren girando a la misma velocidad. De lo contrario, el acople se realizará con mayor dificultad produciendo ruidos y roces poco convenientes.

El funcionamiento del cambio sincronizado, se realiza en dos fases: la primera de estas fases, o fase de sincronizado, se realiza partiendo de la posición de punto muerto; al desplazar la palanca de cambio la horquilla desliza el desplazable sobre la corona y ésta arrastra al piñón de sincronización hasta que su cono interior entra en contacto con el cono de sincronización.

Al contactar los dos conos la fricción entre ellos hace que alcancen una misma velocidad de giro. Al seguir deslizándose el desplazable éste engranará con toda facilidad con el piñón lateral, siendo ésta la segunda fase o fase de engranado, ya que ambos giran a igual velocidad después de la fase de sincronizado.

Aunque las cajas de cambios sean sincronizadas es conveniente, al reducir la velocidad, hacer el doble embrague pues con ello se alarga considerablemente la duración de sus mecanismos de sincronización.

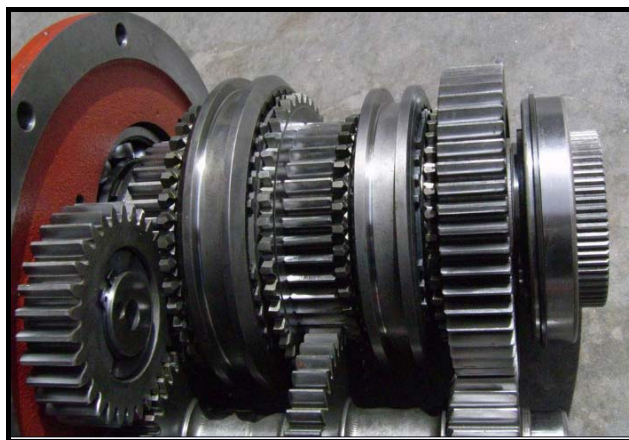


Fig. 6. Detalle del eje primario con sincronizadores R-F y sincronizador (1...4)-(5...8). (Fuente propia)

5.2.5. Embragues multidisco

La potencia que es capaz de transmitir un embrague depende de las características de los forros y de la superficie de éstos. Al objeto de aumentar la capacidad de los mismos, a la vez que se reduce su tamaño, aparecen en los tractores los embragues multidisco en los que la conexión motor-transmisión se efectúa a través de varios discos en lugar de uno sólo como en el embrague convencional. A la vez, el accionamiento del embrague pasa a ser hidráulico aprovechando las prestaciones del sistema hidráulico del tractor y facilitando la labor del agricultor.

Este embrague dispone, en su eje motriz, de una zona más ancha, que se denomina eje interior, con estrías en su parte exterior. El eje conducido está unido a una corona exterior que tiene estriada su parte interior. Entre estas dos piezas, corona y eje, existen dos tipos de discos: unos discos de embrague provistos de forros en sus dos caras, con la parte central *mandrinada* que engrana con el eje interior, y otros discos metálicos, intercalados con los anteriores, con ranuras en su parte periférica con las cuales engranan con la corona exterior.

En un extremo de la corona exterior existe un tope que impide la salida de los discos. En el otro extremo lleva en su interior un plato de presión que actúa a modo de émbolo de un sistema hidráulico. Este plato se mantiene en su posición por la fuerza desarrollada por un muelle de recuperación.

Para embragar los dos ejes, el mecanismo de embrague abre una válvula que deja pasar aceite a presión desde el sistema hidráulico por el conducto correspondiente, con lo que el plato opresor comprime los discos, unos contra otros. Al estar conectados alternativamente a distinto eje la presión los solidariza y hace que pase el movimiento desde el eje motriz al conducido.

Cuando se quiere desembragar, se deja salir el aceite a presión hasta el depósito con lo que el muelle de recuperación empujará al plato opresor quedando sueltos los discos que, por ello dejarán de transmitir movimiento. El eje conducido se parará.

El diseño de estos embragues consiste en unos muelles de presión encargados de mantener los ejes embragados, como en el embrague convencional, y el aceite a presión se encarga de la operación de desembragado al vencer la presión de los muelles. Estos embragues pueden llevar también un mecanismo de accionamiento de tipo mecánico, similar al de un embrague convencional.

Los embragues multidisco de accionamiento hidráulico suelen estar presentes en los tractores, además de en el embrague principal, en los de la *tdf* y en los bloques del diferencial, tanto trasero como delantero.

En muchos casos, este embrague está sumergido en un baño de aceite, que enfría los discos del calor producido por el rozamiento, aumentando su efectividad. Los forros de embrague tienen, en este caso, un diseño especial, con ranuras para eliminar el aceite que queda en ellos y evitar que el embrague patine.



Fig. 7. Detalle de los componentes de una de las parejas de embragues multidisco. (Fuente propia)

5.2.6. Amortiguador

Su misión, en la transmisión, es conectar o desconectar el movimiento de giro del cigüeñal a la caja de cambios. Está formado por un disco de acero con unos cortes radiales en su periferia que forman una especie de lengüetas o segmentos circulares dobladas en dos sentidos, que mejoran el cumplimiento de su función. Va unido a un platillo y entre ambos se colocan unos muelles que le confieren la deseable elasticidad. El platillo lleva un mango estriado para su acoplamiento al árbol primario.

Al disco, por medio de remaches o bien pegados, van sujetos los *forros*. Las cabezas de los remaches, para evitar que rocen con la superficie del volante y plato de presión, van embutidos en los forros. Estos forros actúan por rozamiento y son los encargados de transmitir el movimiento del volante de inercia sin deslizamiento, por lo que su material debe tener un alto coeficiente de rozamiento.

El *plato opresor*, situado entre el volante de inercia y la carcasa, sirve para el acoplamiento del disco de embrague al volante de inercia. El plato está constituido por un disco de acero, en forma de corona circular, con espesor suficiente como para no deformarse y conseguir una presión uniforme de contacto de los forros del disco de embrague. Sobre este plato actúan unos muelles, como es el caso del amortiguador presente en la transmisión a estudio, o en otros casos un diafragma de acero; en otros casos es desplazado de forma automática.

En nuestra transmisión una serie de muelles, repartidos uniformemente sobre la periferia del plato opresor, actúan sobre él, y como tiene gran espesor, permite que la presión sea constante en toda la corona circular de los forros, con lo que su desgaste será uniforme.

El amortiguador dispone de un elemento capaz de evaluar la demanda de par a nivel del diferencial. Este dispositivo de aspecto análogo a las manecillas de un reloj, se desplaza cuando los muelles transversales del amortiguador se deforman. Cuando esta deformación es de considerable magnitud, esta manecilla entra en contacto con las cabezas de unas tuercas, que hacen de contacto eléctrico y que sirven de señal indicadora bien para un cambio automático, o bien para un luminoso en el panel de control que recomienda la realización de un cambio de marchas, de manera que la demanda de par disminuya y los muelles transversales recuperen su posición inicial.

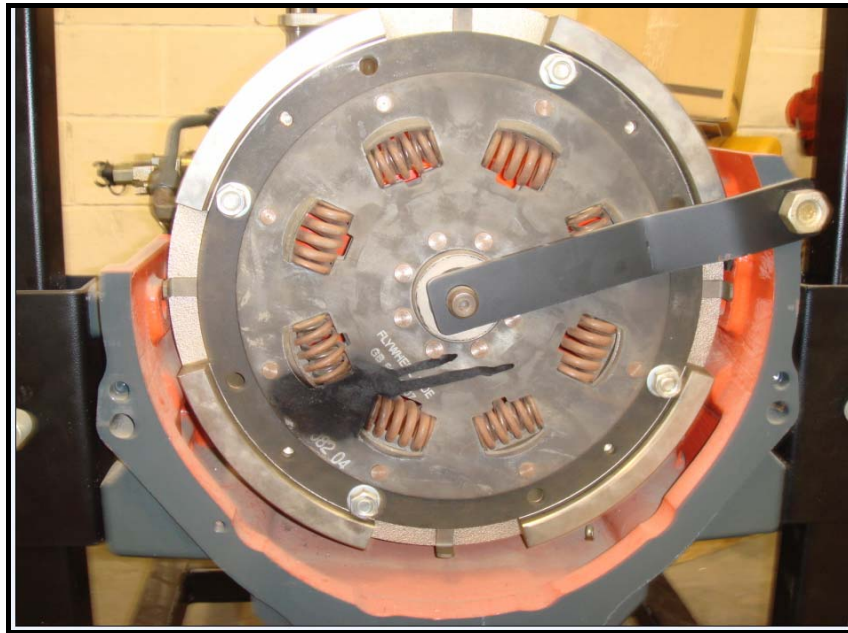


Fig. 8. Detalle del amortiguador. (Fuente propia)

6. Esquema sinóptico de la transmisión objeto del trabajo

En este apartado, a partir del esquema sinóptico de la transmisión, se ha querido simplificar el entendimiento del funcionamiento de la transmisión a estudio y así facilitar el estudio y reconstrucción gráfica de la misma.

Este esquema ha sido realizado a partir del plano adjunto en el manual técnico y ha sido dibujado mediante el programa de diseño gráfico, *freehand MX* de *macromedia*.

