



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

**CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LA CAJA DE CAMBIOS CONTINUAMENTE  
VARIABLE (CVT POR SUS SIGLAS EN INGLES) SOBRE LAS CAJAS DE  
CAMBIOS MECÁNICAS, AUTOMÁTICAS ESTÁNDAR Y TIP-TRONIC**

**Pablo José Letona López**

Asesorado por el Ing. Roberto Guzmán Ortíz

Guatemala, junio de 2014



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LA CAJA DE CAMBIOS CONTINUAMENTE  
VARIABLE (CVT POR SUS SIGLAS EN INGLÉS) SOBRE LAS CAJAS DE  
CAMBIOS MECÁNICAS, AUTOMÁTICAS ESTÁNDAR Y TIP-TRONIC**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**PABLO JOSÉ LETONA LÓPEZ**

ASESORADO POR EL ING. ROBERTO GUZMÁN ORTÍZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, JUNIO DE 2014



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Veliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Veliz Padilla
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

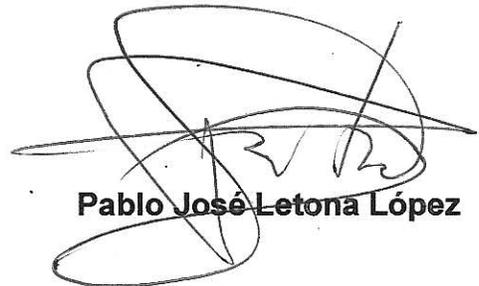


## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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 CAMBIOS CONTINUAMENTE VARIABLE (CVT POR SUS SIGLAS EN INGLÉS) SOBRE LAS CAJAS DE CAMBIOS MECÁNICAS, AUTOMÁTICAS ESTÁNDAR Y TIP-TRONIC**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 24 de noviembre del 2009.



**Pablo José Letona López**



Guatemala, 27 de mayo de 20014

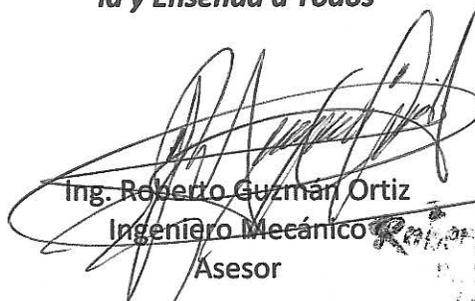
Ingeniero  
Julio Cesar Campos Paiz  
Director  
Escuela de Ingeniera Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Campos:

Es un gusto saludarlo y al mismo tiempo informarle que he revisado en su totalidad el trabajo de graduación de el estudiante Pablo José Letona López, que se identifica con número de carné 9040966, titulado **CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LA CAJA DE CAMBIOS CONTINUAMENTE VARIABLE (CVT POR SUS SIGLAS EN INGLES) SOBRE LAS CAJAS DE CAMBIOS MECÁNICAS, AUTOMÁTICAS ESTÁNDAR Y TIP-TRONIC**, el cual cumple con los objetivos propuestos de manera satisfactorio.

En tal virtud lo doy por aprobado y le solicito darle el trámite que corresponde.

Atentamente  
*"id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Roberto Guzmán Ortiz  
Ingeniero Mecánico  
Asesor

*Roberto Guzmán Ortiz*  
INGENIERO MECANICO  
Colegiado No. 4.465

*Roberto Guzmán Ortiz*  
INGENIERO MECANICO  
Colegiado No. 4.465





**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.115.2014

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 CAMBIOS CONTINUAMENTE VARIABLE (CVT POR SUS SIGLAS EN INGLES) SOBRE LAS CAJAS DE CAMBIOS MECÁNICAS, AUTOMÁTICAS ESTÁNDAR Y TIP-TRONIC**, del estudiante **Pablo José Letona López**, recomienda su aprobación.

**"Id y Enseñad a Todos"**

Ing. Alvaro Antonio Avila Pinzón  
Coordinador del Área de Diseño  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Alvaro Antonio Avila Pinzón  
INGENIERO MECANICO  
COLEGIADO No. 2262

Guatemala, junio de 2014.





**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.122.2014

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, con la aprobación del Coordinador del Área Térmica, del trabajo de graduación titulado **CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE LA CAJA DE CAMBIOS CONTINUAMENTE VARIABLE (CVT POR SUS SIGLAS EN INGLÉS) SOBRE LAS CAJAS DE CAMBIOS MECÁNICAS, AUTOMÁTICAS ESTÁNDAR Y TIP-TRONIC**, del estudiante **Pablo José Letona López**, procede a la autorización del mismo.

***"Id y Enseñad a Todos"***

  
Ing. Julio Cesar Campos Paiz  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

MA Ing. Julio César Campos Paiz  
DIRECTOR  
Esc. Ingeniería Mecánica

Guatemala, junio de 2014.



Universidad de San Carlos  
de Guatemala

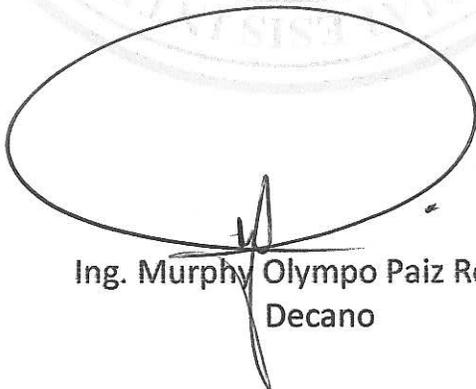


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 300.2014

El Decano 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 CAMBIOS CONTINUAMENTE VARIABLE (CVT POR SIGLAS EN INGLES) SOBRE LAS CAJAS DE CAMBIOS MECÁNICAS, AUTOMÁTICAS ESTÁNDAR Y TIP-TRONIC**, presentado por el estudiante universitario **Pablo José Letona López**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 23 de junio de 2014

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Creador de todo lo que nos rodea y nos proporciona la sabiduría.
<b>Santísima Virgen María</b>	Madre abnegada, siempre me a acompañado.
<b>Mis padres</b>	Rodolfo Letona y Magra de Letona, quienes con todo su amor, confianza, ejemplo y apoyo han formado un profesional más en la familia.
<b>Mis hermanos</b>	Peter (q.e.p.d.), Mike, Tomas, Edgar, Francisco, Ana y Luisa Letona López, por su apoyo en momentos especiales, siempre estamos el uno para el otro.
<b>Silvia Letona (q.e.p.d.)</b>	Aunque esta lejos, gracias misión cumplida y a tomar la siguiente.
<b>Pedro Roberto Ciani Hernández (q.e.p.d.)</b>	Por ayudar a liberar la mente y pensar siempre más allá.
<b>Rosalía de Genasi</b>	Por su comprensión y apoyo en momentos muy particulares.

**Mis tíos**

Rony, Beatriz, Leonel Letona Castañeda (q.e.p.d.) que nunca dudaron que este día llegaría.

**Mis tíos**

Julio (q.e.p.d.), José, Marta Olga López Ciani, por su apoyo incondicional en todo momento.

