



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LA CAJA DE DOBLE EMBRAGUE,
SOBRE LAS CAJAS MECÁNICAS Y AUTOMÁTICAS CONVENCIONALES**

Diego Rodrigo Salguero Donis

Asesorado por el Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LA CAJA DE DOBLE EMBRAGUE,
SOBRE LAS CAJAS MECÁNICAS Y AUTOMÁTICAS CONVENCIONALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

DIEGO RODRIGO SALGUERO DONIS

ASESORADO POR EL ING. GILBERTO ENRIQUE MORALES BAIZA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Mynor Roderico Figueroa Fuentes
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LA CAJA DE DOBLE EMBRAGUE, SOBRE LAS CAJAS MECÁNICAS Y AUTOMÁTICAS CONVENCIONALES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 26 de octubre de 2020.

Diego Rodrigo Salguero Donis

Guatemala, 13 de octubre de 2021

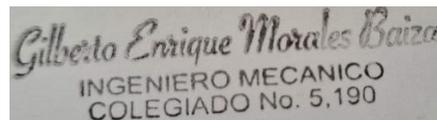
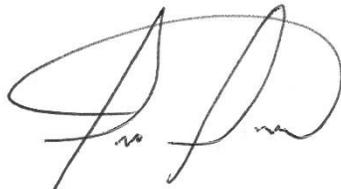
Señor
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Sirva la presente para deseárselo éxitos y satisfacciones personales y profesionales. Aprovecho la oportunidad para hacer de su conocimiento que en esta fecha concluí la asesoría y revisión del trabajo de graduación "**CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LA CAJA DE DOBLE EMBRAGUE, SOBRE LAS CAJAS MECÁNICAS Y AUTOMÁTICAS CONVENCIONALES**", realizado por el estudiante **Diego Rodrigo Salguero Donis**, registro académico **201612321** y CUI **3002825910101**, de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de esta casa de estudios superiores.

Agradeceré el seguimiento correspondiente,

atentamente,



Gilberto Enrique Morales Baiza
Ingeniero Mecánico
Colegiado 5190



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.150.2021

El Coordinador del Área de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LA CAJA DE DOBLE EMBRAGUE, SOBRE LAS CAJAS MECÁNICAS Y AUTOMÁTICAS CONVENCIONALES**, desarrollado por el estudiante: **Diego Rodrigo Salguero Donis** con Registro Académico **201612321** y CUI **3002825910101**, recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Esdras Miranda Orozco
COLEGIADO 4637

Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
Coordinador Área de Diseño
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, noviembre 2021



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.161.2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área de Diseño del trabajo de graduación titulado: **CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LA CAJA DE DOBLE EMBRAGUE, SOBRE LAS CAJAS MECÁNICAS Y AUTOMÁTICAS CONVENCIONALES** del estudiante **Diego Rodrigo Salguero Donis**, CUI **3002825910101**, Reg. Académico **201612321** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, noviembre 2021

/aej



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG. 700.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LA CAJA DE DOBLE EMBRAGUE, SOBRE LAS CAJAS MECÁNICAS Y AUTOMÁTICAS CONVENCIONALES**, presentado por el estudiante universitario: **Diego Rodrigo Salguero Donis**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2021.

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser el mecánico del universo, haciendo que funcione todo exactamente a su voluntad.
Mis padres	Juvenal Salguero y Silvia Donis, por su amor y apoyo incondicional.
Pareja	Lourdes Monzón, por estar presente y apoyarme en cada actividad.
Hermana	Aracely Salguero, por tu disposición cuando la necesito.
Abuelos	Angélica Mayorga y Julio Donis, por su amor incondicional y gran apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios, la cual impulsó creer en mí mismo y, lo que con esfuerzo se logra.

Facultad de Ingeniería

Por ser la Facultad que me dio espacio a desempeñar mis habilidades y talentos.

Mis amigos

Mario Monzón, Mynor García y Richard Wellman, por estar siempre.

Catedráticos

Ing. Byron Palacios, Ing. Enrique Morales, por ser maestros, amigos e impulsores a seguir mis estudios y sueños.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS.....	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. HISTORIA DE LAS TRANSMISIONES.....	1
1.1. Importancia e historia de los transmisores de potencia.....	1
1.2. Historia y surgimiento de las transmisiones mecánicas.....	2
1.3. Historia y surgimiento de las transmisiones automáticas.....	3
1.4. Historia y surgimiento de las transmisiones de doble embrague.....	5
2. CONCEPTOS Y TEORÍA DE LAS TRANSMISIONES.....	7
2.1. Transmisión mecánica.....	7
2.1.1. Principios de funcionamiento mecánico.....	7
2.1.2. Características de desempeño y operación.....	14
2.1.3. Mantenimiento.....	15
2.2. Transmisión automática.....	16
2.2.1. Principios de funcionamiento mecánico.....	16
2.2.2. Características de desempeño y operación.....	25
2.2.3. Mantenimiento.....	25
2.3. Transmisión de doble embrague.....	26
2.3.1. Principios de funcionamiento mecánico.....	26

2.3.2.	Características de desempeño y operación	29
2.3.3.	Mantenimiento	30
3.	PRUEBAS DE DESEMPEÑO EN EL MANEJO	33
3.1.	Curvas de revoluciones por minuto vs. tiempo	33
3.2.	Tiempos de 0 a 60 km/h con cada transmisión	36
3.3.	Consumo de combustible	38
4.	INTERPRETACIÓN Y RECOPIACIÓN DE RESULTADOS	43
4.1.	Características mecánicas importantes en las DCT	43
4.2.	Ventajas de la transmisión DCT contra las transmisiones automáticas y mecánicas	44
4.3.	El futuro de las transmisiones DCT	45
	CONCLUSIONES	47
	RECOMENDACIONES	49
	BIBLIOGRAFÍA	51
	ANEXOS	53

INDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mecanismo de dos cambios	8
2.	Cambio a primera marcha	9
3.	Cambio a segunda marcha	10
4.	Engrane loco	10
5.	Transmisión de cinco marchas con retroceso	11
6.	Acople del collarín con engrane	12
7.	Embrague mecánico	13
8.	Set de engranes epicíclicos	17
9.	Sistema en dos dimensiones de engranajes planetarios	19
10.	Partes de una transmisión automática	20
11.	Embragues.....	22
12.	Convertidor de torque.....	23
13.	Partes de un convertidor de torque	24
14.	Transmisión de doble embrague	27
15.	Mecanismo del doble embrague	28
16.	Curvas características del motor	34
17.	Comparación de RPM vs. tiempo en las diferentes transmisiones	35
18.	Comparación en tiempos de aceleración	38
19.	Curva de consumo	39
20.	Comparación de transmisión mecánica y de doble embrague	40
21.	Comparación de transmisión automática y de doble embrague	41

TABLAS

I.	Relación de un <i>set</i> epicíclico sencillo.....	18
----	--	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HP	Caballos de fuerza (potencia)
CV	Caballos de vapor (potencia)
C1	Embrague 1
C2	Embrague 2
C3	Embrague 3
C4	Embrague 4
C5	Embrague 5
g/kW*h	Gramos entre kilowatt por hora (consumo de combustible)
Kgf*m	Kilogramo fuerza por metro (torque)
Kg	Kilogramos
km	Kilómetro
km/h	Kilómetros por hora (velocidad)
Nm	Newton por metro
RPM	Revoluciones por minuto
s	Segundos

GLOSARIO

Acoples	Parte mecánica, la cual une 2 elementos.
Antioxidante	Componente de lubricantes encargado de evitar la oxidación.
Bomba	Artefacto que impulsa fluidos en una dirección.
Bomba de aceite	Artefacto encargado de movilizar el aceite dentro de las cavidades de un motor.
Cadena	Conjunto de eslabones unidos entre sí, con el fin de transmitir movimiento entre dos poleas o <i>sprockets</i> .
Collarín	Elemento de posicionamiento mecánico o tope entre piezas.
Combustible	Material que se emplea para producir energía.
Convertidor de torque	Parte de la caja automática que transforma el torque proveniente del motor.
DCT	Transmisión de doble embrague-desgaste por fricción: tipo de desgaste producido por el roce constante de dos piezas.

Diferencial	Equipo usado para transmitir el par de un eje hacia las ruedas de forma individual.
Dynaflow	Caja automática patentada.
Eje cardán	Eje con puntas cardánicas para transmitir par.
Eje de levas	Eje en el cual se encuentra una serie de levas encargadas de accionar otros mecanismos.
Embrague	Elemento que permite acoplar o desacoplar 2 ejes de una máquina.
Embragues húmedos	Embrague que trabaja sumergido en fluido.
Embragues secos	Embragues que no necesita fluido para su acople.
Engrane	Pieza, generalmente cilíndrica, que acopla con otro engrane o una faja para la transmisión de movimiento.
Engranés de eje paralelo	Engranés acoplados entre sí por sus dientes, con la distinción que sus ejes de rotación son paralelos entre ellos.
Engranés epicíclicos	Engranés acoplados por sus dientes donde existe un engrane central, un anillo y otros engranes de transmisión entre estos 2.

Flechas	Eje de transmisión de par desde el diferencial a las ruedas.
Hydramatic	Caja automática patentada.
Lubricante	Fluido que elimina la fricción entre dos piezas que rozan.
Mecanismo	Combinación de piezas móviles que cumplen una función específica.
Potencia	Capacidad para ejecutar algo o producir un efecto.
Rally	Competición deportiva de automóviles o motocicletas, celebrada en carreteras abiertas y otros caminos.
Relación mecánica	Cambio que produce un objeto que produce movimiento sobre otro.
Selector	Pieza o mecanismo usado para escoger la marcha en una caja mecánica.
Tiptronic	Tipo de transmisión automática.
Torque	Fuerza perpendicular aplicada a una distancia del punto de análisis.
Tracción	Sistema mecánico que aplica la potencia del motor a las ruedas del vehículo.

Transmisión de poleas de variables

Tipo de transmisión, la cual emplea 2 poles capaces variar su diámetro y con esto lograr cambios de relación de torque y velocidad.

Turbina

Máquina destinada a transformar en movimiento giratorio de una rueda de paletas la fuerza viva o la presión de un fluido.

Turbo

Compresor movido por una turbina, usado para ingresar aire a presión a un motor de combustión interna.

RESUMEN

Un sistema de transmisión es de vital importancia en un vehículo, ya que es el encargado de transmitir la potencia generada por el motor hacia las ruedas y de esta manera lograr que el carro se mueva. Las transmisiones mecánicas surgen de la idea de transmisión de movimiento a través de dos engranes paralelos; esto llevó a un diseño de dos ejes, los cuales son capaces de cambiar de relación a través de una palanca. Actualmente, este diseño es fundamental y se continúa usando por su simplicidad y eficacia.

Por otro lado, las transmisiones automáticas surgen bajo la idea de facilitar la conducción de un automóvil y al mismo tiempo volver la experiencia de manejo agradable y cómodo. La primera transmisión automática fue creada en Estados Unidos bajo el principio de engranes planetarios. Estas transmisiones, actualmente, han desarrollado fuertes cambios en su mecanismo y desempeño, pero, basando siempre su funcionamiento a la autonomía del vehículo.

Las transmisiones de doble embrague surgen con la idea de mejorar tiempos en carreras. Estas usan el principio de funcionamiento mecánico de las transmisiones mecánicas, con la diferencia de que los embragues usados en esta máquina son accionados por actuadores controlados con electrónica moderna. La idea del doble embrague surgió hace más de medio siglo, pero su uso es reciente, ya que puede ser desempeñada correctamente gracias a los avances tecnológicos actuales.