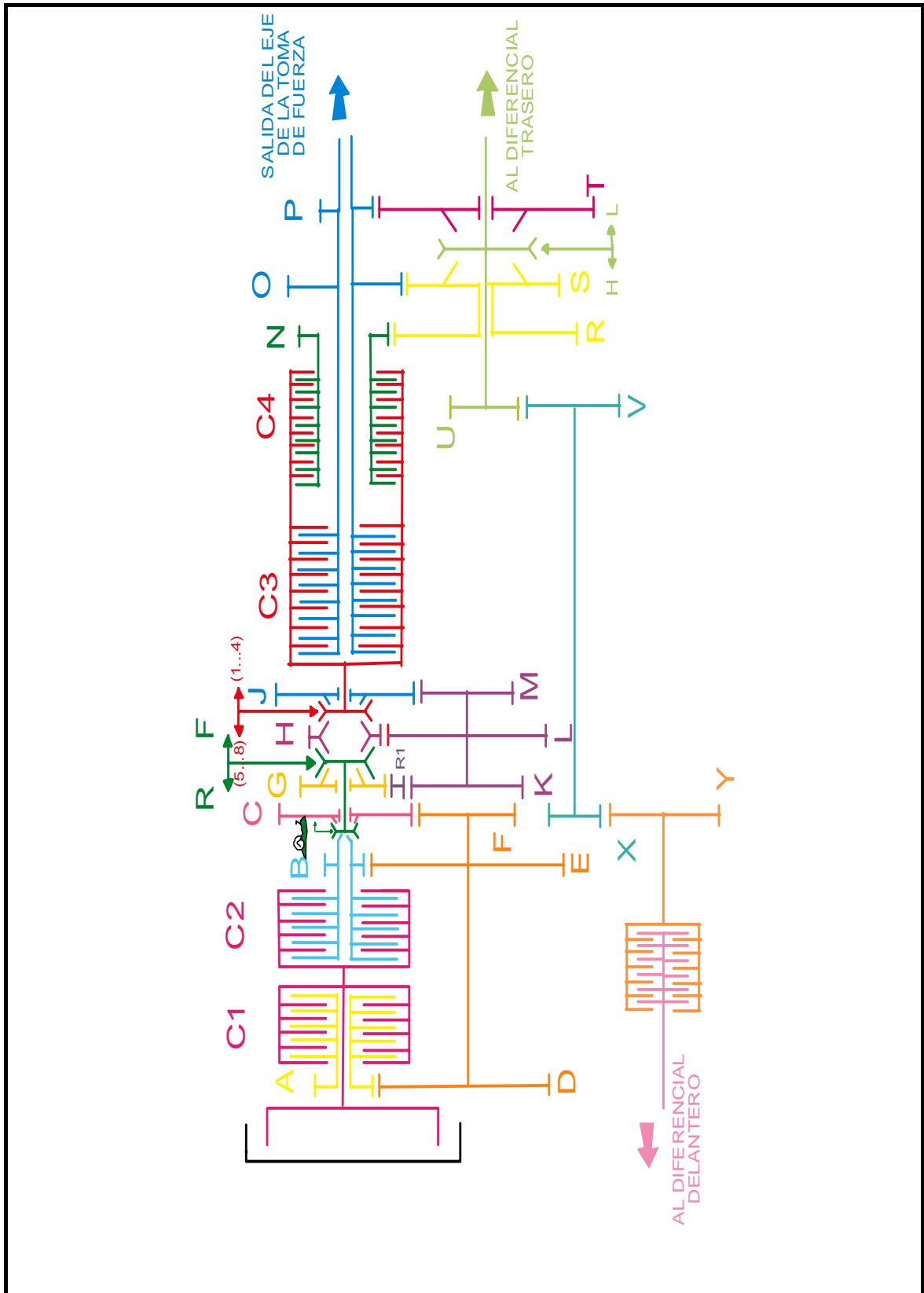


Fig. 9. Esquema sinóptico de la transmisión a estudio. (Fuente: Unidad Docente de Motores y Maquinaria Agrícola de la ETSIA)

8. Cálculo de las relaciones de transmisión.

Mediante los dos apartados anteriores se ha realizado el cálculo de las relaciones de transmisión de las veinticuatro marchas adelante y las veinticuatro atrás.

Las dos primeras tablas, se corresponden con el valor de la relaciones de transmisión para las diferentes marchas a una velocidad de 40 km/h.

Tabla 5. Relaciones de transmisión a 40 km/h. (Elaboración propia)

| | ADELANTE | |
|--------|----------|--------------------|
| MARCHA | GAMA | RELACIÓN DE CAMBIO |
| 1 | S R | 43.42 |
| 2 | S R | 35.36 |
| 3 | S R | 29.06 |
| 4 | S R | 23.66 |
| 5 | S R | 18.39 |
| 6 | S R | 14.98 |
| 7 | S R | 12.31 |
| 8 | S R | 10.02 |
| | | |
| 1 | CORTAS | 8.55 |
| 2 | CORTAS | 6.97 |
| 3 | CORTAS | 5.72 |
| 4 | CORTAS | 4.66 |
| 5 | CORTAS | 3.62 |
| 6 | CORTAS | 2.95 |
| 7 | CORTAS | 2.42 |
| 8 | CORTAS | 1.97 |
| | | |
| 1 | LARGAS | 2.08 |
| 2 | LARGAS | 1.69 |
| 3 | LARGAS | 1.39 |
| 4 | LARGAS | 1.13 |
| 5 | LARGAS | 0.88 |
| 6 | LARGAS | 0.72 |
| 7 | LARGAS | 0.59 |
| 8 | LARGAS | 0.48 |

| | ATRÁS | |
|--------|--------|--------------------|
| MARCHA | GAMA | RELACIÓN DE CAMBIO |
| 1 | S R | 43.82 |
| 2 | S R | 35.68 |
| 3 | S R | 29.32 |
| 4 | S R | 23.88 |
| 5 | S R | 18.55 |
| 6 | S R | 15.11 |
| 7 | S R | 12.42 |
| 8 | S R | 10.11 |
| | | |
| 1 | CORTAS | 8.63 |
| 2 | CORTAS | 7.03 |
| 3 | CORTAS | 5.78 |
| 4 | CORTAS | 4.70 |
| 5 | CORTAS | 3.66 |
| 6 | CORTAS | 2.98 |
| 7 | CORTAS | 2.45 |
| 8 | CORTAS | 1.99 |
| | | |
| 1 | LARGAS | 2.10 |
| 2 | LARGAS | 1.71 |
| 3 | LARGAS | 1.40 |
| 4 | LARGAS | 1.14 |
| 5 | LARGAS | 0.89 |
| 6 | LARGAS | 0.72 |
| 7 | LARGAS | 0.59 |
| 8 | LARGAS | 0.48 |

9. Reconstrucción y animación gráficas de la transmisión estudiada

En este punto se describe el proceso de reconstrucción gráfica de la caja de cambios, así como los pasos que se han seguido para conseguir su animación con las distintas relaciones de cambio.

La reconstrucción gráfica consta de una serie de pasos comunes a todos los elementos que son:

- 1.- Identificación y trazado de las figuras geométricas y líneas de revolución base.
- 2.- Extrusionado: supone dotar dichas figuras de superficie de un volumen mediante sucesivos procesos de integración.
- 3.- Sustracción, adicción y unión de figuras tridimensionales para obtener el volumen final deseado de cada pieza.
- 4.- Colocación en el contexto general de la transmisión.

9.1. Trazado de los elementos constructivos

En este apartado se expone la metodología utilizada para el trazado de cada una de las piezas constitutivas de la transmisión. El orden utilizado para su exposición ha sido el mismo que se ha seguido al dibujarlas. En este mismo orden se expusieron en su descripción del apartado 8.

Como la explicación detallada del dibujo de todas estas piezas no es posible en el espacio razonable de una comunicación (sí se realizó en el TFC), solamente explicamos el método de dibujo empleado en los *engranajes* (apartado 9.1.1) y para el resto de piezas nos limitaremos a exponer sus dibujos *alámbricos* en *2D* y *renderizados* en *3D*.

9.1.1. Engranajes

Para el trazado de cada uno de los 23 engranajes que componen la transmisión a estudio, se realizó un primer paso esencial, que consiste en la identificación y dimensionado de cada uno de ellos, trabajo laborioso ya que el único dato de partida que se posee es el número de dientes de cada engranaje.

Ayudados con el manual de taller de la transmisión del tractor de New Holland TS100, se intentó guardar una correspondencia entre las medidas reales y las medidas de los planos, presentes en dicho manual.

Una vez determinados todos los elementos de cada uno de los engranajes (módulo, paso, espesor, diámetros, etc.) mediante las fórmulas expuestas en el apartado 5.2.1, se procedió al dibujo de los engranajes y el trazado de cada diente, a partir del procedimiento de trazado con perfil de envolvente.

Los pasos seguidos en el trazado de los engranajes constitutivos de la transmisión a estudio han sido:

Paso a: Obtención de envolventes.

Mediante el trazado de las respectivas circunferencias primitivas (tangentes entre sí) y las distintas circunferencias exteriores e interiores de cada rueda. Se realizó el trazado de la tangente común a las dos circunferencias primitivas y sobre ella el trazado del ángulo de presión de los dientes. Este ángulo se ha fijado en 20° , debido a sus características de operación suave y silenciosa, por su mayor capacidad de transmisión y por el menor número de dientes afectados por bajo maquinado, en comparación al empleo de 15° como ángulo de presión.

Seguidamente se realiza el trazado de las tangentes a esta recta desde los centros de las dos ruedas, obteniéndose gráficamente los puntos A y B que a su vez, determinan los radios de las respectivas circunferencias base, por las que posteriormente se realizaría el trazado de las respectivas envolventes.

Estas envolventes son curvas que describen el punto de una recta que gira sobre una circunferencia. Esta curva es la que describe la mano que desenrolla, manteniéndolo tirante, el hilo de un carrete. (Fig. 10. Paso a).