**Mis primos**

Que por ser tantos es difícil nombrarlos, siempre estamos juntos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por proporcionarme el conocimiento y guiar en la difícil senda de la sabiduría.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por enseñarme que no todo esta escrito en los libros, la experiencia y lógica son base fundamental del aprendizaje.
<b>Mis catedráticos</b>	Rodolfo Samayoa, Otto Hurtarte, Ricardo Contreras y Amahan Sánchez, siempre compartiendo el conocimiento.
<b>Mis amigos de la Facultad</b>	Amílcar Figueroa, Dennis Lemus, Jorge Santis, Carlos Gamero, Yolanda Muñoz, Gabriela Olavarruet, Tiu Sim Lee y David Dardon, siempre estamos.
<b>Departamento de Física</b>	Siempre aprendemos de todos un poco.
<b>Café Nissi</b>	Mi lugar para estudiar, compartir.
<b>Ing. Roberto Guzmán</b>	Más que catedrático y asesor, el alumno le enseñó al maestro.
<b>Lic. Manolo Fernández</b>	Por consejos pequeños de gran utilidad.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. LA CAJA DE CAMBIOS .....	1
1.1. Teoría y principio de operación .....	2
1.2. Velocidades o cambios de relación .....	3
1.3. Tipos de cajas de cambios .....	3
1.4. Punto óptimo de aprovechamiento del combustible .....	4
2. LA CAJA DE CAMBIOS MECÁNICA .....	7
2.1. Historia .....	7
2.2. Teoría y principio de operación .....	10
2.3. Características de operación .....	20
2.4. Relaciones fijas manuales .....	21
2.5. El mantenimiento y su lubricante .....	22
2.6. Ventajas de operación .....	23
3. LA CAJA DE CAMBIOS AUTOMÁTICA ESTÁNDAR .....	25
3.1. Historia .....	25
3.2. Teoría y principio de operación .....	31
3.2.1. Set de engranajes epicíclicos .....	33

3.2.2.	Set de engranajes compuestos .....	34
3.3.	Características de operación.....	37
3.3.1.	Sistema hidráulico .....	38
3.3.1.1.	Bomba hidráulica.....	40
3.3.1.2.	El gobernador.....	41
3.3.1.3.	Convertidor de potencia .....	42
3.4.	Relaciones fijas automáticas.....	49
3.4.1.	Primera.....	49
3.4.2.	Segunda.....	50
3.4.3.	Tercera.....	51
3.4.4.	Sobremarcha.....	51
3.4.5.	Reversa.....	52
3.4.6.	Bandas .....	53
3.4.7.	Embragues.....	55
3.5.	El mantenimiento y fluido hidráulico ATF (Automatic Transmission Fluid).....	56
3.5.1.	Filtro .....	57
3.5.2.	Empaque de aceitera .....	57
3.5.3.	Lubricante.....	57
3.6.	Ventajas de operación.....	58
4.	LA CAJA DE CAMBIOS AUTOMÁTICA TIP-TRONIC .....	59
4.1.	Historia.....	59
4.2.	Teoría y principio de operación .....	60
4.3.	Características de operación.....	61
4.3.1.	Control electrónico .....	61
4.3.2.	Cuerpo de válvulas.....	63
4.4.	Relaciones fijas automáticas o manuales .....	64
4.5.	El mantenimiento y aceite lubricante.....	66

4.6.	Ventajas de operación .....	67
5.	LA CAJA DE CAMBIOS CVT Y SUS VARIANTES .....	69
5.1.	Historia .....	69
5.2.	Teoría y principio de operación .....	71
5.3.	Relaciones variables automáticas .....	74
5.4.	Fluido hidráulico .....	74
5.5.	La CVT y sus variantes.....	75
5.5.1.	CVT de polea variable .....	75
5.5.1.1.	Características de operación .....	76
5.5.1.2.	Faja o cadena de transmisión.....	79
5.5.1.3.	El mantenimiento.....	80
5.5.1.4.	Control electrónico.....	81
5.5.1.5.	Ventajas de operación .....	81
5.5.2.	CVT toroidal y T-CVT .....	82
5.5.2.1.	Características de operación .....	83
5.5.2.2.	Los discos toroidales y rodillos de transmisión .....	89
5.5.2.3.	El mantenimiento.....	93
5.5.2.4.	Sistema de control.....	94
5.5.2.5.	Ventajas de operación .....	94
5.5.3.	IVT .....	95
5.5.3.1.	Características de operación .....	99
5.5.3.2.	Los discos toroidales y rodillos de transmisión .....	107
5.5.3.3.	El mantenimiento.....	107
5.5.3.4.	El control electrónico .....	108
5.5.3.5.	Ventajas de operación .....	108

6.	CAMPOS DE APLICACIÓN DE UNA CVT Y SUS VARIANTES .....	111
6.1.	Industria automotriz y sus ventajas .....	111
6.2.	Maquinaria agrícola y sus ventajas .....	112
6.3.	Grupos electrógenos y sus aplicaciones .....	113
7.	CARACTERÍSTICAS SENSIBLES POR EL USUARIO EN LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN .....	115
7.1.	Características sensibles por el conductor consumidor .....	115
7.2.	Gráficas de potencia y consumo de combustible propio en cada sistema de transmisión .....	118
7.3.	Resumen de las ventajas y desventajas de los sistema de transmisión .....	123
	CONCLUSIONES .....	127
	RECOMENDACIONES .....	129
	BIBLIOGRAFÍA .....	131

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Sistema de potencia completo .....	10
2.	Esquema de embrague (tipo resorte de diafragma).....	11
3.	Transmisión básica de dos relaciones .....	11
4.	Conexión de una relación .....	13
5.	Ilustración gráfica transmisión manual 6 relaciones.....	15
6.	Corte transversal transmisión manual 6 relaciones.....	15
7.	Diagrama de conexiones en transmisión de 5 relaciones .....	16
8.	Esquema del movimiento en H .....	17
9.	Engrane de reversa.....	18
10.	Esquema y corte transversal de un sincronizador.....	19
11.	Hydra-Matic.....	26
12.	Dynaflow .....	27
13.	Ford-O-Matic.....	28
14.	Borg-Wagner M-35.....	28
15.	Ford C- 4 .....	29
16.	Jatco JR502E .....	31
17.	Sistema epicíclico doble.....	35
18.	Engranajes solares y engranaje de anillo .....	36
19.	Sistema de engranes planetarios doble .....	37
20.	Cuerpo de válvulas y pistones .....	39
21.	Bomba hidráulica (a) .....	40
22.	Bomba hidráulica (b) .....	41
23.	Gobernador.....	42

24.	Convertidor de potencia (partes) .....	44
25.	Esquemático del convertidor de potencia .....	45
26.	Sección del convertidor de potencia (bomba).....	46
27.	Sección del convertidor de potencia (turbina).....	47
28.	Estator .....	48
29.	Banda y actuador hidráulico .....	54
30.	Pistones hidráulicos para los actuadores .....	54
31.	Cilindro de embragues y pistón .....	55
32.	Discos de embrague y placas.....	56
33.	Corte transversal .....	61
34.	Cuerpo de válvulas .....	63
35.	Palanca selectora (modo automático y modo manual) .....	64
36.	Esquema de operación en cada relación.....	65
37.	CVT polea variable .....	70
38.	Esquema del sistema de poleas variable .....	72
39.	Sistema de cavidad toroidal.....	73
40.	CVT de polea variable (esquema) .....	76
41.	Sistema de poleas variables .....	77
42.	Corte de polea variable.....	78
43.	Esquema del sistema de poleas variables.....	78
44.	Faja de transmisión (esquema) .....	80
45.	Geometría de variador toroidal .....	84
46.	Punto de contacto.....	85
47.	Transparencia del sistema T-CVT .....	86
48.	Sección y transparencia de T-CVT .....	87
49.	Gráfica capacidad de torque (Nm) vs. peso (kg) .....	88
50.	Fuerzas aplicadas al rodillo .....	90
51.	Bloque de rodillos dentro de las cavidades.....	91
52.	Sistema hidráulico de control.....	92