Para marcar las diferencias, ventajas y desventajas de una transmisión a otra, se realizaron pruebas de desempeño en el manejo. Estas consisten en

recopilar datos básicos bajo las mismas condiciones. La primera prueba de desempeño se basó en observar la caída de RPM de un motor en cada cambio de relación. La segunda se basa en datos proporcionados por el fabricante de los vehículos donde se comparan los tiempos de aceleración dependiendo de la transmisión que posea cada uno. Por último, el consumo de combustible, el cual también será un factor afectado, dependiendo de la transmisión que posea el vehículo.

Es por ello que la transmisión de doble embrague es una idea antigua que regresa en la actualidad derivado de la tecnología, esto hace que su mecánica se desempeñe de la mejor manera. La transmisión de doble embrague presenta ventajas importantes contra las transmisiones existentes, tanto en aceleración, eficiencia y consumo de combustible. En los automóviles de combustión interna, el futuro camina a usar la mecánica tradicional acompañada de tecnologías que le permitan un desempeño acercado lo más posible a la perfección.

OBJETIVOS

General

Identificar las características y ventajas con la transmisión de doble embrague sobre las transmisiones mecánicas y automáticas convencionales.

Específicos

1. Realizar una investigación sobre la transmisión de doble embrague y cómo se introdujo al mercado de automóviles comerciales.
2. Definir el funcionamiento y forma de uso de las transmisiones mecánicas, automáticas convencionales y transmisión de doble embrague.
3. Realizar pruebas de manejo bajo condiciones similares con cada una de las transmisiones, luego comparar desempeño.
4. Presentar las ventajas y mejoras de la DCT sobre las mecánicas y automáticas convencionales.

INTRODUCCIÓN

Desde la invención del automóvil más sencillo, hasta los más complejos y avanzados que se fabrican actualmente, transmitir la fuerza del motor en forma eficiente ha sido siempre tema de investigación continua. El mecanismo a cargo de esta operación se llama transmisión, el cual es el conjunto de piezas móviles que transfieren la potencia del motor hacia el diferencial para luego llevarla a las ruedas de tracción. Independientemente de las condiciones de la carretera o conducción, la potencia del motor es manejada por la transmisión de tal forma, que a las ruedas se entrega la cantidad necesaria para iniciar o mantener el movimiento del automóvil, venciendo toda la fuerza contraria a la dirección de desplazamiento.

Los tipos de transmisión indicados poseen tanto ventajas como desventajas, refiriéndose a su comportamiento y desempeño. Basados en lo anterior surge la transmisión de doble embrague, esta utiliza el criterio de la transmisión mecánica con ayuda de electrónica para proporcionar el confort de manejo de una transmisión automática. Se demostrarán las diferencias, características mecánicas y de manejo que proporciona la transmisión de doble embrague sobre las convencionales, esto bajo estudios de manejo en condiciones similares de uso.

1. HISTORIA DE LAS TRANSMISIONES

1.1. Importancia e historia de los transmisores de potencia

De acuerdo con Julia Máxima Uriarte en su artículo titulado *Historia del automóvil*, narra que en sus principios era una máquina propulsada a vapor; posteriormente, el 29 de enero de 1886, Karl Benz patenta el primer automóvil propulsado por un motor a combustión interna, este transmitía la potencia del motor a las ruedas a través de una cadena, se podría decir que tenía una relación directa de potencia, la cual dependía únicamente de las revoluciones del motor.

Ante el crecimiento de este medio de transporte, los ingenieros se dieron cuenta de que el camino a recorrer era un factor trascendental en el desempeño del vehículo; razón por la cual se necesitó que la máquina fuera capaz de variar su torque y velocidad. Tras el estudio de la transferencia de movimiento por relación de engranajes se inventaron las transmisiones, que permitían al conductor controlar la fuerza y el desplazamiento de un automóvil, dependiendo del lugar donde transitaban.

En el caso de los automóviles, el elemento conductor es el motor, el que conduce las ruedas y lo que une a ambos a la transmisión. El sistema moderno para transmisión está conformado por el embrague, la transmisión (llamada comúnmente caja), eje cardán, diferencial y flechas.

Las transmisiones se dividen, básicamente, en mecánica o automática; la transmisión mecánica es controlada completamente por el conductor, mientras que la automática es controlada por presión de aceite.

El sistema de transmisión mecánica y automática se diferencian, principalmente, en su composición por el embrague y la caja; el resto de los elementos continúan siendo los mismos.

El sistema de transmisión no tiene una fecha específica de invención, sin embargo, se tienen registros de planos de Leonardo da Vinci, donde diseña a través de un engrane y un cono, el primer prototipo. Años después se agregó la transmisión mecánica, luego la transmisión automática, posteriormente las mejoras y evoluciones de ambas.

1.2. Historia y surgimiento de las transmisiones mecánicas

La transmisión mecánica es la más antigua y sencilla en la mayoría de los ámbitos, es la preferida para quienes les gusta tener el completo control en el manejo de su automóvil. En sus principios, la relación de potencia se realizaba a través de 2 poleas unidas por una faja de cuero, pero, el cambio de relación se hacía con el vehículo detenido. El piloto descendía del vehículo y colocaba la faja en otro juego de poleas para incrementar el torque en caminos inclinados.

Mary Bellis, en el *blog* de inventores relata que la historia de la transmisión mecánica comienza en el año 1894, cuando Louis René Panhard y Emile Leyassor diseñan la primera; apodada multiengrane, la cual usaba el principio de transmisión de potencia a base de engranes de paso directo. En su momento esta propuesta fue mal recibida, ya que fue presentada sin un vehículo que respaldara su funcionamiento, sin embargo, es el fundamento de las transmisiones mecánicas conocidas actualmente.

Posteriormente, el invento de estos ingenieros fue el *boom* de su carrera, esta transmisión multiengrane que habían presentado un año atrás, fue recibida como se merecía, incluso su uso se mantiene hasta la fecha. Poseía tres tipos de relaciones y la transmisión se realizaba de la transmisión a las ruedas con una cadena.

Mike Parker, en el mensaje de *blog* titulado: *La historia de la transmisión manual* relata que en el año 1898, Louis Renault, agrega a la transmisión un eje, el cual es conocido como eje de cardán, con la función de conectar la transmisión con el diferencial, basándose en las ideas del norteamericano Charles Durgéa.

De este punto en adelante, las mejoras se fueron realizando sobre la base establecida por las tres personas anteriormente mencionadas. La evolución de la transmisión mecánica se remonta al siglo XIX al XXI con avances cada vez más sofisticados, incluyendo en estas las transmisiones de doble embrague.

1.3. Historia y surgimiento de las transmisiones automáticas

Las transmisiones automáticas tenían como objetivo principal el confort, y que además, cualquiera pudiera manejar un automóvil de manera simple y cómoda. La comodidad y la potencia han sido pilares para el mercado automotriz norteamericano, debido a las distancias largas que debían recorrer todos los días.

Zanese, en su mensaje de *blog* *El origen de la transmisión automática*, explica que tras el estudio de engranes epicíclicos y la conversión de torque que tenían, surge en 1939 la primera transmisión automática patentada por General Motors (GM) nombrada como la Hydramatic colocada en los modelos Oldsmobile.

La diferencia con la transmisión mecánica está presente en el cambio de engranes de ejes paralelos a engranes planetarios, así como la ausencia del embrague accionado en un pedal y su reemplazo con un fluido de acople.

General Motors seguía creciendo en el estudio de estas transmisiones con el surgimiento de la Dynaflo puesta en los Buick, y finalmente, con la Powerglide, la cual es la base definitiva que abre el camino a las transmisiones automáticas conocidas en la actualidad.

La competencia principal de GM: Ford y Chrysler; tampoco se quedaron atrás sacando sus propias transmisiones automáticas; Ford con la Ford O-matic y Chrysler con la PowerFlit.

En el sitio web de motores Jatco, en el apartado *Historia de la corporación* comparten un breve resumen explicando que en Japón a finales de la década de mil novecientos cincuenta e inicios de los sesenta comienza con un mercado automotriz propio y no se queda atrás con las transmisiones automáticas. En la década de 1970, las empresas Automatic Trans Co. Ltd y Aisin Wagner, las cuales se convirtieron posteriormente en JATCO y AISIN AW, comercializan las transmisiones automáticas en Japón y el mundo, convirtiéndose, actualmente en los líderes en creación de ellas, incluso vendiéndolas a marcas no japonesas.

Una característica de las transmisiones automáticas es que producen un gasto mayor de combustible, entonces, tras la primera crisis del petróleo, se debía idear una manera de que estas transmisiones incrementaran su eficiencia y esto hizo que, para la segunda crisis se agregaran más velocidades a las transmisiones, haciéndolas de 3 o 4 relaciones para eficientizar el torque y así mejorar el consumo de combustible.

Aunque la transmisión automática daba una conducción más sencilla y cómoda, el control del automóvil se perdía y esto era perjudicial para los aficionados a las carreras. Con la llegada de nuevas tecnologías como la tracción delantera, los motores con doble eje de levas, el turbo, entre otras mejoras para competición; ningún corredor quería un automóvil que no pudiera controlar a su antojo, por eso las transmisiones mecánicas no desaparecen y actualmente el método de manejo lo decide el consumidor del vehículo.

1.4. Historia y surgimiento de las transmisiones de doble embrague

En el sitio de internet, GeBox describe en su artículo titulado *La transmisión de doble embrague. Un invento... ¿reciente?* las primeras patentes para la transmisión de doble embrague corresponden a los inventores Adolphe Kégresse y Rudolf Franke, en los años 1939 y 1940, en colaboración con la empresa Citroën. Aunque ellos no lograron un prototipo funcional y tampoco pudieron continuar su estudio debido a la falta de tecnología electrónica en la época.

Javier Costas, en su artículo titulado *Breve historia de la transmisión de doble embrague* explica como cuarenta años después, el invento regresó para revolucionar el cambio de relaciones. En 1981, Harry Webster logra una patente de la transmisión de doble embrague con la cual se realizaron pruebas en automóviles como el Ford Fiesta, Ford Ranger y Peugeot 205; sin embargo, todo quedó únicamente en pruebas. Hasta que dos años después, Porsche VAG retoma el estudio del mecanismo llamándolo Doppelkupplungsgetriebe y lo incorpora en su prototipo sport: el 956 y 962, para correr en LeMans en 1983.

Costas continúa explicando que, hasta este punto VAG era la única compañía que insistía en esta tecnología y la incorpora a su Audi Sport Quattro S1 para una competencia de *rally* en la década de mil novecientos ochenta.

El invento era para automóviles de competición, sin embargo, la idea era funcional para uso común, entonces, VAG saca al mercado la primera transmisión de doble embrague, la DQ250, la cual poseía 6 velocidades y tenía embragues húmedos, que funcionaba con presión de aceite. Este dispositivo lograba soportar un torque de 350 Nm con un peso de 93Kg.

Costas comenta que en el año 2003 sale a la venta el Audi TT y el Volkswagen Golf R32 (ambos de la misma compañía) con la transmisión de doble embrague y cambios al timón. Cinco años después se crea la DQ200 que cuenta con 7 velocidades y 70 kg de peso, una significativa mejora, sin embargo, el par se redujo únicamente a 250 Nm y esto debido a que tenía embragues secos (no se accionaban con presión de aceite). De la mano de la DQ200 vino la DL501 igualmente de 7 relaciones, pero con embragues húmedos que soportaban un par de hasta 600 Nm.

Cabe aclarar que los embragues húmedos soportan mayor torque que los secos, no obstante, los húmedos perdían eficiencia de combustible porque, al ser accionados con presión de aceite proveniente del motor, se traducían en tener pérdidas por el sobreuso de la bomba de aceite.