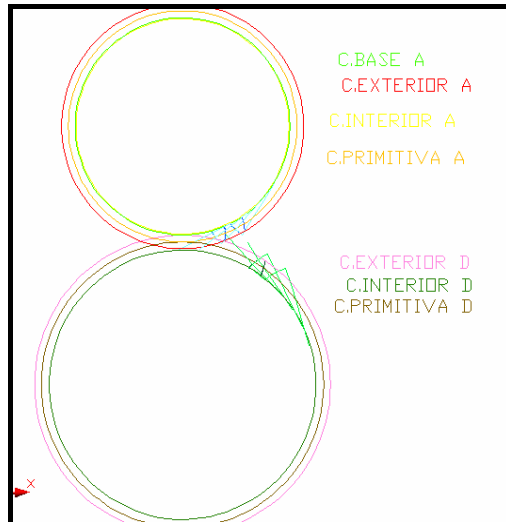


Fig. 10. Paso a

Paso b: Trazado de envolventes.

Para el trazado de la envolvente, se divide la circunferencia base en tantos puntos como dientes tiene cada engranaje, por cada uno de ellos, se trazan las tangentes, y sobre éstas, se transportan las longitudes de circunferencia desenrolladas hasta allí. A partir de este método de trazado de envolventes se elabora una curva; la parte de esta curva comprendida entre el diámetro interior y exterior aporta el perfil deseado. (Fig. 10. Paso b).

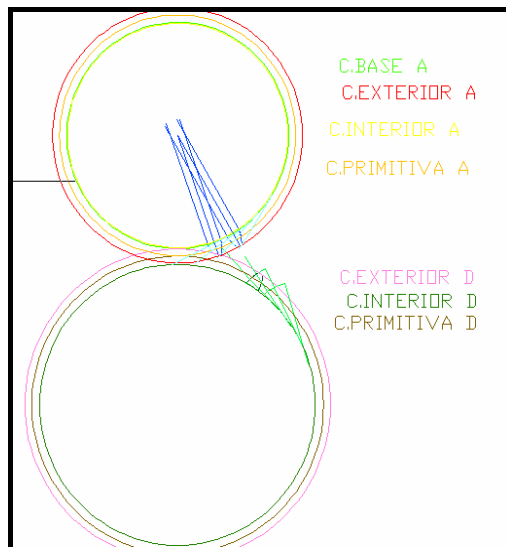


Fig. 10. Paso b

Paso c: Trazado del perfil del diente.

A partir del perfil obtenido en el paso anterior y mediante una simetría con desplazamiento de valor igual al espesor de cada diente, se consigue gráficamente la otra superficie lateral del diente. Empleando los dos laterales de uno de los dientes de que consta cada engranaje, se realiza una matriz polar, siendo el número de elementos a rellenar igual al número de dientes del engranaje y el ángulo el de la circunferencia exterior de cada engranaje. (Fig. 10. Paso c).

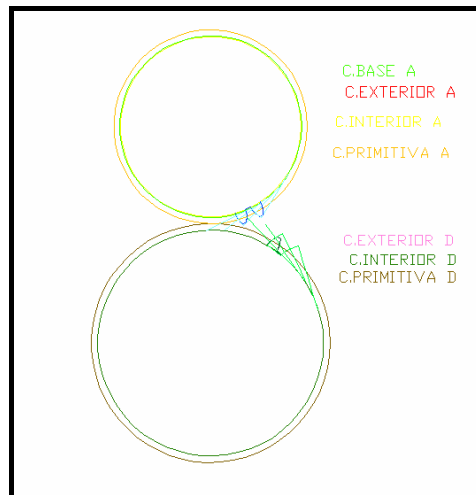


Fig. 10. Paso c

Paso d: Trazado del engranaje.

Tanto el trazado de las envolventes como los tramos comprendidos entre las circunferencias interiores y base se realiza con *polilneas*, así se permite posteriormente una modificación de la unión entre ellas. Hay que unir todos los dientes en una única poligonal, requisito imprescindible para luego poder extrusionar las piezas y convertirlas a tres dimensiones. (Fig. 10. Paso d).

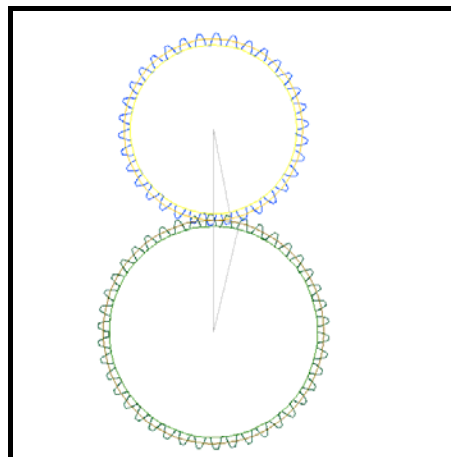


Fig. 10. Paso d

Paso e: Engrane de los dientes.

Como paso final, antes de la extrusión, se realiza un giro con referencia de la corona y el piñón, para que el contacto entre los dientes desde el principio del engrane hasta la línea de centros se efectúe dentro del ángulo de acercamiento y el contacto del diente, desde la línea de centro hasta el final del engrane, se produzca dentro del ángulo de alejamiento. Operación necesaria para poder realizar posteriormente en la animación un correcto engrane de los dientes.

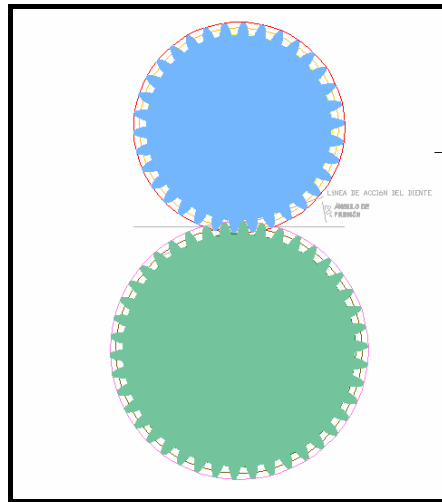


Fig. 10. Paso e

Paso f: Pieza en 3D.

Como paso final en el trazado de cada uno de los engranajes, se realiza la extrusión de cada perfil obtenido, con una altura de extrusión en cada engranaje igual a la longitud de cada uno de ellos. (Fig. 10. Paso f).

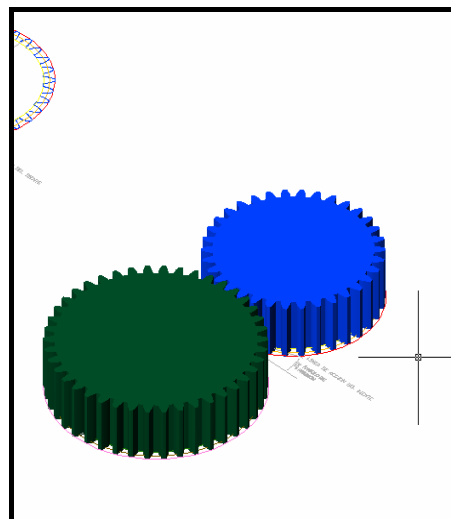


Fig.10. Paso f

Siguiendo los pasos anteriormente indicados, se trazan los dientes de cada uno de los veintitrés engranajes con su extrusión correspondiente. Posteriormente los engranajes se colocan en los ejes que componen la transmisión.

El engranaje inversor (R_i) acoplado en el eje de la inversión está situado paralelamente al eje de entrada de la transmisión.

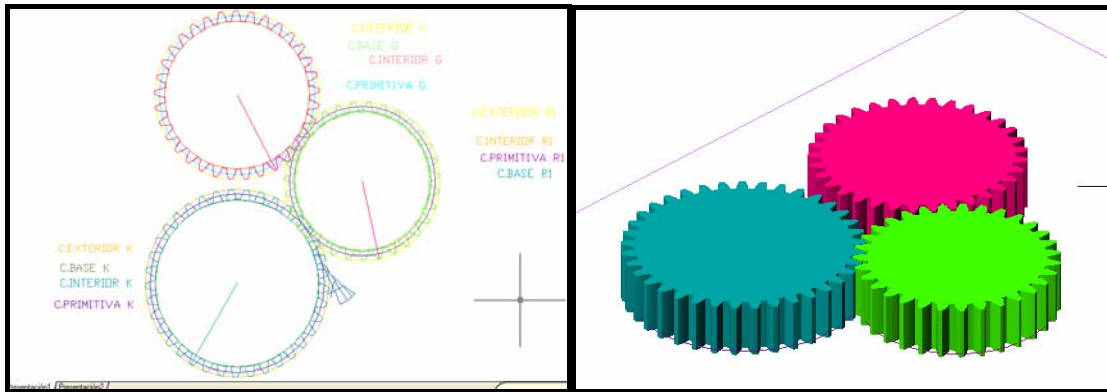


Fig. 11. Detalles del trazado de los engranajes del sistema inversor. (Elaboración propia)

Como característica especial en el trazado del sistema inversor, cabe destacar que en este caso los tres engranajes han de poseer el mismo módulo, por tanto la disposición entre ejes debe permitir que engranen correctamente..

9.1.2. Rodamientos

Dentro de la caja que nos ocupa nos encontramos con rodamientos de bolas, de cilindros y de agujas.

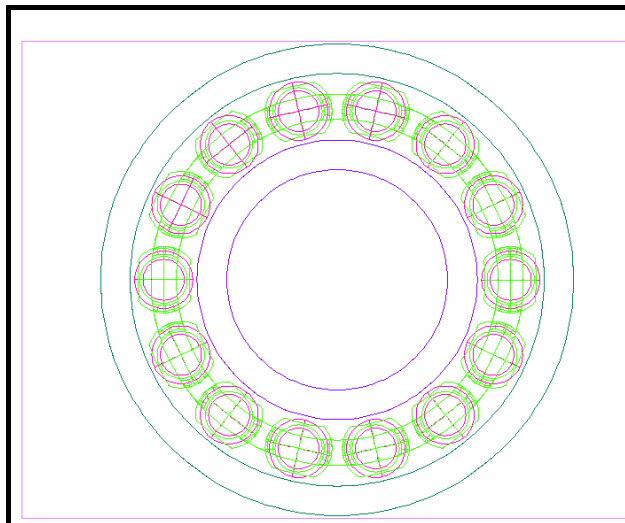


Fig. 12. Detalle del trazado de un rodamiento de bolas en formato alámbrico. (Elaboración propia).