53.	EXTroid JR006E .....	95
54.	Esquema de EXTroid JR006E .....	96
55.	Cavidad toroidal en EXTroid JR006E.....	97
56.	Flujo de potencia en EXTroid JR006E .....	98
57.	Sistema epicíclico de engranes.....	99
58.	Configuración de IVT .....	101
59.	Recirculación de potencia en bajo régimen .....	102
60.	Esquema en bajo régimen .....	103
61.	Flujo de potencia en alto régimen .....	104
62.	Esquema en alto régimen .....	104
63.	Velocidades angulares, inercia y torque en un IVT .....	105
64.	Torques y fuerzas sobre el rodillo en una IVT.....	106
65.	Gráfica de curvas par/potencia de un motor .....	118
66.	Gráfica de curvas par-potencia-consumo .....	119
67.	Gráfica de curvas de fuerza-velocidad una CVT y A/T .....	120
68.	Consumo de combustible.....	121
69.	Gráficas de RPM y aceleración en una CVT de Nissan.....	122

## TABLAS

I.	Relaciones típicas de entrada y salida.....	21
II.	Sistema epicíclico.....	33
III.	Relaciones de salida .....	53
IV.	Datos de las T-CVT tipo 1 y 2 .....	88
V.	Resumen de ventajas y desventajas (a) .....	123
VI.	Resumen de ventajas y desventajas (b) .....	124



## LISTA DE SÍMBOLOS

°	Indicativo de grados para ángulos
°C	Temperatura (grados Celsius)
cc	Centímetro cúbico
CV	Caballos de vapor (potencia)
g	Gramo (masa)
GPa	Giga Pascales (presión)
Hz	Hertz (frecuencia eléctrica)
kg	Kilogramo (masa)
kgf	Kilogramo-fuerza
kW.h	kilowatt por hora
m	Metro
Nm	Newton por metro

$R_{13}$  Relación entre  $R_1$  y  $R_3$

$\omega$  Velocidad angular

## GLOSARIO

<b>Actuador hidráulico</b>	Elemento mecánico que trabaja por presión hidráulica.
<b>Aditivo</b>	Componente agregado a los lubricantes para mejorar una característica determinada.
<b>Aeronaves</b>	Cualquier tipo de vehículo con capacidad de volar.
<b>Álabes</b>	Elemento metálico que conforma el compresor en una turbina a reacción.
<b>Aspiración</b>	Ingreso del aire en el cilindro.
<b>ATF</b>	Fluido de transmisión hidráulica.
<b>ATV</b>	Vehículo todo terreno.
<b>Automóvil</b>	Vehículo con autonomía para moverse.
<b>Cavidad toroidal</b>	Cavidad con forma de toroide.
<b>Cilindro</b>	Cavidad dentro de la cual se desplaza el pistón.

<b>Coeficiente de fricción</b>	Valor adimensional de la oposición al movimiento entre dos superficies.
<b>Compresión</b>	Reducción de volumen dentro de un cilindro.
<b>Conducido</b>	El que se hace girar por otro (eje, engrane o polea).
<b>Conductor</b>	El que hace girar a otro (eje, engrane o polea).
<b>Convertidor de torque</b>	Elemento mecánico, transforma energía hidráulica en energía mecánica rotacional.
<b>Corona interna</b>	Engrane conformado en la parte interna de un anillo.
<b>CVT</b>	Transmisión continuamente variable.
<b>Diferencial</b>	Divide la el torque hacia las ruedas de tracción.
<b>Diesel</b>	Combustible, ignición por presión y temperatura.
<b>Dispersión</b>	Separación del lubricante entre dos superficies.
<b>DOHC</b>	Doble eje de levas a la cabeza.
<b>EHL</b>	Lubricación elastohidrodinámica, se obtiene al someter ciertos lubricantes a presiones entre 1 y 4 GPa.
<b>Eje</b>	Elemento metálico para transferir torque.

<b>Eje cardan</b>	Elemento de conexión entre la salida de la transmisión y el diferencial en el eje trasero.
<b>Engrane</b>	Elemento dentado para transferir potencia.
<b>Embrague húmedo</b>	Embrague que trabaja sumergido en líquido.
<b>Engranajes epicíclicos</b>	Sistema de engranes (solar, satélites y anillo).
<b>Erogar</b>	Entregar.
<b>Escape</b>	Salida, liberación de gases.
<b>Estriado</b>	Ranuras sobre una superficie que acoplan con otro elemento con ranuras de geometría inversa.
<b>Esfuerzo excéntrico</b>	Fuerza perpendicular o paralela aplicada a una distancia del eje geométrico.
<b>Fuerza normal</b>	Fuerza perpendicular a una superficie de contacto.
<b>Fluido de acople</b>	Fluido que trabaja como medio de unión entre dos mecanismos.
<b>Gasolina</b>	Combustible, ignición por chispa.
<b>Gas propano</b>	Gas licuado de petróleo LPG.

<b>IVT</b>	Transmisión infinitamente variable.
<b>Jet-1A</b>	Combustible para aeronaves.
<b>JSAE</b>	Sociedad Japonesa de Ingenieros Automotrices.
<b>Keroseno</b>	Líquido inflamable derivado del petróleo.
<b>KTF-1</b>	Especificación de fluido hidráulico para CVT (JSAE).
<b>LPG</b>	Gas licuado de petróleo.
<b>Multi-engrane</b>	Mecanismo de varios engranes trabajando por separado pero se selecciona un en específico.
<b>NS-2</b>	Especificación de fluido hidráulico para CVT (JSAE).
<b>Pistón</b>	Elemento deslizante dentro del cilindro.
<b>Polea variable</b>	Polea con la capacidad de variar la profundidad del punto de contacto.
<b>Radio</b>	Distancia medida desde el centro hasta el extremo en una circunferencia.
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto.
<b>T-CVT</b>	Transmisión toroidal continuamente variable.

<b>Tip-tronic</b>	Transmisión diseñada por el fabricante alemán Porsche.
<b>Torque</b>	Fuerza perpendicular aplicada a una distancia del punto de análisis.
<b>Trabajo de palanca</b>	Resultado de la aplicación de torque.
<b>Turbina a reacción</b>	Motor jet, genera empuje por descarga de aire a mayor velocidad.
<b>UK</b>	United Kingdom.
<b>Vehículo</b>	Medio de transporte.
<b>Velocidad angular</b>	Cantidad de grados desplazados por segundo.
<b>XTronic</b>	Transmisión CVT de polea variable utilizada por Nissan.



## RESUMEN

En los sistemas para transmisión de potencia que se utilizan en la actualidad, el que llama la atención es la transmisión continuamente variable (CVT por sus siglas en inglés), sin olvidarse de los sistemas tradicionales como la transmisión mecánica, automática (estándar y Tip-tronic), cada una de estas presenta diferencias en su diseño y operación. El desarrollo de estas para aplicación automotriz se considera relativamente nuevo y fue la industria japonesa Fuji Heavy Industries, en la segunda mitad de la década de los 80 logra desarrollarla en una forma aplicable. Las CVT y sus variantes basadas en un principio de operación realmente antiguo, son consideradas como tecnología nueva y emergente en el mercado.