Las demás empresas de automóviles no se quedaron atrás, ya que los pioneros europeos dieron lugar a que marcas reconocidas mundialmente realizaran sus propias transmisiones de doble embrague y, actualmente se incorporan en vehículos deportivos, de competencia y particulares.

2. CONCEPTOS Y TEORÍA DE LAS TRANSMISIONES

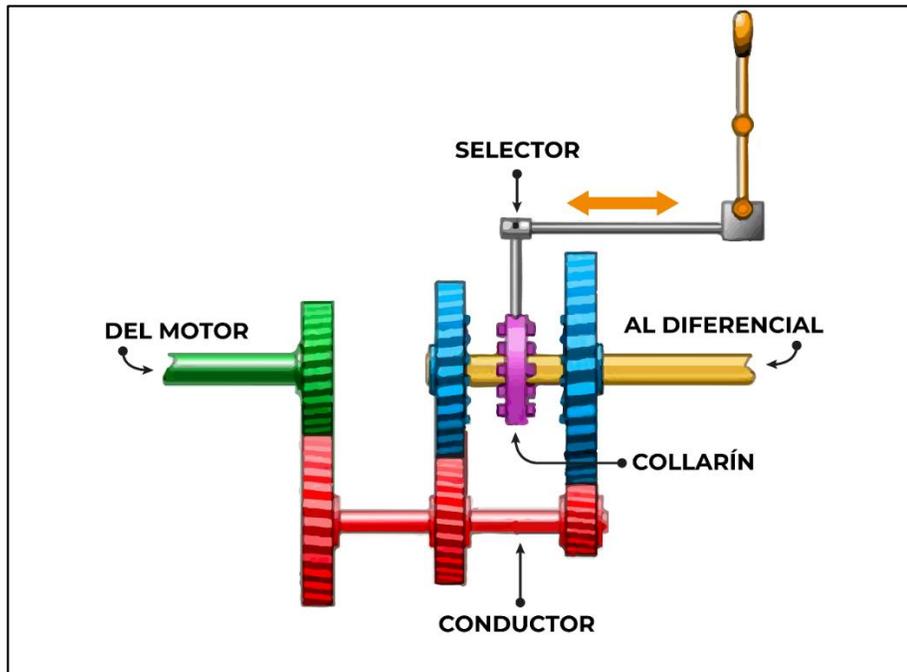
2.1. Transmisión mecánica

Se le denomina al grupo de elementos encargados de transferir el movimiento del motor hacia las ruedas, con la condición de que el conductor del automóvil tenga el control de decidir y colocar la relación que más le convenga, según el camino que recorra.

2.1.1. Principios de funcionamiento mecánico

Con el fin de dar una explicación sencilla al funcionamiento de una transmisión mecánica, a continuación, se presenta en la figura 1 un mecanismo únicamente de dos cambios.

Figura 1. Mecanismo de dos cambios



Fuente: MARSHALL, Brain; CHERISE, Threewitt. *How Manual Transmissions Work*.
<https://auto.howstuffworks.com/transmission.htm#pt3>. Consulta: 10 de diciembre de 2020.

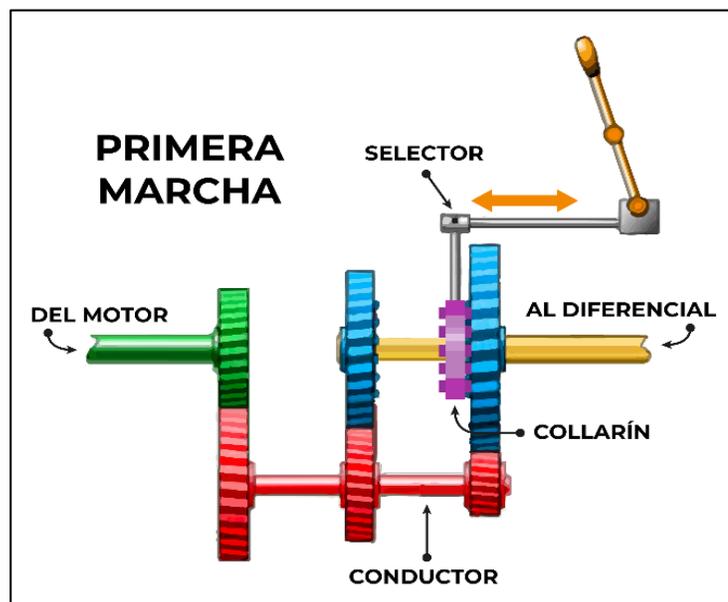
El primer eje del motor trae la fuerza del motor y está conectado permanentemente al engrane en su punta como una sola pieza sólida. Este se conecta al volante con un embrague accionado por el pedal. Cuando el pedal está accionado el embrague se encuentra desacoplado y, por lo tanto, este eje no transmite ningún par.

El segundo eje conductor es una sola pieza junto con sus engranes y es el encargado de transmitir la energía del eje del motor al eje que va al diferencial.

El eje al diferencial es la barra, los engranes sobre él giran libres cuando no hay velocidad seleccionada, cuando el selector mueve el collarín, este corre hacia cualquiera de los 2 engranes, acoplando el seleccionado al eje y en ese momento la relación estará acoplada y el par se transmitirá al diferencial. Por lo tanto, en el diagrama existen 2 velocidades, la primera siendo el engranaje grande y la segunda el pequeño.

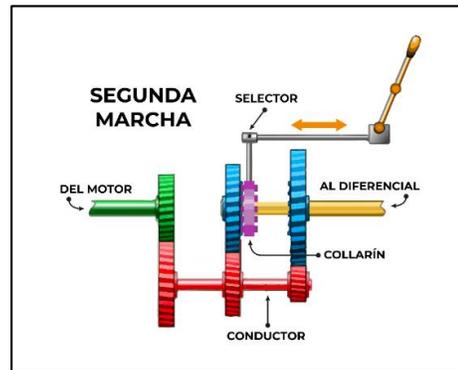
Para colocar la primera velocidad, el selector debe mover el collarín hacia la derecha, como se muestra en la figura 2, y de esta manera, el engrane grande, el collarín y el eje de salida, serán un único elemento que dirigirá el par al eje de cardán que, posteriormente irá al diferencial para finalizar en las ruedas. De la misma manera se selecciona la segunda relación con el selector moviendo el collarín hacia el otro engrane.

Figura 2. Cambio a primera marcha



Fuente: MARSHALL, Brain; CHERISE, Threewitt. *How Manual Transmissions Work*.
<https://auto.howstuffworks.com/transmission.htm#pt3>. Consulta: 10 de diciembre de 2020.

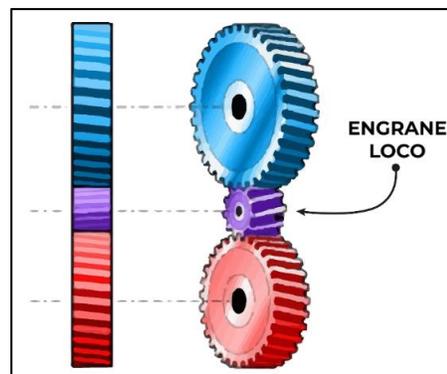
Figura 3. **Cambio a segunda marcha**



Fuente: MARSHALL, Brain; CHERISE, Threewitt. *How Manual Transmissions Work*.
<https://auto.howstuffworks.com/transmission.htm#pt3>. Consulta: 10 de diciembre de 2020.

Para cambiar la dirección de giro y usar la relación hacia atrás o retroceso, se agrega un engrane loco entre el eje de conducción y el que va al diferencial. Este engrane cambiará la dirección de giro del eje de salida, como se muestra en la figura 4.

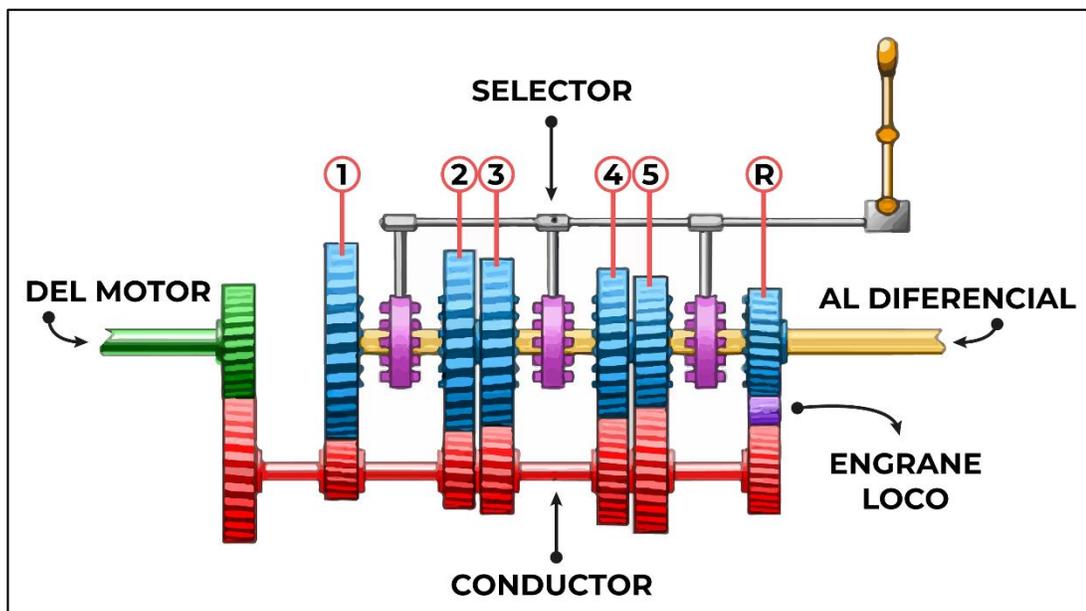
Figura 4. **Engrane loco**



Fuente: MARSHALL, Brain; CHERISE, Threewitt. *How Manual Transmissions Work*.
<https://auto.howstuffworks.com/transmission.htm#pt3>. Consulta: 10 de diciembre de 2020.

Una transmisión funcional en la vida real no puede ser tan sencilla como se mostró anteriormente. Las transmisiones, actualmente poseen muchos cambios, y deben incluir el retroceso en ellas, viéndose de manera simplificada como en la figura 5.

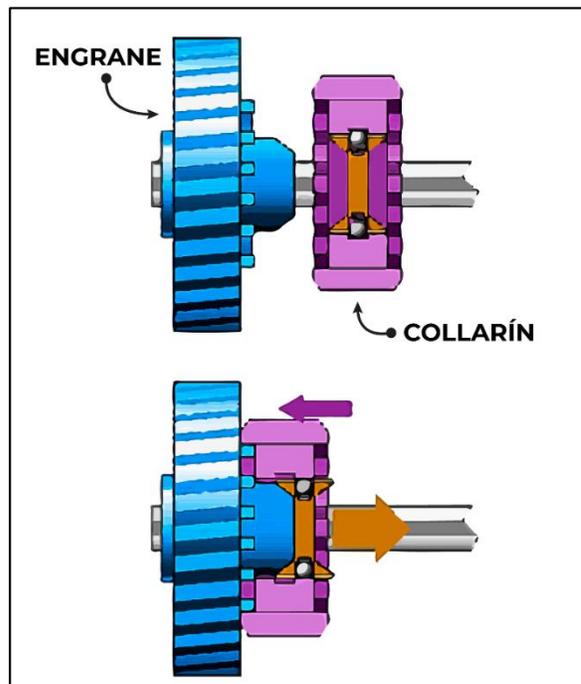
Figura 5. Transmisión de cinco marchas con retroceso



Fuente: MARSHALL, Brain; CHERISE, Threewitt. *How Manual Transmissions Work*.
<https://auto.howstuffworks.com/transmission.htm#pt3>. Consulta: 10 de diciembre de 2020.