De estos rodamientos tres son de bolas, los dos situados en el eje de la doble tracción, (con el engranaje Y situado entre medias de ellos) y un tercero, situado en el eje principal (entre el engranaje J y el embrague C3).

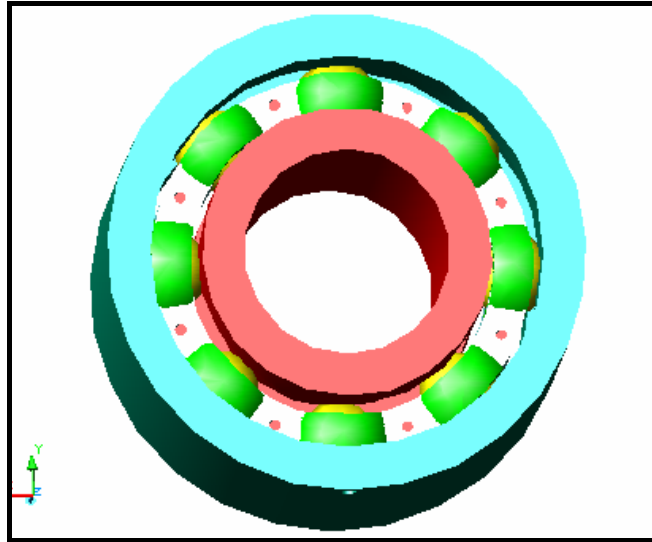


Fig. 13. Detalle del trazado de un rodamiento del tipo de bolas ya renderizado. (Elaboración propia)

Doce rodamientos son de cilindros y agujas, como es el caso de los dos rodamientos situados a los dos lados del eje del inversor.

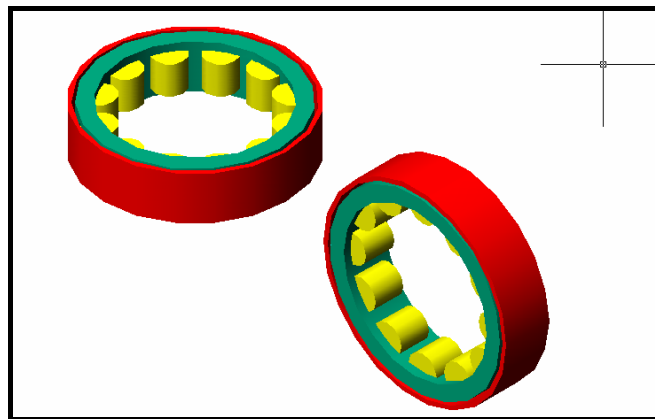
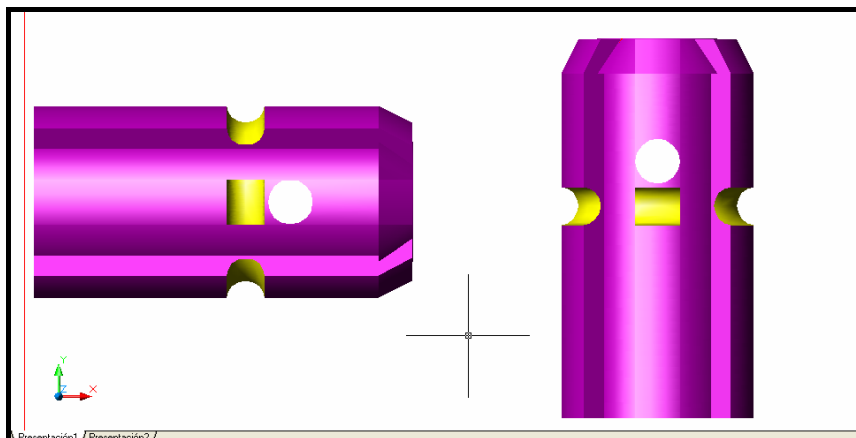


Fig. 14. Detalle del trazado de un rodamiento del tipo de cilindros ya renderizado. (Elaboración propia)

9.1.3. Eje de la toma de fuerza



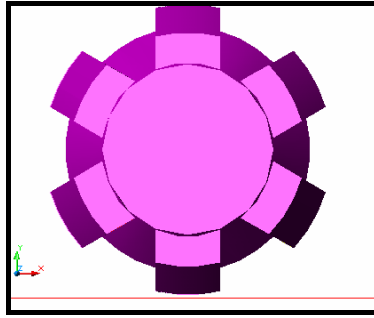


Fig. 15. Detalle del trazado de la toma de fuerza en dibujo renderizado. (Elaboración propia)

9.1.4. Sincronizadores

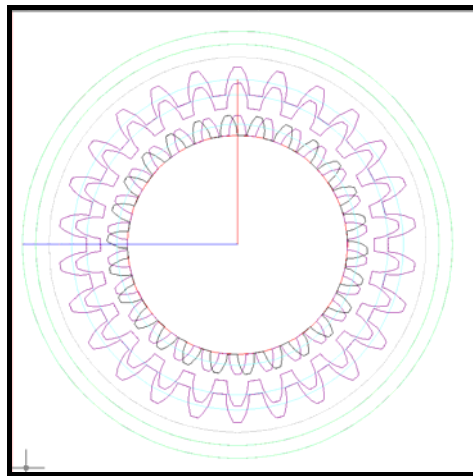
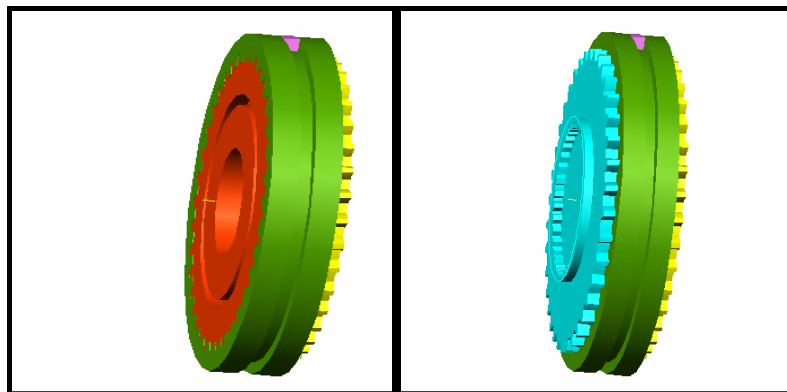


Fig. 16. Detalle del sincronizador en formato alámbrico. (Elaboración propia)



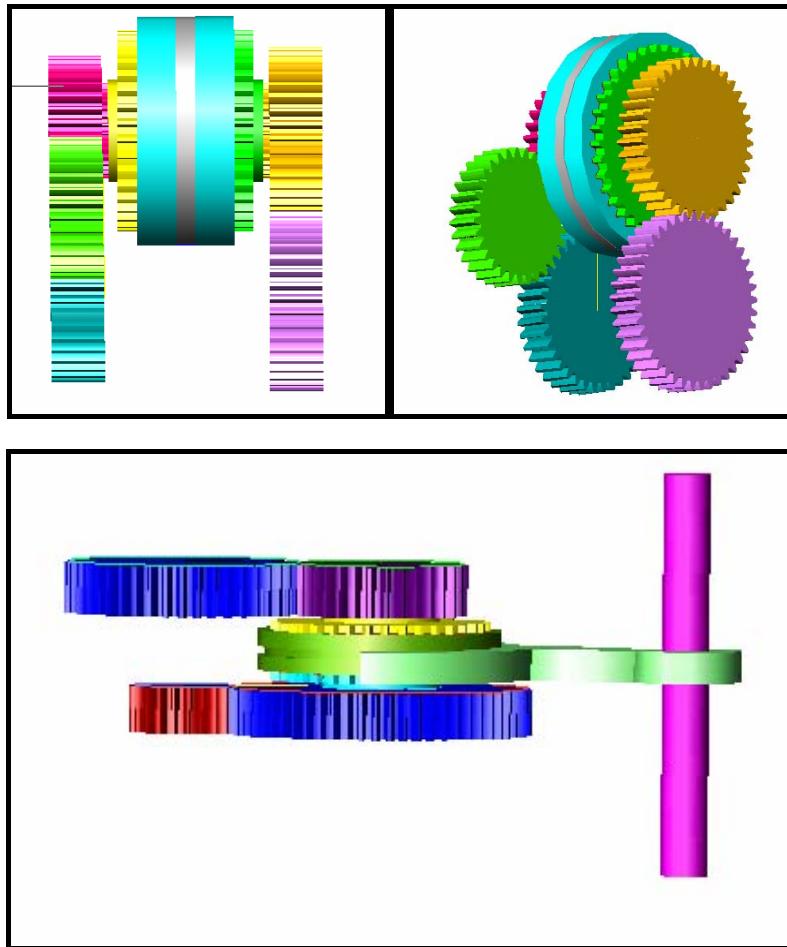


Fig. 17. Detalles del trazado de un sincronizador ya renderizado. (Elaboración propia)

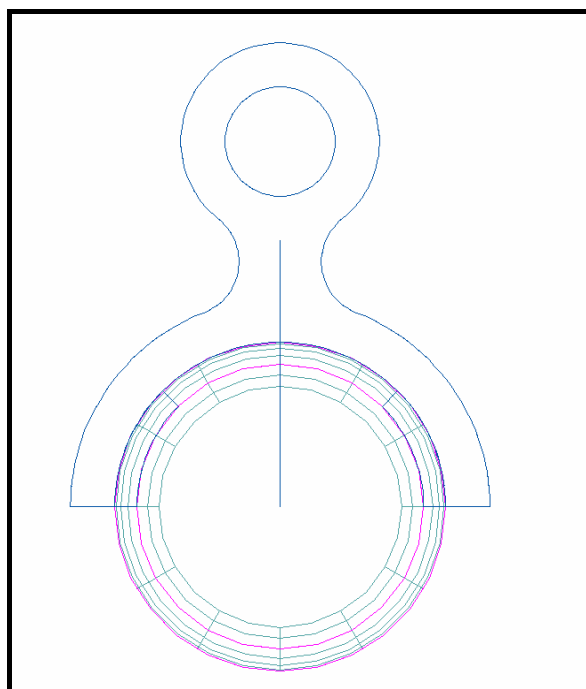


Fig. 18. Detalle del trazado de la horquilla de un sincronizador en formato alámbrico. (Elaboración propia).