Los fabricantes de automóviles a escala mundial como Nissan, Mini Cooper, Jeep, Toyota y Subaru entre otras y que tienen distribuidores autorizados en el país, han incorporando la CVT en sus nuevas líneas de automóviles, ya que las prestaciones que esta ofrece son muy superiores ante los sistemas existentes y utilizados normalmente. La aplicación de esta nueva tecnología en la agroindustria y los sistemas electrógenos son algo realmente innovador y su introducción en el país tomará unos años más.

Algo muy especial de las CVT es su comportamiento y respuesta ante la demanda del conductor, la sensación de golpe o jalón al efectuar los cambios y fluctuación de las revoluciones del motor, normal en los demás sistemas de transmisión, desaparece en su totalidad y proporciona una conducción totalmente suave y realmente refinada. Lograr un mejor aprovechamiento del combustible y mantener al motor en un rango óptimo de erogación de potencia

mediante un control electrónico fácil de entender, simple y a su vez lógico, provee características únicas y muy especiales a los automóviles.

# OBJETIVOS

## General

Identificar las características y ventajas de la caja de cambios continuamente variable (CVT por sus siglas en inglés) sobre las cajas de cambios mecánica, automática estándar y Tip-Tronic, por medio de un documento de consulta con información sobre cada uno de los diferentes sistemas de transmisión de potencia de uso automotriz.

## Específicos

1. Realizar un proceso de investigación para poder analizar en forma teórica los diferentes tipos de cajas de cambios, que son utilizadas por los diversos fabricantes de automóviles comercializados en el mercado local, describiendo su forma de operación y características específicas.
2. Presentar las ventajas y desventajas de las diferentes cajas de velocidades, las cuales serán sensibles por el conductor o usuario final, y el mantenimiento para cada una de estas.
3. Describir el tipo de transmisión CVT y las diferencias con las demás, logrando mejor aceptación de las mismas por parte del consumidor.



## INTRODUCCIÓN

En el mercado existen varios tipos de transmisiones para automóviles las cuales poseen características muy particulares, sea por su diseño u operación. Facilitar a los consumidores información, el entender las partes básicas y su funcionamiento, se convierte en una necesidad para obtener el máximo rendimiento, aprovechamiento de sus características y una mayor vida de servicio.

El describir las partes y el funcionamiento de cada una de las transmisiones ayudará al consumidor en seleccionar un vehículo que cumpla con los requisitos de uso y hábitos de conducción. Presentando información detallada de las transmisiones más utilizadas en la actualidad en la industria automotriz, basada en una comparación y análisis de las ventajas y desventajas, como lo son su complejidad al operarlas, suavidad de conducción, tiempo de respuesta, mantenimiento y tipo de lubricante o fluido que utiliza.

La información disponible es variada, pero una explicación lógica, simple y sin entrar en detalles muy específicos de los diferentes fabricantes, podrá formar una idea clara de las diferencias entre estas. Las CVT (transmisión continuamente variable) aparentemente nueva en el mercado, ofrecen grandes ventajas para el usuario tanto en comodidad de conducción y economía de combustible, todo gracias a su innovador diseño de operación.



## 1. LA CAJA DE CAMBIOS

El ingenio humano y la necesidad de obtener energía tomada de diversas fuentes para desarrollar trabajos, el diseño y la aplicación de los mecanismos para aprovechar dicha energía, empuja al ser humano en un desarrollo de ideas como los molinos de viento utilizados en Holanda para secar los campos, los molinos de granos propulsados por viento o agua tomada del cauce de los ríos, incluso algunos de los diseños más interesantes son los planteados por Leonardo da Vinci (Italia, abril 15, 1452 – mayo 2, 1519), de donde han tomado ideas para muchos diseños actuales.

El poder manejar la energía con los medios disponibles, fue el mayor reto para todo sistema de transmisión en la época, así como el sistema de potencia basado en una caldera de agua, que para ejecutar un trabajo a bajas velocidades libera poco vapor y para mayores velocidades libera una cantidad superior, es fácil de entender si se compara con un tren de vapor. El problema es que dicho sistema tenía como limitante las pendientes, subirlo era lo más difícil y bajarlas no presentaba problema alguno para el sistema de potencia, empero sí para el sistema de frenos. El poder manejar o controlar la potencia a las necesidades de conducción presentaba siempre un problema.

La búsqueda de dar propulsión a los sistema de ruedas en un vehículo y transformarlo en un automóvil era lo más buscado por los inventores de su momento, ingenieros mecánicos, aficionados o simples inventores buscaban la fórmula idónea que fuera primordialmente funcional sin importar el consumo de combustible, ya que la eficiencia no era un tema muy tratado en esos días. Poco a poco se fueron dando los avances y los inventos aparecieron uno a uno,

como el de George B. Selden (septiembre 14, 1846 Clarkson, New York – enero 17, 1922 Rochester, New York), quien en 1877 patentó un sistema de tracción en las ruedas delanteras con un motor transversal de 3 cilindros, lo que se adelantaba más de un siglo a la implementación en vehículos de los fabricantes japoneses Subaru y Suzuki.

### **1.1. Teoría y principio de operación**

Toda caja de cambios tiene como objetivo primordial el control y transmisión de la potencia proveniente del motor hacia el eje y este a las ruedas de tracción, la teoría es simple y se ha mantenido así hasta la actualidad, claro está que algunos fabricantes han presentado diseños más elaborados con mejoras e innovaciones propias, pero al final se alcanza el mismo objetivo.

Esta operación se basa en la relación de radios entre engranes, en otras palabras, la cantidad de vueltas que puede dar el engrane conductor y su relación con las que da el engrane conducido, es tan sencillo como pensar en cuántas vueltas puede dar una rueda con un radio determinado para cubrir una distancia fija y cuántas vueltas necesitará dar otra rueda con radio diferente para cubrir la misma distancia. Como analogía se puede considerar el sistema de cambios de una bicicleta, donde se poseen de uno a tres engranes en el eje central de los pedales, y un grupo de seis engranes acoplados al eje central de la rueda trasera. Conforme se cambia de engranes tanto en el conjunto de pedales como en el eje trasero se obtienen diferentes relaciones, y la presión o fuerza que se debe aplicar para mantener la velocidad varía. Se puede seleccionar la relación dependiendo de la inclinación o condición del terreno.

Así como se seleccionan las relaciones en una bicicleta, también es posible seleccionarlas en los automóviles, y el sistema mecánico encargado de

efectuarlos es la caja de cambios, la cual posee características diferentes y especiales dependiendo del diseño interno.

## **1.2. Velocidades o cambios de relación**

Por lo general se piensa que las transmisiones de los automóviles poseen cambios, y algunos dirán que no, que son diferentes relaciones, ambas premisas son válidas ya que se efectúa un cambio de relación entre los engranes. Se les ha denominado “velocidades”, ya que en cada una de ellas el automóvil es capaz de alcanzar una velocidad determinada, pero la velocidad es sacrificada por la potencia que está disponible para ser utilizada en cada relación, es decir, a bajas velocidades de avance 1ª y 2ª la potencia es erogada en menor tiempo y se alcanza las velocidades de avance deseadas rápidamente, a diferencia de 3ª o 4ª en las cuales al automóvil responde más lentamente al querer aumentar su velocidad de avance. Realmente se está haciendo un cambio de relaciones de vueltas entre el engranaje conductor y el conducido.