En realidad, el eje de salida sí tiene sobre él engranes, sin embargo, estos no sirven para ser conducidos por el eje de conducción, sino para acoplarse con los engranes libres, la figura 6 muestra cómo el collarín estando sobre el eje de salida se mueve hacia la izquierda, acoplándose con los dientes secundarios de los engranes.

Figura 6. Acople del collarín con engrane



Fuente: MARSHALL, Brain; CHERISE, Threewitt. *How Manual Transmissions Work*.
<https://auto.howstuffworks.com/transmission.htm#pt3>. Consulta: 10 de diciembre de 2020.

Estos acoples son difíciles, ya que los dientes en pocas ocasiones estarán sincronizados, así que se debe agregar unos anillos sincronizadores, que como su nombre lo dice, deben armonizar el engrane con el eje de salida para un acople suave.

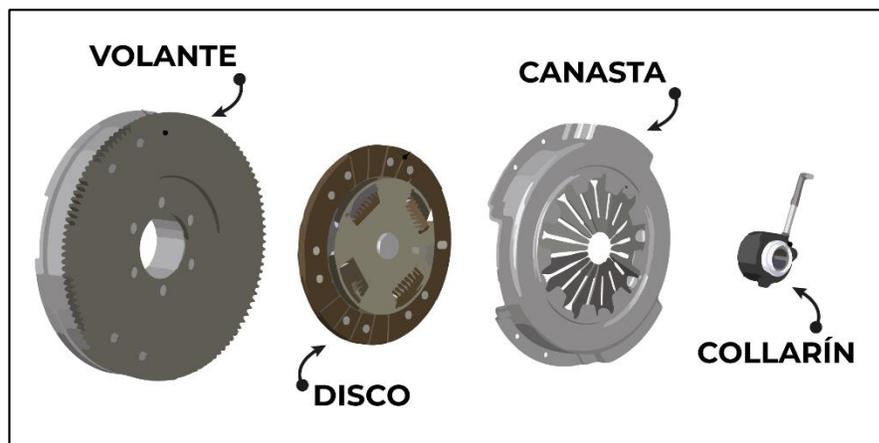
El embrague tiene un papel fundamental en el funcionamiento de la transmisión, ya que el movimiento se debe detener para seleccionar las relaciones. El embrague funciona con 4 piezas básicas, la canasta, el disco, el collarín y el volante.

El volante va pegado directamente al cigüeñal del motor y este se junta con el disco.

El disco es el que se acopla al eje que entra en la transmisión y recibe el par del motor directamente. La canasta es el elemento que, al ser presionado, despega el disco del volante del motor, permitiendo así, que la transmisión se detenga y el cambio se realice. Por último, el collarín es un cojinete que es empujado a través de un accionador para presionar la canasta.

Estos tres se encuentran uno tras otro entre la transmisión y el motor, protegido por una carcasa llamada corona; y así hacen posible el acople y desacople de la transmisión y el motor.

Figura 7. **Embrague mecánico**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft PowerPoint 365.

2.1.2. Características de desempeño y operación

Para operar una transmisión de cambios mecánicos en un automóvil convencional se necesita seguir una serie de pasos. Antes que nada, con el vehículo encendido se debe desacoplar el embrague, empujando el pedal con el pie izquierdo, de esta manera se acoplará la relación que se seleccionará. Luego de seleccionar la relación, se acelera mientras se suelta el pedal de embrague para que el volante y el disco vuelvan a acoplar y de esta forma se realizará la transmisión.

Aunque los pasos aparentemente son sencillos, el conducir un automóvil manual es un arte que se debe perfeccionar, más aún si es para competencia. La transmisión mecánica se desempeñará dependiendo de cómo el conductor maneje el vehículo, así que el uso del embrague es fundamental para un manejo cómodo o un manejo eficiente; ya que las relaciones son fijas (existe un número determinado de estas), el operario decide en cuántas revoluciones del motor realizará el cambio de relación, esto permite aprovechar la capacidad del motor a conveniencia.

Las transmisiones mecánicas permiten al conductor decidir el torque que desea en el momento en que lo necesita, simplemente usando el acelerador y el embrague. Una ventaja notable es que la relación del cambio se puede realizar rápidamente, dependiendo de la habilidad del piloto.

Otra ventaja es un mecanismo en el cual la eficiencia mecánica se pierde en cantidades muy pequeñas, siendo muy eficiente en este aspecto, también, tiene una alta durabilidad frente a las otras transmisiones y su mantenimiento es menos recurrente.

En contraparte, tiene muy poca elasticidad, entonces, un error por pequeño que sea puede ser fatal para la transmisión o incluso el motor.

2.1.3. Mantenimiento

Conociendo ya cómo trabaja una transmisión mecánica, se asume que estará sometida a cambios de movimiento continuo y roces con las demás piezas. Para reducir el desgaste por fricción se debe utilizar un lubricante, el cual debe ser capaz de ingresar entre las piezas, dejar una película de aceite e incluso actuar de antioxidante, entre otras características.

Cada fabricante recomienda el aceite que se debe usar en sus transmisiones, así como las características mínimas que este debe de poseer para que la transmisión no cese el servicio que debe ofrecer.

Los elementos básicos de una transmisión, los engranes, sincronizadores y cojinetes, deben de estar siempre lubricados, así que, para lograrlo, los diseñadores optan por llenar la transmisión de lubricante y sumergir así las piezas móviles.

Debido a las condiciones climáticas de Guatemala, se recomienda realizar el cambio del lubricante de transmisión mecánica en un lapso de 60 000 km recorridos o un año aproximadamente. Sin embargo, lo más favorable es apegarse al plan de mantenimiento preventivo y tipo de lubricante que establece el fabricante del automóvil; o en su defecto, al fabricante del lubricante que cumpla los requerimientos de la máquina.

2.2. Transmisión automática

La transmisión automática puede encargarse por sí misma de cambiar la relación de transmisión a medida que el automóvil lo necesite, de esta manera el conductor no tiene la carga de buscar la relación adecuada mientras conduce.

La definición de una transmisión automática es que, esta debe realizar el cambio por sí misma, y la manera de efectuar esto se ha diversificado, se puede mencionar entre las transmisiones automáticas: la transmisión convencional de engranes epicíclicos, la transmisión tiptronic, la transmisión de poleas variables, entre otras. Para fines prácticos en este documento se hablará únicamente de la transmisión automática convencional o de engranes epicíclicos, ya que es la transmisión automática más usada y la base de las demás.

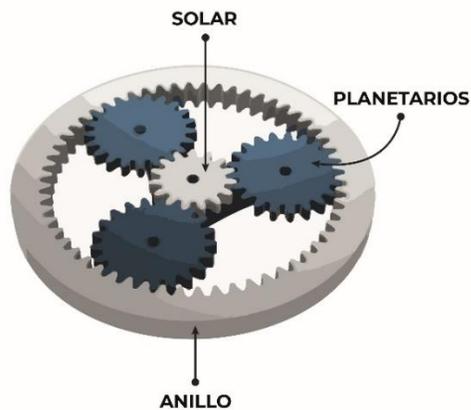
2.2.1. Principios de funcionamiento mecánico

Una transmisión automática es compleja en comparación a la mecánica, ya que consta de una cantidad mayor de piezas que interactúan entre sí para que la transmisión pueda ejercer su función. Para comprender la transmisión automática de la mejor manera se separa en una serie de mecanismos que trabajan en armonía. Entre estos mecanismos se mencionará el set de engranes epicíclicos, el convertidor de torque y los embragues.

El cambio de relación en esta transmisión es realizado con engranajes, sin embargo, no están dispuestos de manera paralela como en la transmisión mecánica, estos engranajes son llamados epicíclicos, por su ordenación y arreglo. La transmisión contiene en ella de dos a tres set de estos engranes epiciclos para lograr una cantidad de relaciones específicas, así que primero se explica cómo funciona el conjunto.

Cada *set* consta de 3 tipos de engranes: el solar, los planetarios (normalmente son 3, unidos entre sí por un soporte) y el de anillo; como se muestra en la figura 8.

Figura 8. **Set de engranes epicíclicos**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft PowerPoint 365.

El movimiento entrará en el *set*, ya sea en el engrane solar, de anillo o en el soporte de los planetarios, dependiendo de qué engrane sea el transmisor, el conductor o el estacionario, así será la relación de velocidades. En la tabla I se muestra una relación de un *set* sencillo donde el anillo tendrá 72 dientes, mientras el engranaje solar tendrá únicamente 30.

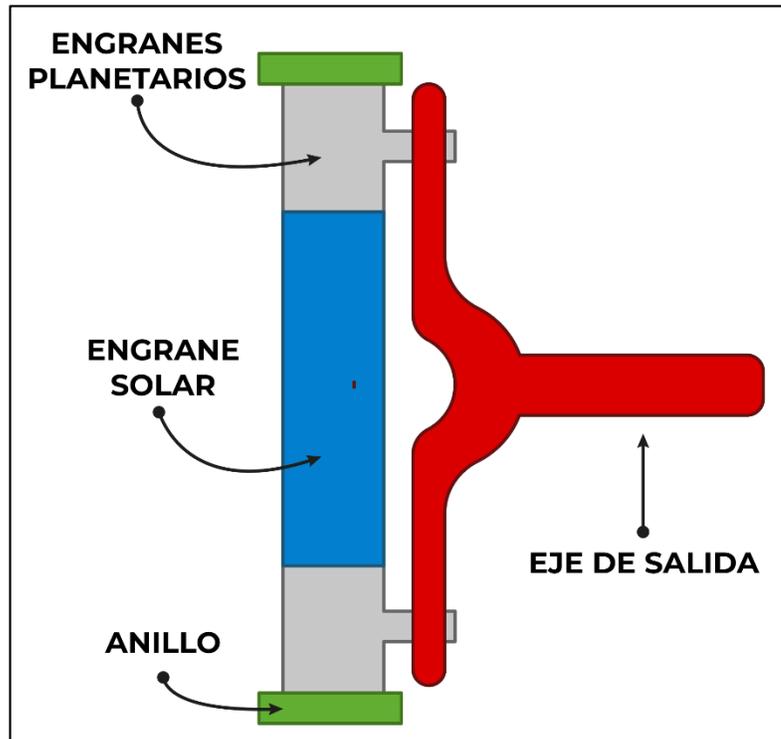
Tabla I. **Relación de un set epicíclico sencillo**

	ENTRADA	SALIDA	ESTACIONARIO	CÁLCULO	RELACIÓN DE ENGRANAJES
A	SOLAR (S)	SOPORTE PLANETARIO (C)	ANILLO (C)	$1 + R/S$	3,4 : 1
B	SOPORTE PLANETARIO (C)	ANILLO (R)	SOLAR (S)	$1 / (1 + S/R)$	0,71 : 1
C	SOLAR (S)	ANILLO (R)	SOPORTE PLANETARIO (C)	$- R/S$	- 2,1 : 1

Fuente: MARSHALL, Brain; CHERISE, Threewitt. *How Manual Transmissions Work*.
<https://auto.howstuffworks.com/transmission.htm#pt3>. Consulta: 10 de diciembre de 2020.

Con el funcionamiento del set, se debe tener en cuenta que el sistema es un conjunto de, por lo menos 2 sets operando juntos, para obtener un número de relaciones establecido. Un sistema en dos dimensiones de engranajes planetarios se muestra en la figura 9, donde se puede notar que el eje de salida está anclado al soporte planetario.