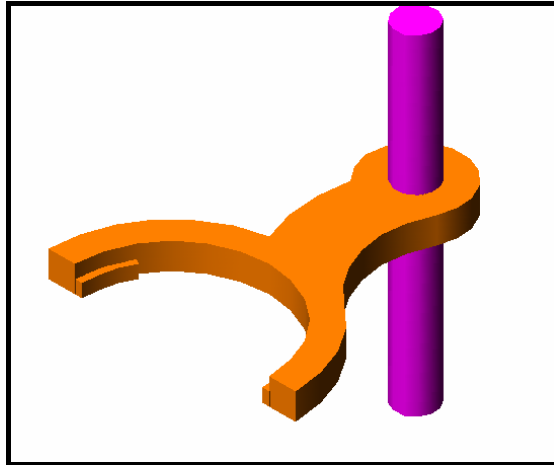


Fig. 19. Detalle del trazado de una horquilla de un sincronizador ya renderizada. (Elaboración propia)

9.1.5. Embragues

Para el trazado de los cuatro embragues, al igual que en todos los pasos anteriores se realizó la estimación de las dimensiones a partir del plano incluido en el manual de taller.

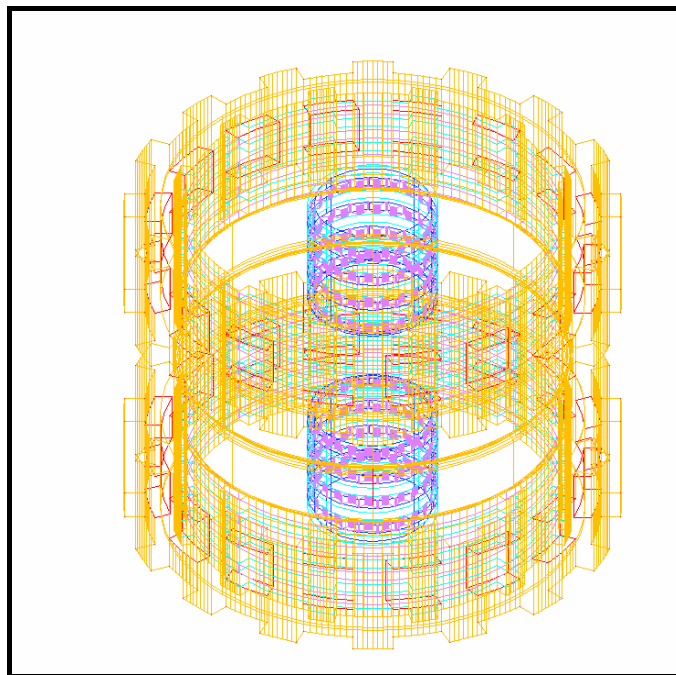


Fig. 20. Detalle del trazado de un embrague multidisco en formato alámbrico-3D. (Elaboración propia).

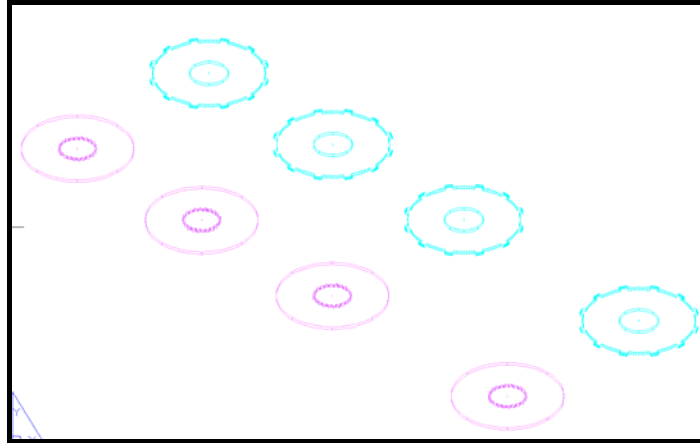


Fig. 21. Detalle del trazado de los discos y contradiscos de un embrague multidisco en formato alámbrico. (Elaboración propia)

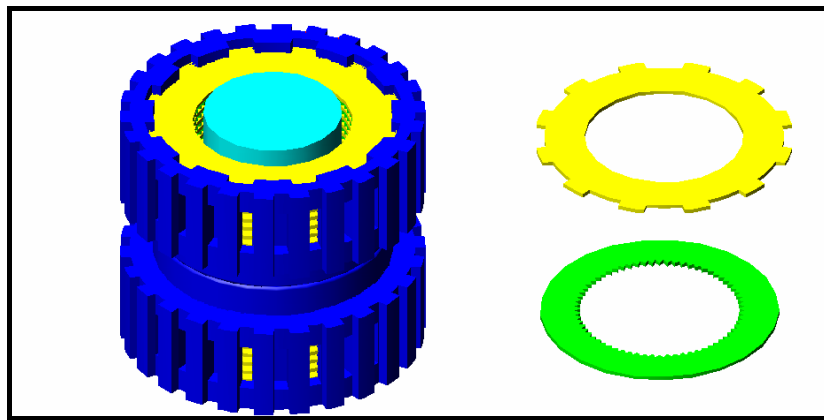


Fig. 22. Detalle del trazado de un par de embragues multidisco ya renderizado en 3D. (Elaboración propia)

9.1.6. Amortiguador

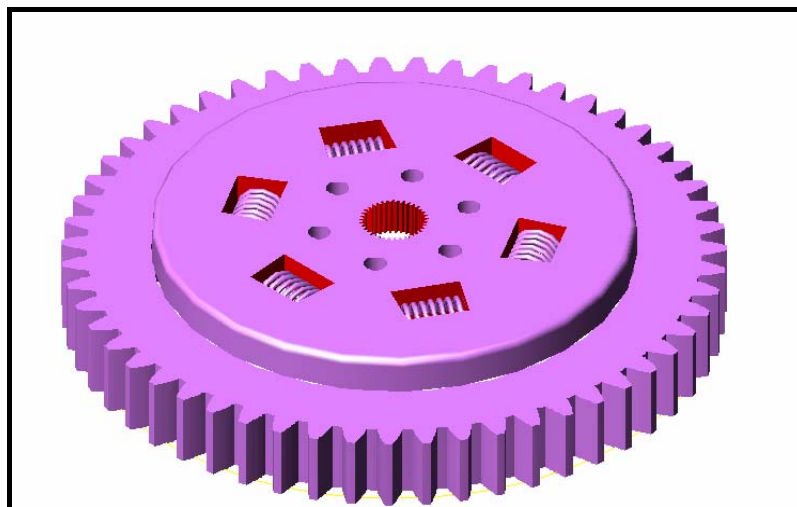


Fig. 23. Detalle del trazado del amortiguado renderizado en 3D. (Elaboración propia)

Una vez trazados cada uno de los elementos constituyentes de la transmisión a estudio, se realizó la disposición de cada uno de ellos en el contexto de la transmisión.

Se comienza con la colocación de los veintitrés engranajes, posteriormente se colocan siguiendo el mismo orden de trazado: los rodamientos, los sincronizadores, los embragues y por último el amortiguador, dando como resultado final la representación que se expone en la figura 24.

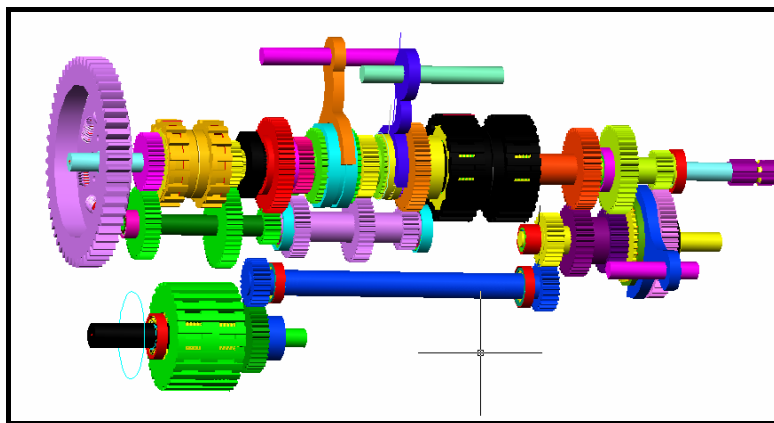
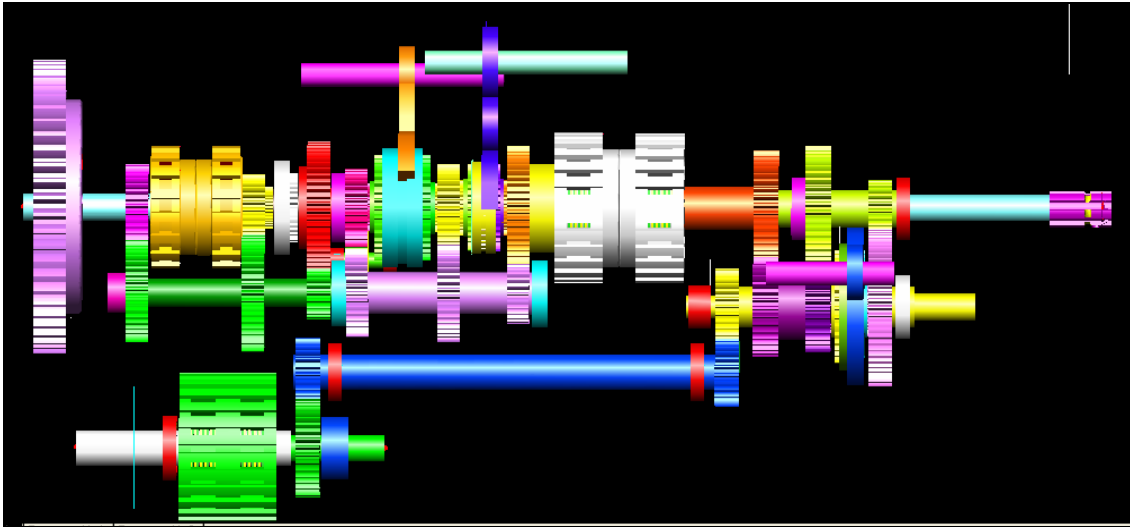