## **1.3. Tipos de cajas de cambios**

Por su forma de operar se pueden considerar 3 tipos básicos de transmisiones: mecánicas o manuales, automáticas y continuas variablemente. Cada una de ellas posee características especiales.

- **Mecánicas o manuales:** las transmisiones más utilizadas en los vehículos automotores, no importando si son motocicletas, autos particulares, de pasajeros, servicio pesado o agrícolas. Posee un número determinado de relaciones fijas, los cuales pueden ser seleccionadas a criterio del conductor.

- Automáticas: las transmisiones que poco a poco han ganado terreno, poseen un número determinado de relaciones, pero son seleccionadas por un sistema de control mecánico-electrónico. El sistema de control mecánico está basado en la presión del fluido hidráulico y conforme este cambia, también cambia de relación. El sistema electrónico analiza varias variables para decidir la relación adecuada para cada condición de manejo. También pueden ser seleccionadas por el conductor, pero por el poco conocimiento del funcionamiento de las mismas, muy pocos conductores lo hacen.
- Continuamente variables: un diseño relativamente nuevo en la industria automotriz, pero que por sus características se presenta como la nueva y más confiable alternativa. No posee relaciones fijas, las mismas varían continuamente según las condiciones de conducción.

Se conoce otros tipos de transmisiones como las secuenciales y Tip-Tronic, pero como se observará más adelante, son variantes de la transmisión mecánica y automática. Más adelante y en detalle se analizará cada uno de los diferentes tipos de transmisiones mencionadas. Cada cual es muy especial en su forma de operar y tiene tanto ventajas como desventajas en relación con los otros tipos de transmisión mencionados.

#### **1.4. Punto óptimo de aprovechamiento del combustible**

Como todo sistema a base de combustible, ya sea diesel, gasolina, gas propano (LPG) o bien keroseno refinado (JET-1A), necesitan aire de donde se obtiene el oxígeno necesario y así lograr la combustión deseada. Para poder obtener combustión se necesitan tres elementos básicos, 1: combustible, 2. temperatura y 3. oxígeno, lo cual es conocido como Triángulo de Fuego, los tres

elementos son directamente proporcionales con la combustión, si alguno de estos elementos disminuye o se elimina, la combustión también disminuye o se extingue.

El motor a base de diesel es muy especial ya que este funciona a base de presión y temperatura, el sistema necesita determinada temperatura mínima (350 °C), y presión para que al ingresar el combustible este explote. Por eso el motor no se apaga si se le elimina la fuente de electricidad.

El motor de gasolina cambia un poco, este necesita realmente una chispa para proporcionar la temperatura e iniciar la combustión de la mezcla. A estos motores se les hacen simples modificaciones y trabajan con gas propano (LPG) sin problema alguno. La diferencia notable es la potencia que eroga, esta disminuye.

Los sistemas de keroseno son turbinas a reacción, las cuales son ampliamente utilizadas por las aeronaves, estas necesitan de presión y temperatura para generar la combustión, se pudiera decir que trabajan como el motor diesel pero cambian en aspectos mecánicos, no cuenta con pistones, utiliza un sistema de álabes para generar la presión necesaria.

Cada uno de los sistemas de combustión tiene variables que limitan la potencia o energía que es erogada. Por lo general, en los motores de combustión interna la limitante es el oxígeno que el pistón logra aspirar o introducir en el cilindro. Para tener una idea más clara, el sistema de 4 tiempos consta de: 1. aspiración, 2. compresión, 3. trabajo y 4. escape. En la aspiración ingresa el aire (quien aporta el oxígeno) a la cámara de combustión. Empero si la cantidad de oxígeno es baja, la combustión también será baja y resulta en poca potencia de salida, así por otra parte, si se trata de introducir mayor

combustible, este no se quemara completamente y por ende no es aprovechada toda su energía interna debido a un desbalance en la relación aire-combustible, la cual idealmente es de 14,7 a 1 para motores a gasolina y 14,3 a 1 para motores a diesel.

## **2. LA CAJA DE CAMBIOS MECÁNICA**

### **2.1. Historia**

En todo automóvil el corazón y centro real de trabajo es la caja de cambios, la cual realmente es una transmisión en virtud de su trabajo que es transmitir y controlar la potencia desde el motor hacia el eje de tracción. Esta conformada por un conjunto de engranes, ejes, sistemas de varillas y palancas. Cada uno de estos elementos permite manejar la potencia erogada por los motores y llevarla hacia las ruedas en el eje de tracción.

La transmisión moderna fue presentada en 1894 por los ingenieros franceses Louis-Rene Panhard y Emile Leyassor. Presentaron su invento como el avance más revolucionario en esa fecha, en la incipiente historia de la industria automotriz. Lastimosamente el motor del vehículo mostrado se fundió y debieron conformarse con una conferencia sobre la teoría de transmisión multiengrane, la cual para la prensa fue aburrida y de poco interés. Algunos los calificaron como otro truco más de los charlatanes, intentando ingresar a la fascinación pública con nuevos vehículos motorizados. Posiblemente sin tanta explicación técnica les hubiere resultado mejor, así como lo fue la expresión “Es brutal pero funciona” atribuida a Panhard tiempo después.

Los vehículos para poder transmitir la potencia erogada por los motores hacia las ruedas era simple y fácil de visualizar para cualquier persona. El motor y eje tenían un grupo de poleas trabajando como engranajes reductores, se utilizaban fajas de cuero conectadas entre el eje propulsor y el eje propulsado. Cuando el vehículo se conducía en terreno plano no se

necesitaba mucha potencia de salida y alcanzaba una velocidad máxima de 20 km/h, utilizando una polea grande en el eje propulsor y una pequeña en el eje propulsado, pero cuando se pretendía escalar una pendiente, era necesario detener el vehículo para cambiar la conexión a una polea más pequeña en el eje propulsado y una pequeña en el eje propulsor, y luego poder seguir con la marcha.

No fue hasta un año después de su triste conferencia de prensa, que los ingenieros Panhard y Leyassor recuperaron su reputación al presentar un vehículo mejor preparado, logrando cambiar muchas mentes de la época.

En 1895 dicho automóvil, el Panhard-Leyassor fue revolucionario en su desempeño resaltando principalmente la transmisión, la cual se tomó como patrón o modelo de trabajo por los fabricantes de vehículos durante los siguientes 90 años. En esos días otros automóviles poseían motores verticales montados en el frente de los mismos, el cual por medio de un embrague deslizante se acoplaba a una transmisión de 3 relaciones y transmitía la potencia final al eje trasero mediante una cadena. Solo hacía falta un eje con diferencial y el eje propulsor para poseer las características que hasta hoy se puede observar en cualquier vehículo. Pero estos ejes con diferencial, aparecieron tres años después, cuando el aficionado a los autos Louis Renault (febrero 12 de 1877 – octubre 24 de 1944), utilizando un eje propulsor metálico conectó una transmisión con un eje de transmisión vivo. Este eje trasero vivo fue adoptado de la idea desarrollada por el norte-americano Charles Edgar Duryea (diciembre 15, 1861 – septiembre 28, 1938), y fue denominado eje trasero diferencial. Este se componía por un grupo de engranes y cojinetes que daban solución definitiva al deslizamiento de la rueda rápida, lo cual ocurría al tomar las curvas y la rueda externa gira a la mismas revoluciones que la interna, resultando en el arrastre de esta.