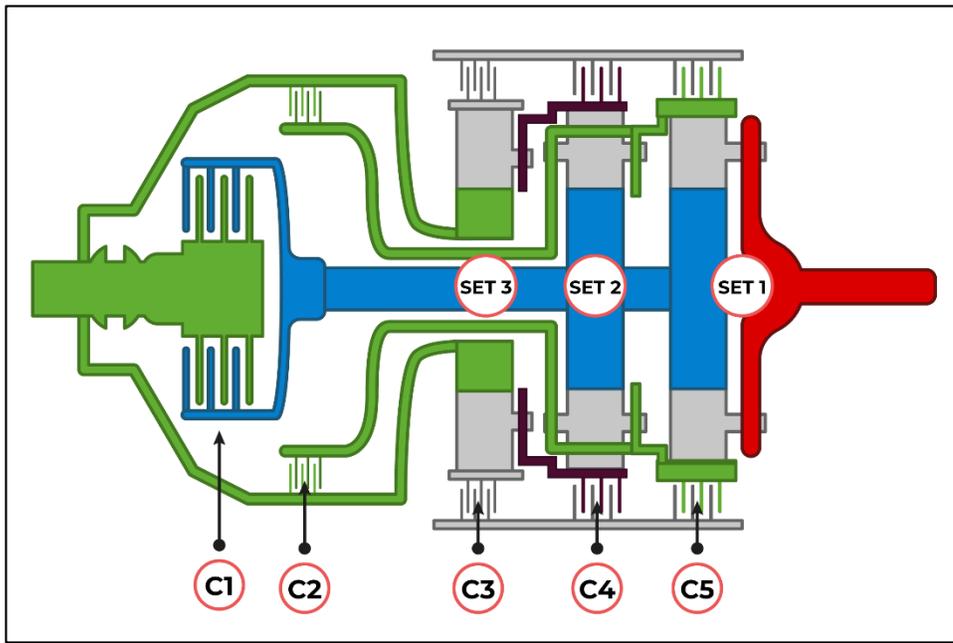
Figura 9. **Sistema en dos dimensiones de engranajes planetarios**



Fuente: MARSHALL, Brain; CHERISE, Threewitt. *How Manual Transmissions Work*.
<https://auto.howstuffworks.com/transmission.htm#pt3>. Consulta: 10 de diciembre de 2020.

En la figura 10 se detallan las partes de una transmisión automática de seis velocidades y retroceso para posteriormente explicar cómo se acoplan las velocidades. Los juegos de embragues, que se explicarán más adelante, serán referidos en las figuras con la notación C.

Figura 10. Partes de una transmisión automática



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft PowerPoint 365.

- Primera velocidad: para la primera velocidad se conectará C1, permitiendo que el eje de entrada mueva el solar del set 1 de epicíclicos donde su engrane de anillo estará detenido por C5, los demás set no tendrán participación y se realizará una relación aproximada de 1 a 3 del solar a los planetarios con anillo quieto.
- Segunda velocidad: para esta velocidad se acoplarán los embragues C1 y C4, se debe notar que los planetarios del set 2 están conectados al anillo del 1, provocando que se mueva, y logrando que el set 1 tenga velocidad de entrada en el solar y el anillo, logrando una relación de salida en los planetarios.

- Tercera velocidad: para la tercera velocidad se conectan C1 y C3 logrando el efecto de la segunda velocidad desde el *set* 3 (este cuenta con un solar loco, es decir que siempre girará libremente y por eso no es tomado en cuenta en el diagrama).
- Cuarta velocidad: esta velocidad también es llamada directa, ya que las revoluciones del eje de entrada serán iguales a las del eje de salida, esto se logra acoplando C1 y C2, para que tanto los anillos como los solares se muevan a la misma velocidad, haciendo que los planetarios no roten y la transmisión sea directa.
- Quinta velocidad: se acopla C2 para que se transmita el movimiento a los planetarios del *set* 2, y C3 para que gire el solar loco del *set* 1, esto permitirá que se logre una relación sobremarcha.
- Sexta velocidad: al acoplar C2 existe velocidad de entrada en los planetarios del *set* 2 los cuales harán que gire el anillo del *set* 1 a alta velocidad y los solares a baja mientras el anillo del *set* 2 es detenido por C4 y esto dará como resultado una relación de alta velocidad de salida.
- Retroceso: para el retroceso, al acoplar C3 se hace girar el anillo del *set* 2, mientras sus planetarios serán estacionarios, lo cual hará que el giro del solar se revierta, transmitiendo del mismo eje al solar del *set* 1, que transmitirá a sus planetarios. Cabe recalcar que se debe acoplar C5 para que el anillo esté detenido: y al igual que la primera velocidad, la relación sea para incrementar la torsión.

El encargado de acoplar y desacoplar los embragues dentro de la transmisión automática es un sistema hidráulico que se vale de la presión aplicada sobre un fluido y lo transmite hacia los embragues correspondientes para que opere apropiadamente. Este sistema debe controlar parámetros como la velocidad del automóvil y la presión realizada por el conductor en el pedal para que el automóvil se conduzca correctamente. Los embragues en este caso son varios discos, algunos de estos tendrán dentado en el interior de su circunferencia, mientras otros en su exterior; cuando no están en contacto se dice que están desacoplados, y el movimiento no se transmitirá. Mientras que en contacto o acoplados se transmitirá el movimiento entre discos.

Figura 11. **Embragues**



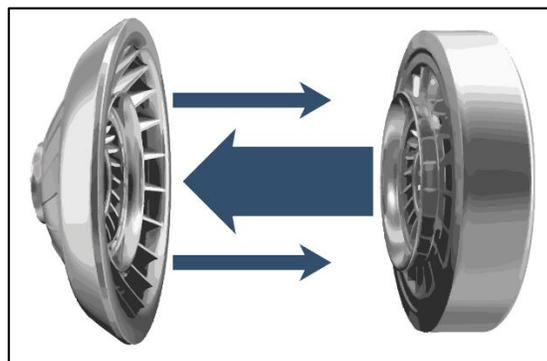
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft PowerPoint 365.

La bomba hidráulica, dentro de la transmisión automática tomará el fluido hidráulico y lo moverá dentro de ella para que la transmisión se mantenga lubricada y el sistema hidráulico actúe correctamente. Esto lo hará succionando fluido de la aceitera de la transmisión, lo pasará a través de un filtro para, posteriormente, pasar al resto de componentes.

En un vehículo con transmisión mecánica, para detenerlo completamente se debe presionar el pedal del embrague y que el motor pueda seguir girando en ralentí mientras las llantas están estáticas. En el caso de las transmisiones automáticas, el encargado de realizar esta tarea es el convertidor de potencia, ya que es el que permite que el automóvil se detenga por completo sin apagarse.

El convertidor de torque consta de 3 partes: una bomba (distinta a la mencionada anteriormente), una turbina y un estator. La bomba se encuentra dentro de la carcasa y acoplado al volante del motor, así que esta girará a las mismas RPM del motor, mientras que, dentro de la carcasa, pero acoplado al eje de salida se encuentra la turbina. Ambos componentes se encuentran uno frente a el otro, primero la bomba toma el fluido hidráulico y lo mueve de forma centrífuga hacia afuera, y adelante, donde lo recibe la turbina y esta gira y lo envía hacia adentro realizando un ciclo entre estos componentes, como se muestra en la figura 12.

Figura 12. **Convertidor de torque**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft PowerPoint 365.

Hasta este punto no existe una conversión de torque significativa, así que para que se desempeñe como se debe el convertidor, entre la bomba y la turbina se colocará el estator. El fluido corre de la turbina al estator y este cambia la dirección del fluido debido a sus alabes, traduciendo así un cambio de par por la diferencia de velocidad del fluido, ya que sale del estator más lento.

Figura 13. **Partes de un convertidor de torque**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft PowerPoint 365.

Finalmente, otros elementos tienen su participación vital en la transmisión, como el gobernador, el cuerpo de válvulas, los pistones, entre otras. Sin embargo, para fines prácticos se abordarán, únicamente, las partes principales para comprender esta transmisión y sus diferencias con las otras.

2.2.2. Características de desempeño y operación

La operación de una transmisión automática es sencilla, encontrar en estos automóviles una palanca con letras de diferentes significados: P para *parking* o aparcamiento, R para *reverse* o retroceso, N para neutro o neutral, D para drive o manejo, L para *low* o relación lenta y, en algunos casos, números que darán una serie de relaciones extras para una mayor fuerza.

Al oprimir el pedal de freno se puede seleccionar con la palanca la relación que más convenga. Cuando se selecciona el drive, la transmisión está lista para ir hacia adelante y por sí misma colocar la relación que necesita, basta sacar el pedal de freno, presionar el acelerador y maniobrar el vehículo.

Las ventajas de esta transmisión es un manejo confortable y sumamente cómodo; es perfecto para usarse en ciudad, debido a que, detenerse de forma constante será sencillo y el conductor debe olvidarse de realizar cambios de relación. Sin embargo, debido a que usa un convertidor de potencia y un sistema hidráulico, en este existirán pérdidas de eficiencia, y esto se traducirá en un consumo de combustible más alto en comparación a las transmisiones mecánicas. Se puede decir que esta transmisión sacrifica consumo para brindar una mayor comodidad. Por otro lado, si esta se usa de una manera errónea, los daños pueden ser muy grandes y tener costos de mantenimiento correctivo sumamente altos.

2.2.3. Mantenimiento

El mantenimiento de las transmisiones automáticas se realizará con base en dos factores importantes, la vida útil del aceite y del filtro que se utilicen; además del kilometraje que el fabricante recomiende.

Para realizar el servicio, es necesario revisar las aprobaciones del aceite que el fabricante recomienda aplicar al vehículo para que este no sufra fallas.

Algunas de estas aprobaciones pueden ser: Dexron II, Dexron III, Dexron IV, Allison C-4, RenkDoromat, entre otras. El kilometraje de servicio será propuesto por el fabricante del automóvil o el fabricante del lubricante y filtro que se use. Es recomendable obedecer las indicaciones del fabricante del vehículo como primera instancia.

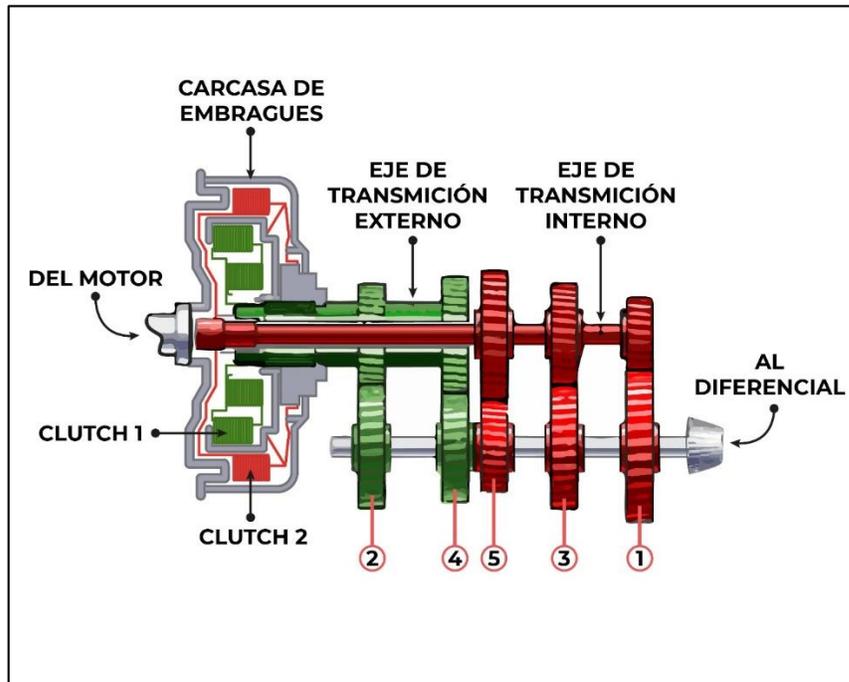
2.3. Transmisión de doble embrague

Las transmisiones de doble embrague se encuentran en constante debate, si deben ser llamadas automáticas o mecánicas. Estas transmisiones pueden ser controladas por el conductor, escogiendo la relación necesaria o pueden también ser autónomas, sin embargo, en cuestión de componentes son parecidas a las transmisiones mecánicas.