Fig. 24. Detalle del trazado de toda la estructura de la transmisión ya renderizada en 3D. (Elaboración propia)

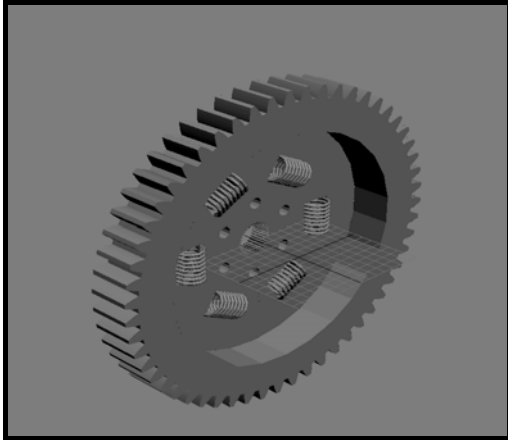
9.2. Modelización y animación en 3D del conjunto de la transmisión

Una vez realizado el trabajo de trazado y renderizado de cada uno de los elementos constitutivos de la transmisión en estudio, es indispensable realizar un paso indispensable en el programa AutoCad antes de poder importar cada elemento al 3DStudio. Este paso consiste en "referenciar" cada uno de los elementos constitutivos de la transmisión.

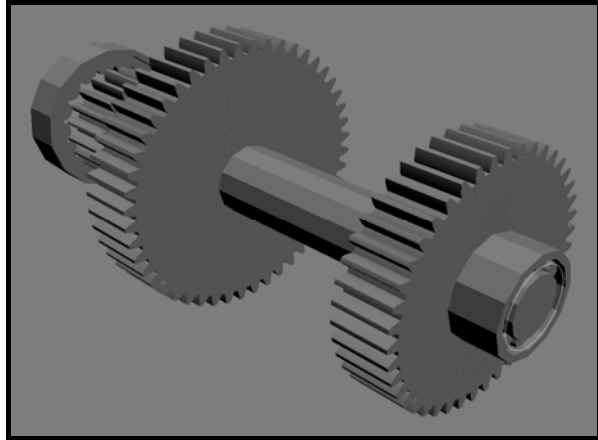
Los diez ejes de la transmisión que se han identificado se han numerado para realizar la "referenciación". Como primer paso se elige como centro de coordenadas el centro del *eje principal de la transmisión* en su unión con el amortiguador. Posteriormente el centro de cada una de las piezas constitutivas de la transmisión se "referencian" respecto dicho punto.

Mediante la herramienta de "referenciación" de AutoCad, se realizan los distintos archivos de extensión .dxf de cada uno de los ejes en los que se divide la transmisión. Estos archivos a su vez se importan uno a uno al software 3DStudio. Todos ellos "referenciados" al mismo centro de origen. Una vez importados ya poseen la extensión .max (extensión del software 3DStudio Max). El resultado se guarda en una carpeta denominada *importados*.

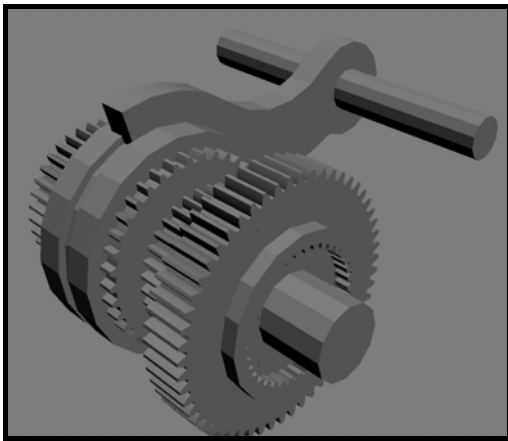
La figura 25 muestra el conjunto de los dieciséis archivos referenciados ya con extensión .max.