En 1904 la transmisión manual de engranes deslizantes de Panhard-Levassor fue adoptada de una u otra forma por los fabricantes de la época, y se mantiene en uso en la actualidad con modificaciones y mejoras, la más notable y significativa es la invención de un sistema de sincronización, el cual permite que los engranes se desconecten y conecten sin necesidad de presionar dos veces el embrague ni el golpeteo de los dientes entre engranes. Este sistema permite a los engranes tener la misma velocidad angular y así obtener un acople suave y silencioso. La primera transmisión en utilizar los sincronizadores fue presentada por Cadillac en 1928, hoy en día se utiliza ampliamente un diseño mejorado y patentado por Porsche.

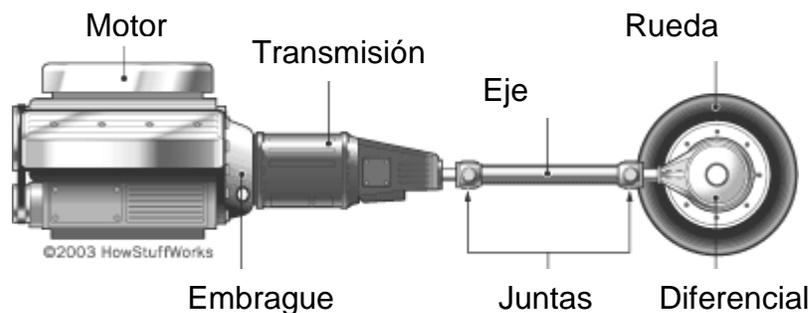
Muchas mejoras han sido introducidas para permitir un cambio de engranes suave y silencioso, uno de ellos fue la transmisión planetaria introducida en 1908 en el modelo T de Ford, esta poseía un engranaje central llamado solar rodeado por tres más, denominados planetarios, diseño más ampliamente utilizado en las transmisiones automáticas que en las manuales.

Un diseño muy elaborado de transmisión planetaria fue presentado por el Mayor Walter G. Wilson (1874–1957), llamada Wilson Preselector, la cual se presentó solo en 1930. Este sistema de engranes utilizaba un conjunto de cuatro engranes planetarios individuales, permitiendo al conductor preseleccionar una de las relaciones de engranes mediante el movimiento de una palanca en la columna de dirección, de esta manera se podía ordenar de antemano el engrane particularmente preseleccionado, esto se lograba retirando presión en el pedal de acelerador, permitiendo al eje desenganchar un engrane y al mismo tiempo enganchar el preseleccionado. Todos los diseños de transmisiones desde la Panhard-Levassor tiene como objetivo en común lograr un cambio de relaciones lo más suave y silencioso posible.

## 2.2. Teoría y principio de operación

Los vehículos necesitan de una transmisión para poder manejar la potencia erogada por el motor, dirigirla hasta el eje de transmisión y posterior a las ruedas, el arreglo normal para un vehículo con tracción en el eje trasero es como se indica en la figura 1.

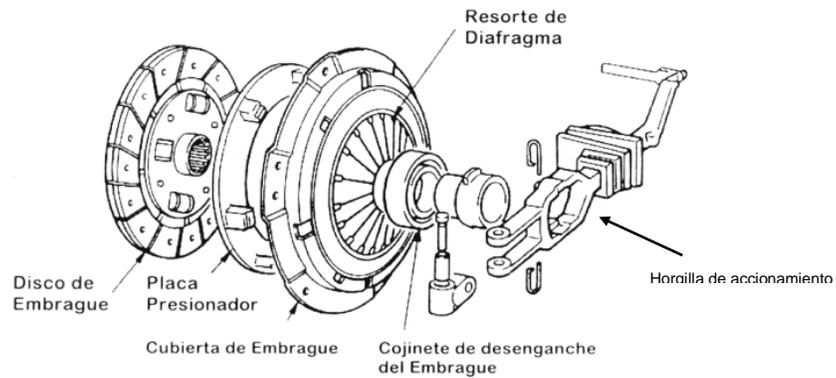
Figura 1. **Sistema de potencia completo**



Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/transmission1.htm>. Consulta: diciembre del 2012.

El eje de entrada a la transmisión gira a la misma velocidad que el motor, razón por la cual se utiliza el embrague (figura 2), al entrar en operación desacopla la salida del motor con la entrada de la transmisión y permite ejecutar los cambios de relaciones. Este es un conjunto totalmente mecánico, conformado por canasta o cubierta, disco de embrague y horquilla de accionamiento.

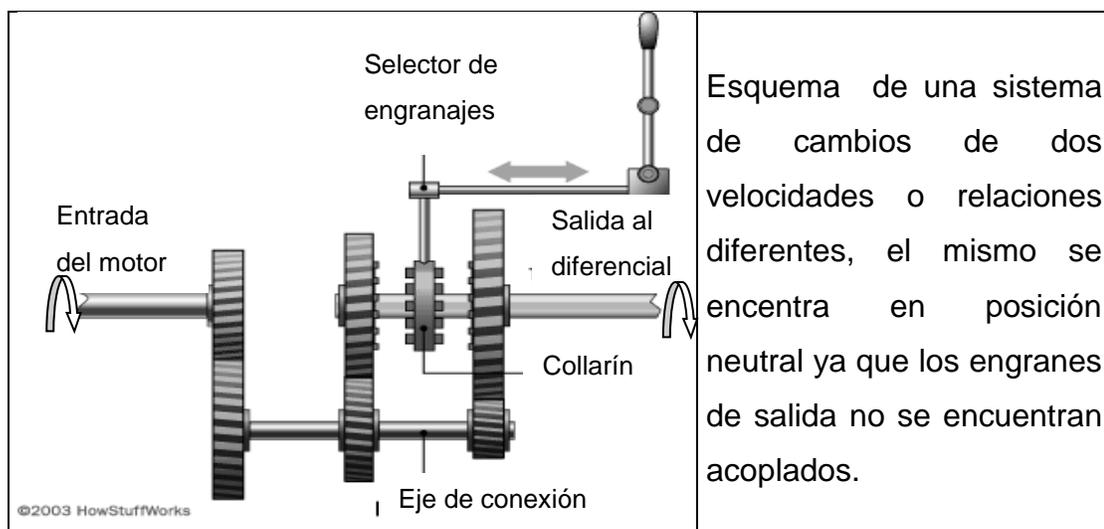
Figura 2. **Esquema de embrague (tipo resorte de diafragma)**



Fuente: [http://www.automotriz.net/tecnica/images/conocimientos-basicos/33/config-tp-resorte-diafragma\\_2.gif](http://www.automotriz.net/tecnica/images/conocimientos-basicos/33/config-tp-resorte-diafragma_2.gif). Consulta: octubre del 2013.

Para entender el funcionamiento básico de una transmisión manual, se tomará como ejemplo una de dos relaciones. Si se pone atención a los diagramas siguientes, se logrará entender su teoría y principio de operación.

Figura 3. **Transmisión básica de dos relaciones**



Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/transmission2.htm>. Consulta: diciembre del 2012.