2.3.1. Principios de funcionamiento mecánico

Como se indicó en el primer capítulo, este sistema fue inventado desde 1939, sin embargo, existía un problema, en estos años los avances electrónicos eran prácticamente nulos, por eso este sistema fue descartado. En la actualidad, con los avances de los sistemas electrónicos, se ha creado una forma de traerla a la vida e incluso mejorar los sistemas existentes. Para comprender el funcionamiento del sistema mecánico, en la figura 14 se observan las partes principales de este.

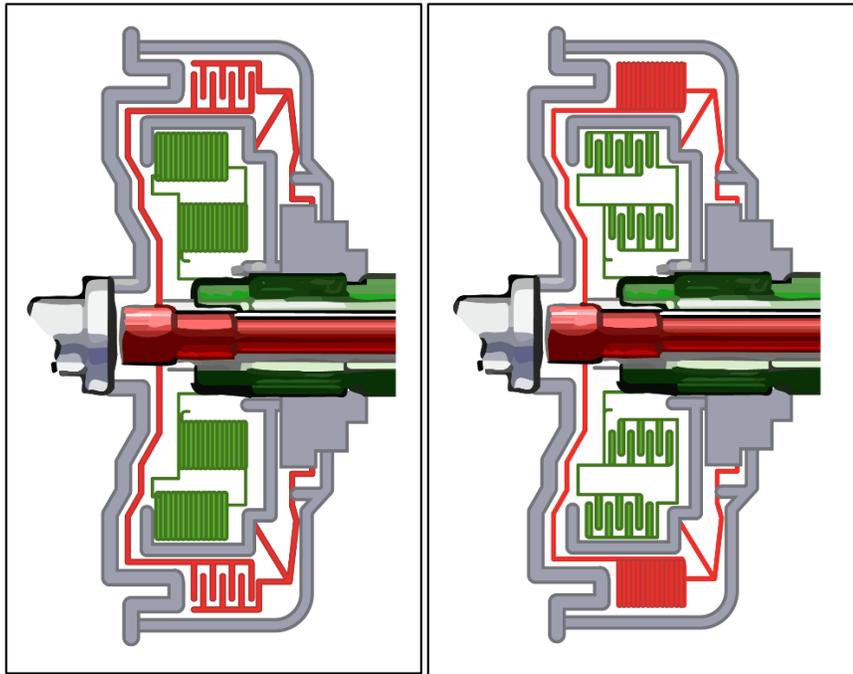
Figura 14. Transmisión de doble embrague



Fuente: MARSHALL, Brain; CHERISE, Threewitt. *How Manual Transmissions Work*.
<https://auto.howstuffworks.com/transmission.htm#pt3>. Consulta: 10 de diciembre de 2020.

Comenzando con la parte de los embragues, esta transmisión posee 2 de ellos, sin embargo, ningún pedal para acoplarlos o desacoplarlos. Estos discos de embrague se usan en grupos como en la transmisión automática, unos con dientes en su interior y otros dentados en su exterior, esto hará posible acoplar al eje del motor, ya sea el eje de entrada 1 o el eje de entrada 2. En la figura 15 se aprecia cómo está acoplado el embrague 1, mientras el segundo está desacoplado y, también cómo está acoplado el embrague 2; mientras el 1 está desacoplado. El acople y desacople de estos discos se realiza por presión hidráulica, ya sea en un resorte de diafragma o con un resorte de compresión.

Figura 15. **Mecanismo del doble embrague**



Fuente: MARSHALL, Brain; CHERISE, Threewitt. *How Manual Transmissions Work*.
<https://auto.howstuffworks.com/transmission.htm#pt3>. Consulta: 10 de diciembre de 2020.

En la parte posterior se observa que el mecanismo es muy parecido al de una transmisión mecánica, ya que el cambio de relaciones se realizará con sincronizadores y discos que anclarán los engranes al eje donde rotan para realizar la transmisión, por eso se dice que la manera de colocar la relación es la misma, exactamente que la transmisión manual. Sin embargo, se observa que existen dos ejes de entrada, y que estos tienen consigo los engranes que se encontraban en el eje de salida de la transmisión mecánica. Así que en este caso, el eje de salida es el mismo en el que rotan los engranes que hacen posible el cambio de relación.

Los ejes de entrada se encuentran uno después del otro atravesando su interior, y uno de estos contiene las relaciones de velocidades pares mientras el otro, las impares.

En este momento se encuentra la diferencia que marca la revolución de las transmisiones de doble embrague, cuando se selecciona la primera relación se acoplará en el eje de entrada 1 la primera relación, mientras en el eje de entrada 2 se acoplará la segunda relación, pero C1 estará acoplado dando como resultado la conexión de la primera velocidad. Cuando se selecciona la segunda relación el C1 suelta, mientras el C2 acopla y el eje de entrada 2 transmitirá la segunda relación, mientras el eje de entrada 1 estará libre. En el eje 1 se selecciona, desde ya, la tercera relación. De esta manera el proceso se repite sucesivamente subiendo las relaciones.

El cambio del acople de los embragues será realizado por una computadora con solenoides, actuadores hidráulicos y elementos electrónicos.

2.3.2. Características de desempeño y operación

Las transmisiones de doble embrague son a veces llamadas semiautomáticas debido a que se pierde el pedal de embrague y que se puede seleccionar en ellas un modo donde el conductor puede manejar el vehículo de manera automática, sin escoger las relaciones; sin embargo, existe un modo de manejo donde el conductor a través de paletas detrás del volante le indica a la computadora el cambio de relación que desea realizar. El cambio hacia arriba se efectúa en menos de 40 milésimas de segundo; un cambio de compresión o bajada de relación se realizará en más tiempo.

Así que, en un automóvil con una transmisión DCT, no contará con un pedal de embrague, pero se realizarán los cambios de manera manual y de forma muy veloz; este cambio fugaz se traduce en una constante transmisión de poder del motor hacia la transmisión y, por lo tanto, una mayor eficiencia de manejo y combustible. Estas transmisiones ya habían sido usadas en automóviles de competición mucho antes de ser agregadas a automóviles de uso convencional, sin embargo, prometen una gran eficiencia para los automóviles a gasolina usados de manera convencional y un cambio de relación rápido para usos en las calles.

2.3.3. Mantenimiento

Como se mencionó anteriormente, una transmisión DCT es lo más parecido a tener 2 transmisiones manuales con engranes sincronizados, una de ellas controlando las relaciones pares y la otra las impares.

Los embragues son muy parecidos a los de una transmisión automática, tanto por su activación como por su estructura, ya que está formada de varios discos y no del conjunto: canasta, disco, volante y collarín como la transmisión mecánica.

La versión de embragues secos es la más sencilla, esta tiene una lubricación similar a la de una transmisión mecánica, incluso en la actualidad existen transmisiones libres de mantenimiento, esto quiere decir, que no se debe de realizar ninguna acción preventiva y el aceite durará hasta que la transmisión presente alguna falla interna. Sin embargo, el periodo de servicio dependerá del fabricante de la transmisión y si se requiere cambio, también se tomará en cuenta las especificaciones del lubricante a usar en el equipo. La mayoría de estas tienen una capacidad de llenado de únicamente 2 litros.

La segunda versión de embragues húmedos tiene una capacidad de llenado mayor con aproximadamente 7 litros y los periodos de mantenimiento son entre 40 000 a 80 000 km, siempre basándose en las especificaciones del fabricante del vehículo y de segunda instancia, las del fabricante del lubricante utilizado.

Como las transmisiones DCT de embragues húmedos transmiten los pares más altos en comparación a los embragues secos, es por esta razón que son las más usadas en los automóviles actuales, pero, su mejor rendimiento en torque tiene como razón principal, la refrigeración de los embragues, de la cual se encarga el aceite, además de lubricar el resto de los elementos internos.

Todo esto deja claro el porqué esta versión es más compleja que la anterior y necesita de cuidados más explícitos para que el aceite lubrique, refrigere y actúe como aceite hidráulico, evitando desgaste y corrosión.

Ante estas demandas se formula un lubricante especial para estas transmisiones, ya que el aceite de una transmisión mecánica no bastaría como en la DCT de embragues secos. Cabe mencionar que el área mecatrónica es sensible ante la temperatura y oxidación, por lo que es necesario que, el aceite contenga propiedades refrigerantes e inhibidores de oxidación, como parte de su composición.

En conclusión, las transmisiones DCT de embrague húmedo deben usar un aceite formulado, especialmente para su correcto desempeño, debido a que el aceite de una transmisión mecánica no podría lubricar los discos de embrague como se debe y un aceite de transmisión automática como los ATF o los Dexron no podrían lubricar los elementos como es. Es por esta razón que se debe de emplear un aceite específico para doble embrague que reúna las propiedades necesarias de ambos tipos de aceite.

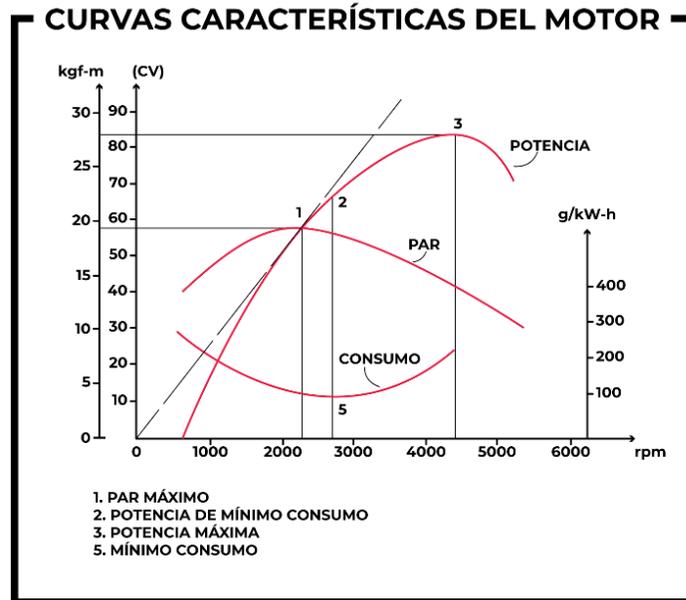
3. PRUEBAS DE DESEMPEÑO EN EL MANEJO

Aunque las tres transmisiones mencionadas anteriormente cumplen una misma función y son muy parecidas entre sí, el verdadero cambio está en el desempeño de manejo y forma de conducción del vehículo. Una transmisión de cambios es el segundo factor más importante en un automóvil después del motor, es la que dará pauta al desempeño, confort, velocidad y suavidad de manejo; incluso es en parte responsable del consumo de combustible. Debido a esto es de vital importancia conocer cómo cada una actúa y cumple la función para la que fueron creadas.