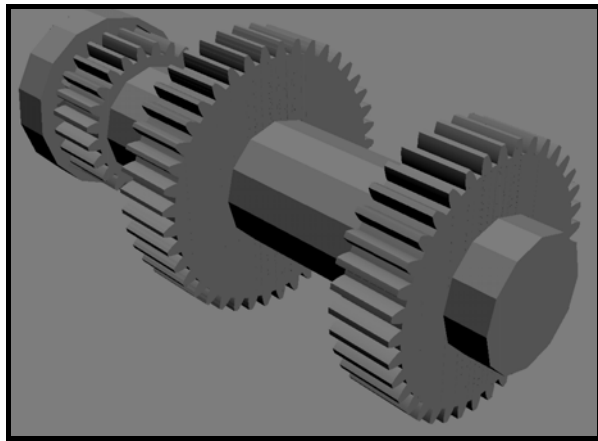
Amortiguador



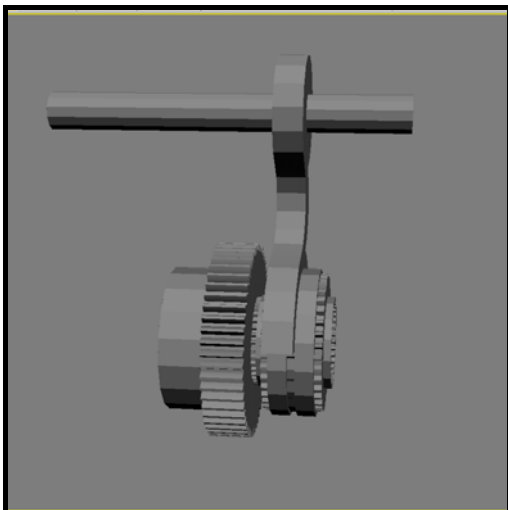
Eje 1



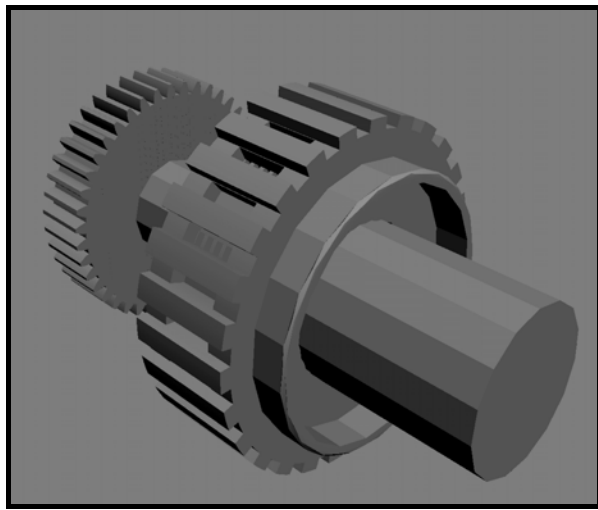
Eje 2



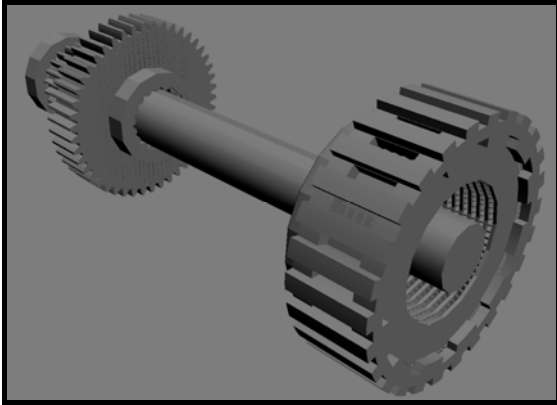
Eje 3



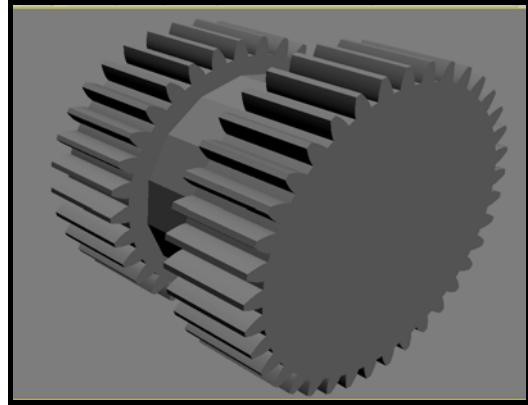
Eje 4



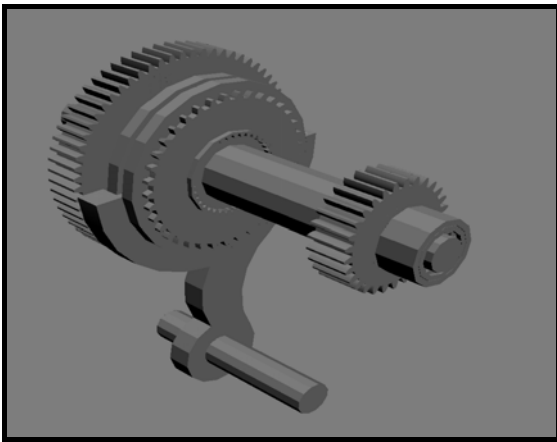
Eje 5



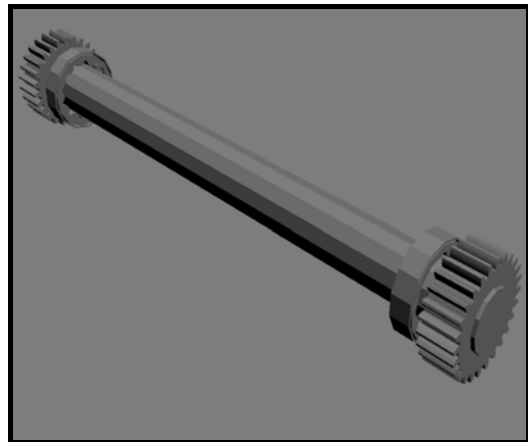
Eje 6



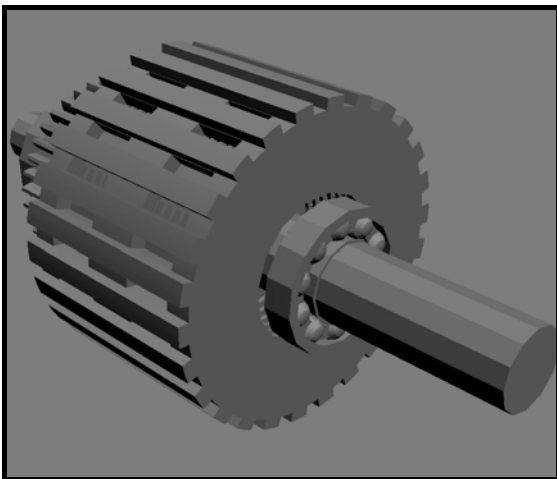
Eje 7



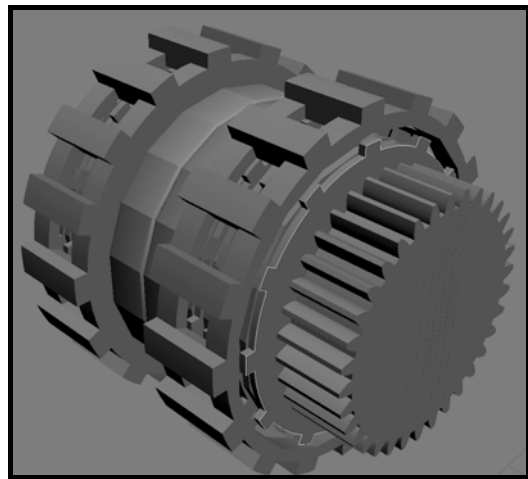
Eje 8



Eje 9



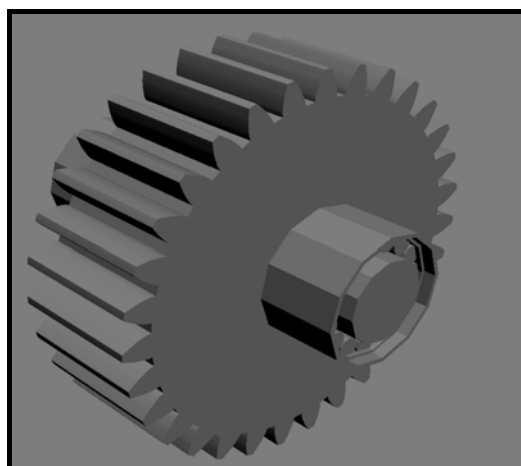
Eje 10



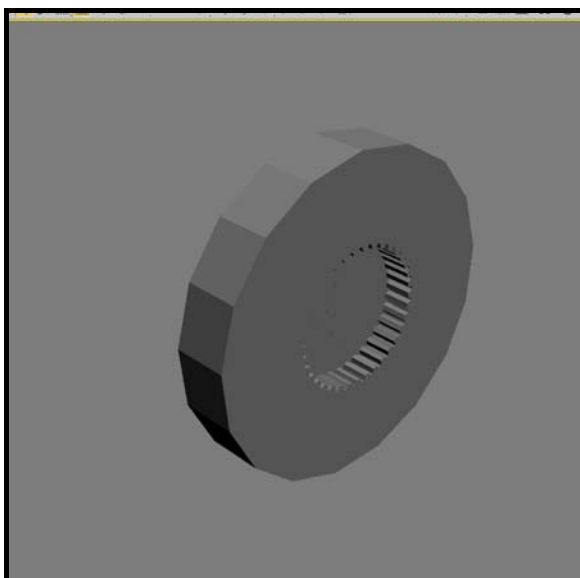
Eje 0



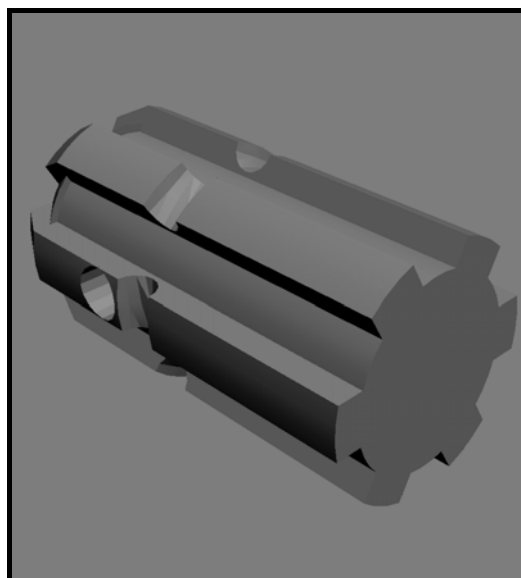
Eje principal



Inversor



Reductora

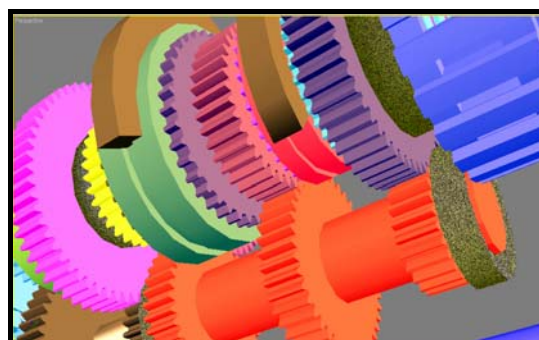
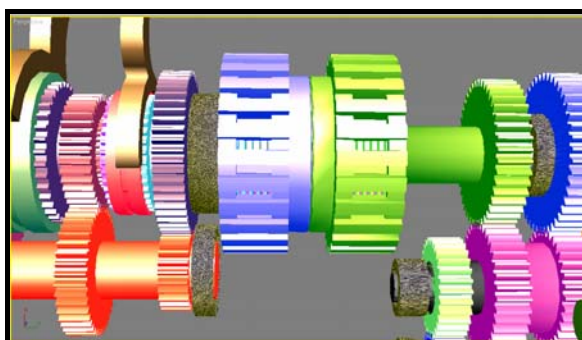


Toma de fuerza

Fig. 25. Detalle de los dieciséis archivos importados desde AutoCad a 3DStudio Max. (Elaboración propia)

Una vez importados todos los archivos ya pueden abrirse uno a uno los objetos de escena, los cuales van colocándose en su sitio, encajando unos con otros; de ahí la importancia de "referenciar" anteriormente cada uno de los objetos de la escena.

El siguiente grupo de ilustraciones, son distintas vistas realizadas desde el 3DStudio de toda la estructura ya unida a partir de los dieciséis archivos anteriormente indicados.



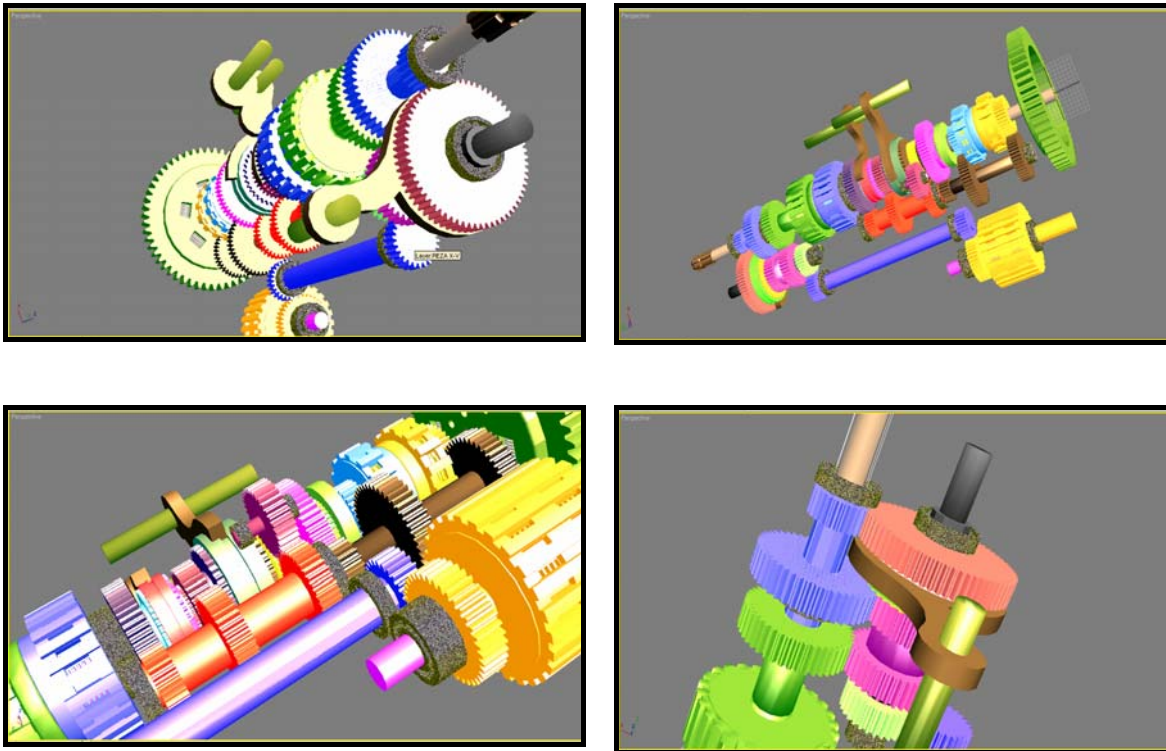


Fig. 26. Detalles de la transmisión importada al 3DStudio Max. (Elaboración propia)

Una vez obtenido el archivo de la transmisión en 3D max, es indispensable otorgarle una textura o material. Se ha utilizado un material cromado, al que se le da un brillo, con un mapa de bytes, de un reflejo en un lago al atardecer, el cual otorga a la transmisión un aspecto metálico realista.