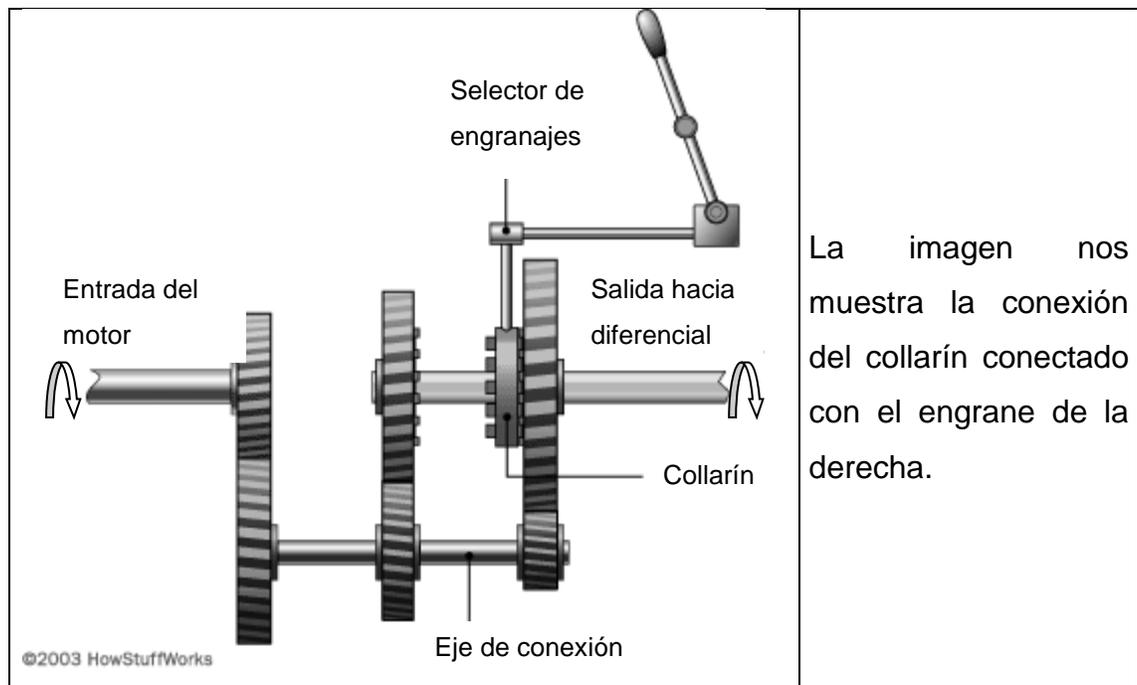
Para entender correctamente cómo trabaja este sistema, es necesario describir cada una de las partes de la figura 3.

- El eje de entrada del motor sale del sistema de embrague y tiene las mismas revoluciones que el motor, tiene conectado un engrane y funcionan como una unidad. Sin la existencia del embrague no sería posible operar el motor sin que esté el automóvil en movimiento, esto quiere decir que si el embrague está acoplado, el motor gira a un número de revoluciones por minuto (RPM), y la caja a uno totalmente diferente, ya sea mayor, menor o en alto total.
- El eje de conexión y los engranes del mismo funcionan como una pieza única, giran a una misma cantidad de RPM. El eje de entrada del motor y el de conexión se encuentran conectados por medio de engranes con una relación fija, esto quiere decir que al desacoplar el embrague los dos ejes giran recibiendo la potencia erogada por el motor.
- El eje de salida hacia el diferencial es estriado y este es la salida de la transmisión, se conecta con el eje diferencial mediante el eje cardan, lo que da a entender que si el automóvil está en movimiento, el eje también se encuentra en rotación.
- Los engranes del eje de salida están montados sobre cojinetes y son libres de girar.
- El collarín que se encuentra montado sobre el eje de salida y es libre de moverse entre los dos engranes adyacentes, está conectado con este por medio de estrías, y hace que gire como una pieza única con el eje de

salida. El collarín posee unos dientes llamados dientes de perro, los cuales se acoplan con las cavidades en los engranes.

Si se conecta la primera velocidad o relación, se entenderá lo que sucede en el sistema (figura 4).

Figura 4. **Conexión de una relación**



Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/transmission3.htm>. Consulta: diciembre del 2012.

Ahora bien, para entender correctamente lo que sucede en cada una de las partes del sistema que ahora se encuentran trabajando como un conjunto, es necesario el entender lo siguiente.

- La potencia erogada por el motor es entregada al eje de entrada, haciéndolo girar a las mismas RPM que él. El engrane montado en el eje

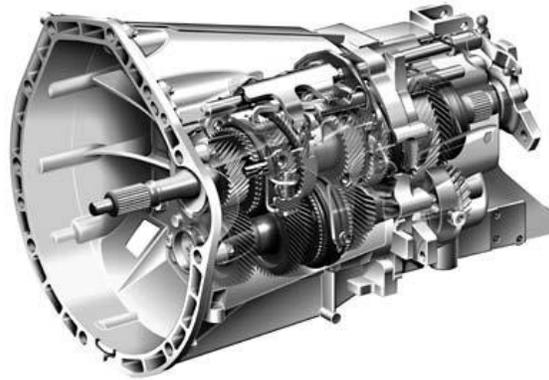
de entrada, por estar acoplado directamente al engrane del eje de conexión, hace a este girar a unas RPM que dependen de la relación existente entre ambos engranes.

- El primer engrane de la izquierda sobre el eje de conexión, que está acoplado con el eje de entrada hace que todos los engranes en este giren a las mismas RPM.
- Los engranes en el eje de conexión giran a igual número de RPM, y por estar acoplados a los engranes del eje de salida se logra que estos giren a determinadas RPM también, pero como estos giran sobre cojinetes colocados en el eje de salida, no tiene efecto alguno sobre el mismo hasta que el collarín esté acoplado a uno de ellos, que en este caso es el engrane de la derecha sobre el eje de salida.
- La relación de giro existente entre los engranes del eje de conexión y los engranes en el eje de salida, es la que determina el número de RPM a las cuales girará el eje de salida y luego será transferida hacia las ruedas.

De esta forma es como se logra transferir la potencia que el motor eroga y llevarla hasta las ruedas de tracción. Dependiendo de la relación entre los engranes del eje de salida y el de conexión, será la velocidad máxima que se puede alcanzar con el automóvil sin dañar el motor.

Al observar una transmisión real (figura 5), se entenderá que el principio que se utilizó anteriormente es el mismo. Tomando una transmisión normal de 5 velocidades se vería aproximadamente de la siguiente forma.

Figura 5. **Ilustración gráfica transmisión manual 6 relaciones**

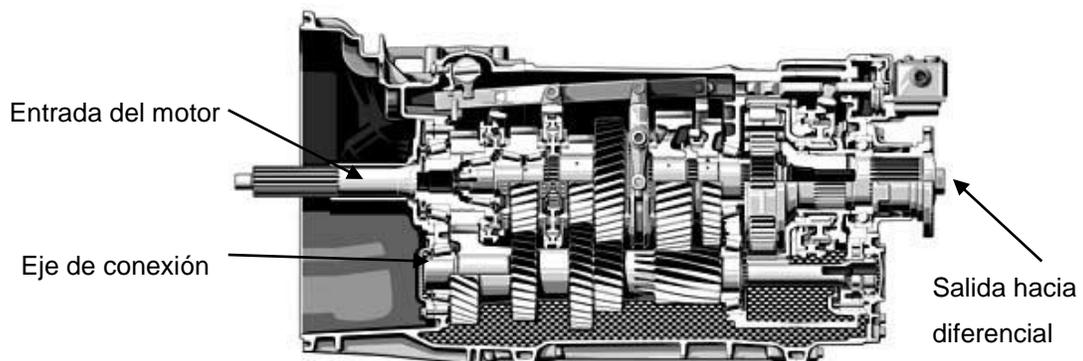


Fabricada por DaimlerChrysler e instalada en un Mercedes Benz C-class sport coupe

Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/transmission1.htm>. Consulta: diciembre del 2012.