3.1. Curvas de revoluciones por minuto vs. tiempo

Las RPM de un motor son importantes, permiten saber cuánta carga tiene el motor para controlar de mejor manera su desempeño. El torque, el consumo de combustible y la potencia del motor se dan en relación con las RPM a las que este trabaje. A continuación, se muestra en la figura 16 un motor de combustión interna no específico, donde se demuestra las relaciones de los aspectos ya mencionados. Este gráfico tiene como nombre curvas características del motor.

Figura 16. **Curvas características del motor**

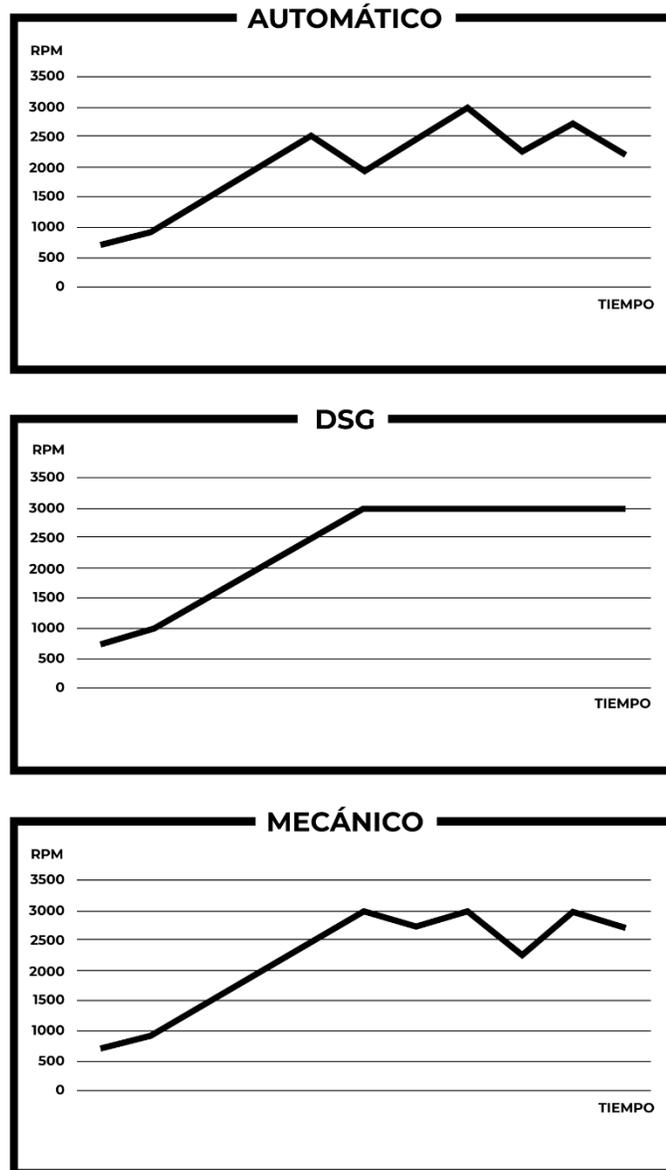


Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

El enfoque es, principalmente, las curvas de par y potencia, se observa que la de potencia tiene su pico más alto en 4 500 RPM y el par en, aproximadamente 2 300 RPM. Esto quiere decir que para que un motor tenga mejor desempeño de par, hay que tratar de mantener en el manejo las RPM en 2 300 y, para que alcance su mejor potencia, mantener el manejo en 4 500 RPM.

Con las curvas características claras, se hace una comparación en el desempeño del vehículo, relacionando las revoluciones por minuto con el tiempo de manejo. La figura 17 muestra las curvas de desempeño de un automóvil mecánico, automático y uno con doble embrague.

Figura 17. **Comparación de RPM vs. tiempo en las diferentes transmisiones**



Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

Se puede notar que la velocidad de cada cambio de relación es vital para mantener las revoluciones en una cantidad determinada. En el caso de la transmisión automática se nota que la velocidad de realización del cambio es más estable que la mecánica, por lo tanto, la caída de las RPM es pareja, mientras que en la transmisión mecánica la velocidad de cambio dependerá de la habilidad del conductor para realizarlos; esto provoca que ambas transmisiones deban revolucionar nuevamente desde la caída.

En el caso del doble embrague, la velocidad de cambio es de aproximadamente 40 milésimas de segundo, una cantidad muy pequeña y casi indetectable en la gráfica, logrando así una curva suave y prácticamente sin caídas.

3.2. Tiempos de 0 a 60 km/h con cada transmisión

Cuando hay un interés en un vehículo, uno de los datos que facilita la decisión es la aceleración desde 0 hasta 60, 100, 200 o incluso más kilómetros o millas por hora. Este dato da una idea clara de la capacidad de aceleración del automóvil, sin embargo, es importante mencionar que, aunque la compañía que fabrica los automóviles presume tiempos de 0 a 60 millas maravillosos, este dato no se apegará a la realidad, intentarlo y lograrlo es casi imposible, ya que estos datos son registrados en lugares con condiciones perfectas para los vehículos. La información registrada en cambios tanto mecánicos, automáticos o de doble embrague son datos no realizados en condiciones normales ni por gente común que maneja un automóvil de diario.

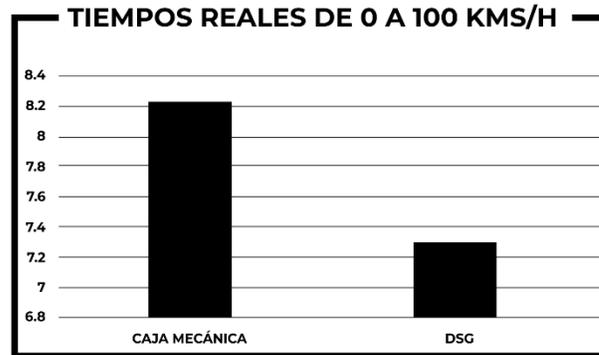
Debido a que los vehículos son probados bajo condiciones ideales, la fábrica registra los datos de una transmisión manual, automática y de doble embrague como iguales. Pero en la práctica, realizar un cambio largo en una

transmisión mecánica (como es comúnmente de segunda a tercera) en un tiempo de 40 milésimas de segundo a como lo realiza una transmisión de doble embrague, suena imposible, y relacionar varios embragues como en la transmisión automática en la misma cantidad de tiempo, también suena una tarea difícil. Y es acá donde la transmisión de doble embrague sí logra realizar el cambio de relación rápidamente, acercándose más a los datos de fábrica que los de otro tipo de transmisión.

La transmisión de doble embrague tiene preseleccionada la velocidad siguiente y posee mecatrónica que responde instantáneamente a lo que se le pide, mientras que en la transmisión automática tiene que pasar por el cuerpo de válvulas y desembragar y embragar varios juegos de embrague en lugares diferentes.

La transmisión mecánica, a diferencia de las demás, presentará la velocidad de cambio que el conductor puede realizar, el procedimiento es, dejar de acelerar, pisar el pedal del embrague, colocar la relación de forma manual y soltar gradualmente el pedal al mismo tiempo que se pisa el pedal del acelerador. Esta operación será tan rápida como el conductor pueda efectuarlo. En una situación real, los valores se asemejan a la figura 18 tomando como base un automóvil Volkswagen en una versión DSG y una versión mecánica.

Figura 18. **Comparación en tiempos de aceleración**



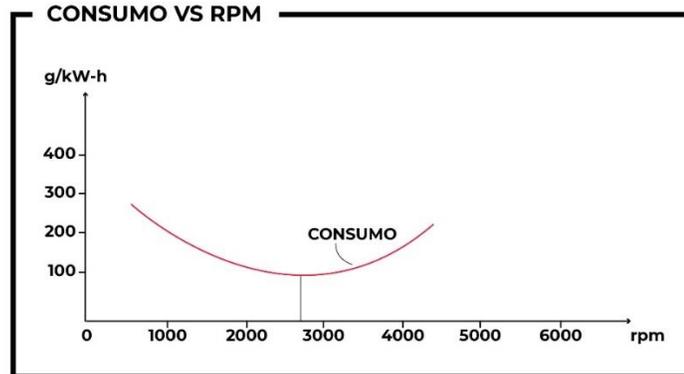
Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

3.3. Consumo de combustible

En esta parte se hará énfasis en la línea de consumo de las curvas características de un motor dadas en la figura 19. Partiendo únicamente de la línea de consumo, en la figura 19 se establece que existe un punto de bajo consumo denominado valle, el cual dirá a qué revoluciones por minuto el consumo es menor, en el caso de este motor se encontraría en 2 800 RPM aproximadamente.

Esto se traduce en que, manteniendo el motor en trabajo a estas RPM representará un consumo de combustible bajo. Pero, mantener las revoluciones en un punto es un trabajo difícil y más en una ciudad donde el automóvil se detiene constantemente. Esas subidas y bajadas de revoluciones en las transmisiones estándares son las que harán que gasten más que la transmisión de doble embrague, la cual realiza el cambio de relación, disminuyendo la caída de revoluciones y, al mismo tiempo, aplanando la línea de consumo a lo largo del tiempo de uno del vehículo.

Figura 19. **Curva de consumo**



Fuente: elaboración propia, empleando programa estadístico Minitab 19.

El consumo de combustible es significativo e incluso las marcas dan las especificaciones, aclarando que la transmisión de doble embrague será más eficiente con respecto al uso de combustible.

A continuación, en la figura 20 se comparan dos vehículos relativamente parecidos, en la primera figura el automóvil es el mismo, con la única variable de que uno tendrá una transmisión manual de embrague sencillo y el otro una transmisión de doble embrague.

Figura 20. **Comparación de transmisión mecánica y de doble embrague**

INFORMACIÓN GENERAL



MARCA	VOLKSWAGEN	VOLKSWAGEN
MODELO	POLO	POLO
MOTOR	GTI 2.0 TSI (200 HP)	GTI 2.0 TSI (200 HP) DSG
CONSUMO	8.2 l/100KM	7.3 l/100KM
TIEMPO 0-100 KM/H	6.7 S	6.7 S

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Por otro lado, debido a que en estos años la transmisión automática convencional es ya poco usada, se comparan dos automóviles de diferentes compañías, pero con especificaciones parecidas, uno de ellos con una transmisión automática con una variación *steptronic* de BMW, y el otro, un Audi con transmisión de doble embrague.

Figura 21. **Comparación de transmisión automática y de doble embrague**

INFORMACIÓN GENERAL		
		
	BMW 1 SERIES HATCHBACK 5DR	MERCEDES-BENZ CLA X117
MARCA	BMW	MERCEDES-BENZ
MODELO	1 SERIES	CLA
CONSUMO	9.8 l/100 KM	9.1-8.8 l/100 KM
PESO	1540 KG	1615 KG
PODER	340 HP @ 5500 RPM	360 HP @ 6000 RPM
TIEMPO 0-100 KM/H	4.4 S	4.7 S

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 365.

Para esta comparación se seleccionaron estos modelos debido a que, aunque presenten una diferencia de poder de 20 hp, estos poseen un peso diferente que brinda, aproximadamente 0,22 hp por cada kilogramo en ambos, siendo así los candidatos perfectos para confrontar en consumo.

4. INTERPRETACIÓN Y RECOPIACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Características mecánicas importantes en las DCT

Para dejar una idea clara de las características mecánicas de una transmisión de doble embrague, esta transmisión tiene el mismo principio de una transmisión manual convencional; con la única diferencia que tendrá 2 ejes de cambios anclados a un eje de salida y que cada uno tendrá su embrague.