A continuación, se realizó unas marcas a todos los engranajes, cuya misión es facilitar la visualización del movimiento de la transmisión. Todos los engranajes giran, el sentido de giro que les corresponde de acuerdo con la circulación de fuerzas y puede comprobarse que cada engranaje posee una velocidad de giro diferente de acuerdo a los cálculos efectuados en el apartado 7.

Para facilitar la identificación de cada una de las marchas, se aporta un tono más claro a las parejas de embragues electrohidráulicos activos en cada una de las marchas, como puede verse en la figura 27.

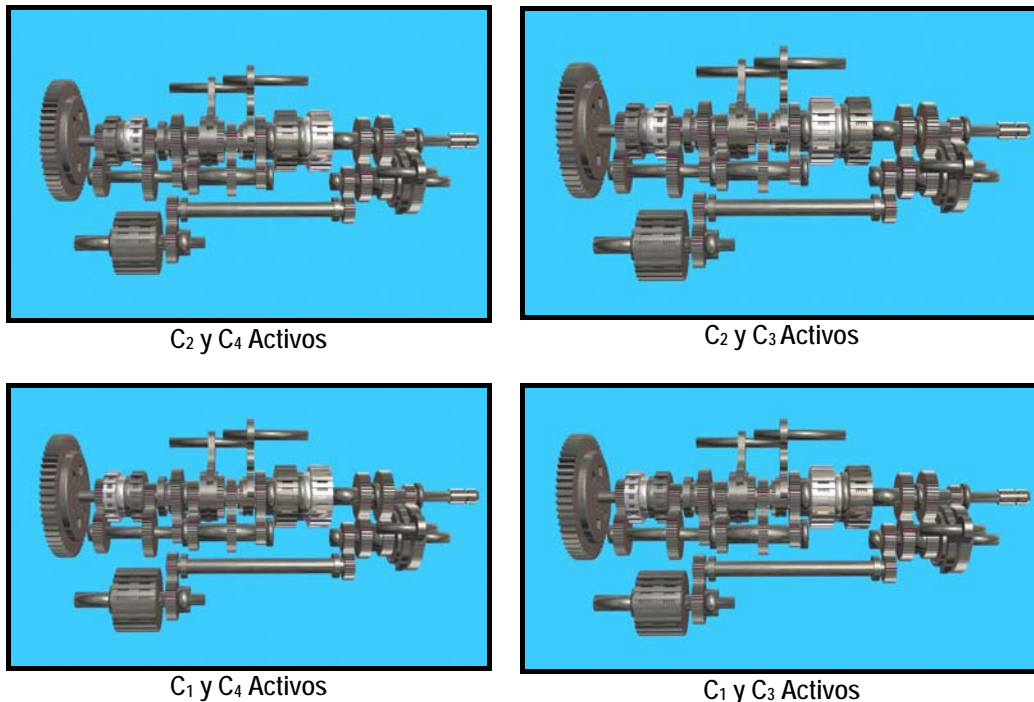


Fig. 27. Detalle de la transmisión con material cromado en las distintas posiciones de los embragues. (Elaboración propia)

A la hora de realizar la animación, se tuvo en cuenta el sentido de giro de cada uno de los engranajes en cada una de las marchas, así como la posición de cada uno de los sincronizadores.

Para conseguir una vista constante durante toda la animación, se ha colocado una cámara fija desde la cual se realizan todas las vistas en cada una de las animaciones.

Una vez obtenidas las cuarenta y ocho animaciones correspondientes a las distintas marchas, el último paso de este TFC fue la edición del *video final*. Esta edición se realiza en el programa *Adobe Premier CS3*.

10. Conclusiones

1. Se ha desarrollado un procedimiento DAO que permite reproducir fielmente cada uno de los componentes de la transmisión de un tractor: engranajes, ejes, sincronizadores, embragues, amortiguadores, toma de fuerza.
2. Se han establecido todas las relaciones de transmisión de acuerdo con los esquemas de circulación de fuerzas en la transmisión del New Holland TS100.
3. Se han dimensionado los distintos componentes a partir de las relaciones dimensionales propias de los engranajes y de requerimientos funcionales tales como la constancia de la distancia entre ejes.
4. Se ha efectuado una reconstrucción 3D de todos los componentes de la transmisión situándolos de acuerdo a su configuración real.
5. Se ha determinado la velocidad de transmisión para cada marcha.
6. Se ha calculado el sentido de giro y velocidad de cada uno de los ejes de la transmisión para cada marcha.
7. Se ha realizado la animación del movimiento de las distintas piezas para cada marcha y representado los accionamientos mecánicos de las distintas piezas.
8. Se han concentrado las distintas marchas en una única proyección.
9. El objeto de la herramienta desarrollada es emplearla en la docencia para una mejor comprensión del funcionamiento de las transmisiones en general y de la transmisión de un tractor agrícola en particular. Para ello las

cátedras de Dibujo Técnico y de Maquinaria Agrícola de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid, están trabajando conjuntamente para editar los resultados de este trabajo en una publicación de la Escuela y un vídeo con los pasos de este trabajo con un ISBN propio, a fin de que los alumnos tengan acceso a dicha publicación.

10. Que duda cabe que éste, el Dibujo Asistido por Ordenador (DAO), es uno de los caminos que hemos elegido en nuestra Escuela de Ingenieros Agrónomos para desarrollar procedimientos de INNOVACIÓN DOCENTE en la enseñanza de la Ingeniería.

11. Bibliografía

11.1. Bibliografía de libros.

- ARIAS PAZ. (2.000): "Tractores". Ediciones C.I.E. S.L. Dossat. Madrid.
- ARIAS PAZ (2.000): "Manual de automóviles". Ediciones C.I.E. S.L. Dossat. Madrid.
- ARNAL ATARES P.V.; LAGUNA BLANCA A. (2.000): "Tractores y motores agrícolas". Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica. Ediciones Mundi-Prensa. Bilbao.
- CASILLAS A.L.:(1.992): "Máquinas. Cálculo de taller". MELSA. Madrid.
- GÓMEZ-ELVIRA GONZÁLEZ, M.A.; VELILLA LUCINI, C. (2.005): "Dibujo Asistido por Ordenador (AutoCAD)". Dibujo Técnico. Servicio de Publicaciones de la ETSI Agrónomos. Madrid.
- GUADILLA, A. (1.989): "Tractores. Mecánica, reparación y mantenimiento". Ediciones CEAC, S.A. Barcelona.
- LÓPEZ FERNÁNDEZ J.; TAJADURA ZAPIRAIN J.A. (2.004): "AutoCad 2005 avanzado". Ediciones McGraw-Hill 2004. Madrid.
- MANUAL DE TALLER TS100 New-Holland.
- ORTIZ-CAÑAVATE J. (1.995): "Las máquinas agrícolas y su aplicación". Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- ORTIZ -CAÑAVATE J. (2.005): "Tractores. Técnica y seguridad". Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- PESCADOR ALBIACH D. (2.006): "Guía Práctica para usuarios de 3DS Max 8". Ediciones Anaya Multimedia. Madrid.
- SANDOBAL GARCÍA A. (1.969): "Dibujo Industrial". Tomo II. Manufacturas Jean S.A. Santander.
- SCHENEIDER W. (1.966): "Manual Práctico de Dibujo Técnico". Editorial Reverté S.A. Madrid.
- SPOTTS M.F. (1.982): "Proyecto de elementos de máquinas". Editorial Reverté S.A. Madrid.

11.2. Bibliografía de artículos de investigación

- GIL SIERRA, J. (2.005): "Breve historia del tractor". Vida Rural Nº 206 pp: 60-62.
- LINARES ANEGÓN, P. (2.005): "Los tractores del siglo XXI. Estrategias de conducción (Primera parte)". Terralia Nº48: pp: 34-47.
- MÁRQUEZ, L. (2.004): "Las transmisiones. El escalonamiento de las marchas". Agrotécnica Nº10 pp: 55-62.

- MÁRQUEZ, L. (2.004): "Las transmisiones. El secreto de las cajas sin escalonamientos". Agrotécnica N°12 pp: 35-40.
- MONGE REDONDO M. A. (1.994): "Tractores agrícolas". Agricultura Revista agropecuaria N°63 pp: 305-307.

11.3. Bibliografía en páginas Web

- <http://www.aenor.es/desarrollo/inicio/home/home.asp>
- <http://www.newholland.com/>
- <http://www.autodesk.es/adsk/servlet/home?siteID=455755&id=458320>
- <http://www.adobe.com/es/>
- <http://marte.biblioteca.upm.es/uhtbin/cgiisirs/dUVhqv49vL/SERCOORBIB/45860722/60/122/X>