Sin embargo, en la parte de los embragues se asemejará más a una transmisión automática, ya que posee discos de embragues en lugar del conjunto canasta, disco y collarín; y también, porque debido a la mecatrónica que posee, esta transmisión tiene la capacidad de ser autónoma. No obstante, depende de dónde se busque información la nombran semiautomática, secuencial, automática o incluso mecánica, en algunos casos.

En el caso de los dos embragues, estos pueden ser húmedos o secos, los cuales se diferencian, principalmente en el torque que entregan. El tipo de embragues que posea esta transmisión dictará la lubricación que necesita, ya que los húmedos necesitarán que el aceite también refrigere.

Disponen de hasta 10 velocidades y relaciones de reversa que casi siempre es solo una. En modo de conducción poseen un programa de conducción normal (D por su inicial en inglés de la palabra *drive*, traducida como conducir) y otro de conducción deportiva (S de *sport*), y un modo de cambio manual mediante palanca o levas en el volante.

También poseen mecatrónica, la cual es una unidad de control electrónica y electrohidráulica que dispondrá el cambio de relación, ya sea por lo que el conductor decida o de las disposiciones que el resto de la electrónica del motor y transmisión le dicte en el modo automático.

4.2. Ventajas de la transmisión DCT contra las transmisiones automáticas y mecánicas

El avance e inclusión de la transmisión de doble embrague en el mercado automotriz trae con ella una cantidad de ventajas notables, una de ellas y la que los entusiastas consideran como la más importante es el desempeño del vehículo, ya que realizar los cambios en un periodo de tiempo tan corto es imposible en una transmisión mecánica, sin mencionar que en el modo manual el conductor puede tener el control y decidir exactamente qué relación quiere, a su gusto y conveniencia, lo cual le da la sensación de un manejo controlado que no tiene en una transmisión automática convencional.

Por otro lado, el consumo de combustible se logra mejorar de una manera muy significativa, lo cual se traduce en una mejor economía para el consumidor, y al mismo tiempo, un menor uso de combustibles fósiles, que son dañinos para el medio ambiente, tanto en su extracción y procesamiento como en su uso en los motores.

El confort de manejo que posee la DCT es notable en las curvas de RPM, ya que no se realiza un golpe brusco en cada cambio de relación, lo cual brinda un manejo apacible.

Cabe mencionar que el avance en mecatrónica que posee este equipo, permite que el ser humano explore nuevas tecnologías que lo ayudan a adaptarse mejor a su ambiente y brindar una mayor comodidad de vida.

4.3. El futuro de las transmisiones DCT

La transmisión de cambios DCT, actualmente está siendo opacada por las tecnologías que los motores eléctricos incorporan con mucha rapidez. Sin embargo, el uso de los motores a combustión interna, también está pasando por avances significativos y tienen un futuro prometedor. La transmisión DCT en automóviles de uso urbano es uno de los avances tecnológicos importantes de la época, ya que presenta grandes ventajas competitivas frente a las otras transmisiones.

Actualmente, pocos vehículos usan este sistema, ya que para motores de baja cilindrada se prefiere usar una transmisión automática, porque es un automóvil que está pensado para uso ciudadano donde el cambio de relación rápido no es importante. Se ha optado en estos vehículos por variantes de transmisiones automáticas donde no se siente el cambio o simplemente no existen, como en una transmisión continuamente variable, pero que no dan el desempeño que una transmisión DCT brindaría.

En automóviles de alto caballaje, pensados GT o gran turismo (tipo de automóvil usado para viajes largos que deben presentar una buena potencia de la mano de un buen confort) se han integrado las transmisiones DCT y mecánicas, por el desempeño del combustible y por el control.

En otros tipos de automóviles de alto caballaje, pensados para entusiastas de la velocidad, también se ha optado por el uso de las transmisiones de doble embrague, como es el caso del Mitsubishi Evolution X, cuya última versión presentó una transmisión denominada SST por la compañía, que era también una transmisión de doble embrague. El grupo Volkswagen, dueño de muchas marcas en el mercado, es el más entusiasta de esta tecnología, se espera que las demás marcas hagan su aparición con el uso de este sistema en sus diferentes motores.

El uso de esta transmisión en distintos modelos de automóviles daría como resultado nuevas experiencias de manejo, un mejor consumo y mejor eficiencia de combustible. También ofrecería la opción de seleccionar el tipo de cambio, ya sea mecánico o automático, con la misma caja. Lo cual daría la sensación de control cuando se necesite y, también, un manejo descansado y tranquilo cuando se desee.

CONCLUSIONES

1. La transmisión de doble embrague es un sistema innovador de una idea antigua, la cual fue introducida al mercado, principalmente en Europa, ya que cuenta con mejores prestaciones que las transmisiones existentes.
2. La transmisión automática funciona con el principio de engranes epicíclicos, mientras que las mecánicas trabajan con engranes paralelos, al igual que la transmisión de doble embrague, sin embargo, esta emplea el uso de embragues de la misma manera que una caja automática.
3. Según las pruebas de manejo se puede notar, principalmente, la caída de las revoluciones en cada cambio de marcha, sin embargo, la caja de doble embrague denota una significativa mejora, ya que esta variación es poca en comparación con las otras. Lo cual representa un manejo más suave y un mejor uso de su potencia.
4. Las ventajas de la transmisión de doble embrague se focalizan en usar la mejor parte de ambas transmisiones y así mejorar en el desempeño, consumo y confort frente a las transmisiones: mecánica y automática.

RECOMENDACIONES

1. Conocer la transmisión de doble embrague, debido a que es una tecnología añadida recientemente al mercado convencional, es imprescindible su mecanismo y piezas antes de realizar algún mantenimiento sobre ellas.
2. Conocer cómo el uso de tecnología antigua es apoyada por la moderna, y de esta forma realizar una máquina capaz de satisfacer necesidades e innovar en el mundo motor.
3. Conocer las características del automóvil que se operará, debido a que los diseños son diferentes y deben ser usados correctamente.
4. Consultar manuales del fabricante para conocer qué lubricante y lapso de mantenimiento preventivo necesitará la transmisión de cada vehículo.

BIBLIOGRAFÍA

1. BELLIS, Mary. *Inventos*. [en línea]. <<http://theinventors.org/library/inventors/blPanhardLevassor.htm>>. [Consulta: 8 de julio de 2020].
2. COSTAS, Javier. *Breve historia de la transmisión de doble embrague*. [en línea]. <<https://www.motorpasion.com/tecnologia/breve-historia-de-la-transmision-de-doble-embrague>>. [Consulta: 17 de agosto de 2020].
3. GeBox. *La transmisión de doble embrague. Un invento... ¿reciente?* [en línea]. <<https://www.gebox.es/la-transmision-de-doble-embrague-un-invento-reciente/>>. [Consulta: 17 de agosto de 2020].
4. JATCO. *Historia de la corporación*. [en línea]. <<https://www.jatco.co.jp/english/company/history.html>>. [Consulta: 17 de agosto de 2020].
5. MARSHALL, Brain; CHERISE, Threewitt. *How Manual Transmissions Work*. [en línea]. <<https://auto.howstuffworks.com/transmission.htm#pt3>>. [Consulta: 10 de diciembre de 2020].
6. PARKER, Mike. *The History of Manual Transmissions*. [en línea]. <<https://itstillruns.com/history-manual-transmissions-5163365.html>>. [Consulta: 8 de julio de 2020].

7. URIARTE, Julia Máxima. *Historia del automóvil*. [en línea]. <<https://www.caracteristicas.co/historia-del-automovil/>>. [Consulta: 8 de julio de 2020].

8. ZANESE. *El origen de la transmisión automática*. [en línea]. <<https://cajasautomaticaszanese.com/2016/09/20/el-origen-de-la-transmision-automatica/>>. [Consulta: 3 de agosto de 2020].

ANEXOS

Anexo1. Transmisión de doble embrague



Fuente: Periodismo del motor. *Caja de cambios de 6 velocidades.*
<https://periodismodelmotor.com/wp-content/uploads/2013/04/caja-cambios-dsg-6-velocidades.jpg> consulta: 17 de noviembre de 2021.

Anexo2. Transmisión automática

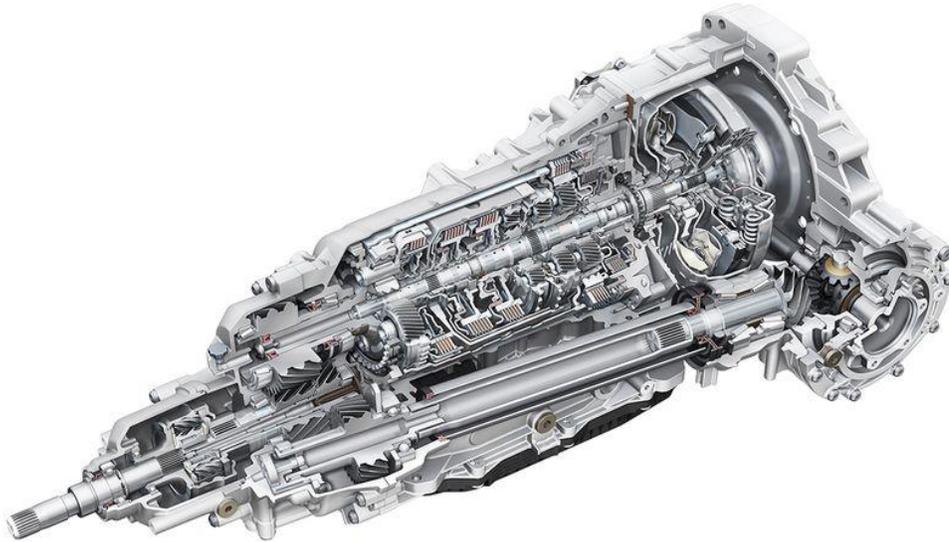


Fuente: Cajas automáticas ZANESE. *El origen de la transmisión.*

<https://cajasautomaticaszanese.com/2016/09/20/el-origen-de-la-transmision-automatica/>

Consulta: 17 de noviembre de 2021.

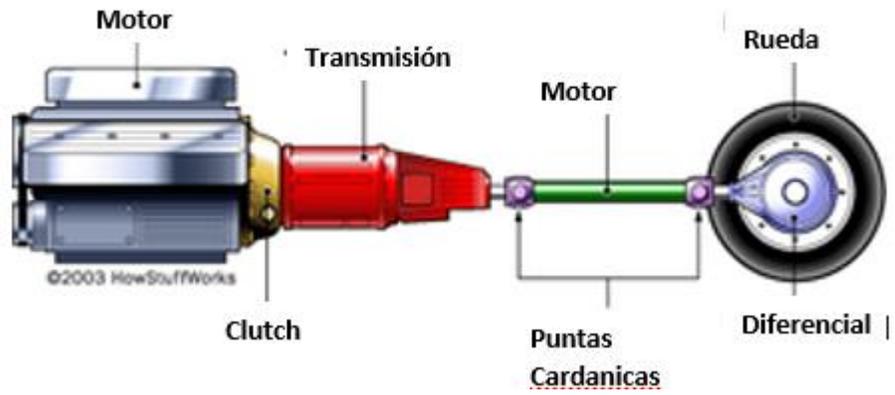
Anexo3. Transmisión mecánica



Fuente: MARSHALL, Brain; CHERISE, Threewitt. *How Manual Transmissions Work.*

<https://auto.howstuffworks.com/transmission.htm#pt3>. Consulta: 17 de noviembre de 2021.

Anexo 4. Partes del sistema de transmisión



Fuente: MARSHALL, Brain; CHERISE, Threewitt. *How Manual Transmissions Work*.
<https://auto.howstuffworks.com/transmission.htm#pt3>. Consulta: 17 de noviembre de 2021.

Consulta: 17 de noviembre de 2021.