Pero el tratar de entenderla partiendo de esta figura se dificultaría un poco, por lo que el traslado a imágenes más sencillas en las que se puede observar los diferentes engranes, el eje de entrada, el eje de salida y el de eje de conexión (figura 6).

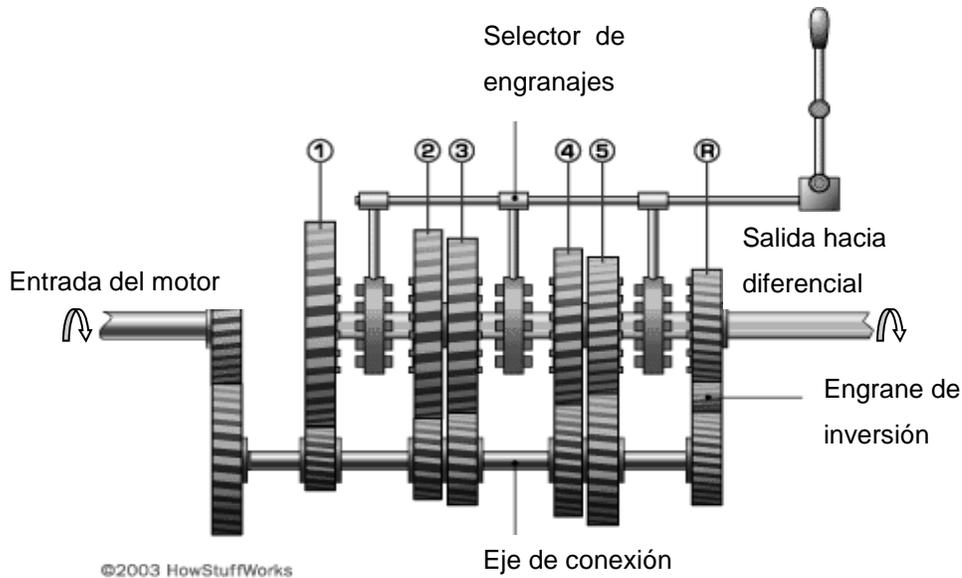
Figura 6. **Corte transversal transmisión manual 6 relaciones**



DaimlerChrysler, Mercedes-Benz transmisión manual Actros

Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/transmission.htm>. Consulta: diciembre del 2012.

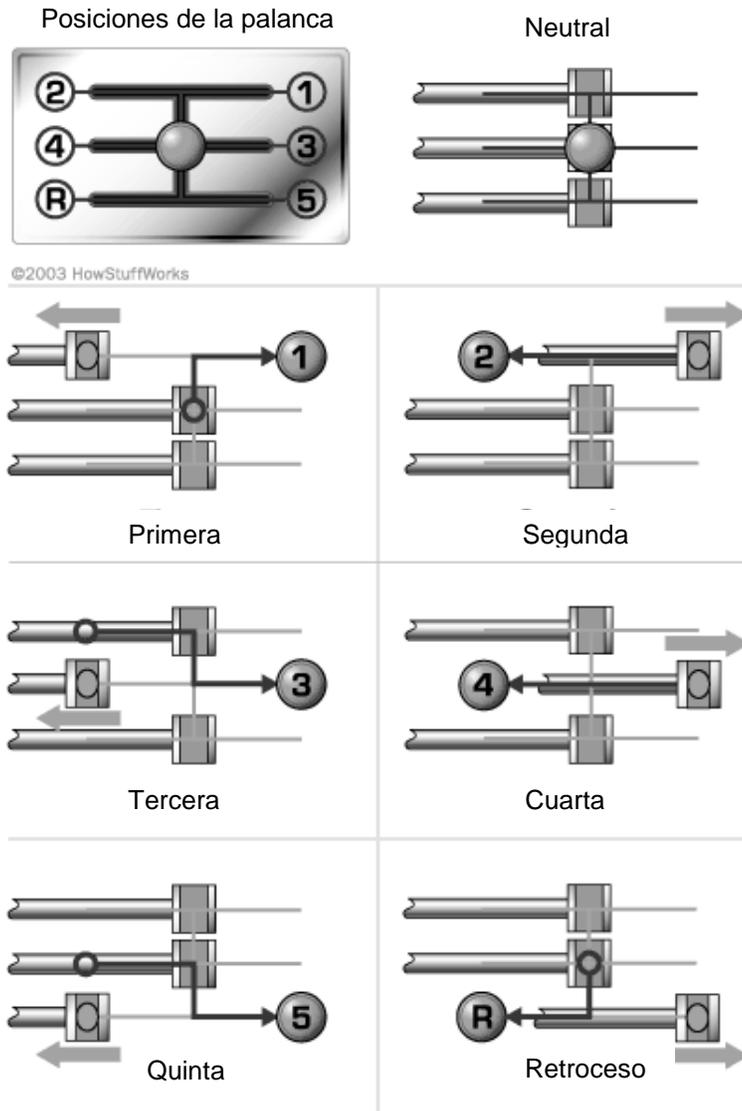
Figura 7. Diagrama de conexiones en transmisión de 5 relaciones



Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/transmission4.htm>. Consulta: diciembre del 2012.

En comparación con el sistema de dos cambios, ahora en la figura 7 se tienen 3 selectores con sus collarines, 7 engranes en el eje de conexión, 6 engranes en el eje de salida y un engrane de inversión. Se puede observar que cada juego de engranes consta solamente de dos para cada relación, pero para retroceso se cuenta con un tercer engrane colocado entre el eje de conexión y el eje de salida. Es posible observar que si el sistema tiene solo un movimiento lineal, tres juegos de engranes estarían conectados todo el tiempo, lo cual es imposible, por lo que entonces se incorpora el movimiento lateral y se forma la "H" que se observan en los vehículos con este tipo de cajas (figura 8).

Figura 8. Esquema del movimiento en H

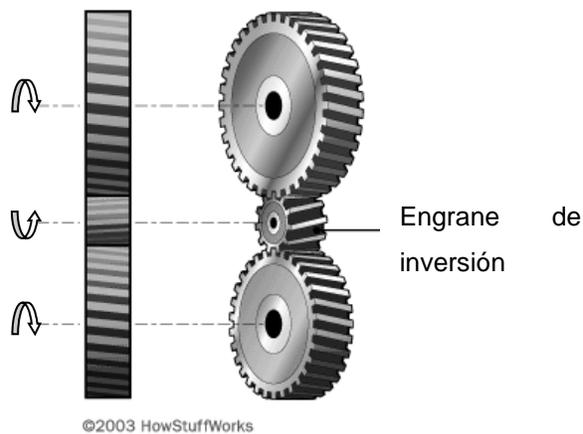


Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/transmission4.htm>. Consulta: diciembre del 2012.

Si se mantiene en mente que siempre se debe tener un punto muerto o neutral en el cual ningún engrane se encuentra conectado, entonces se tomará este como el punto de partida para el movimiento lateral. Este movimiento adicional, permite tener el control individual de cada selector con su collarín, obteniendo la selección de un juego de engranes en cada posición.

Ahora bien, como se mencionó anteriormente se tiene un engrane adicional para la reversa.

Figura 9. **Engrane de reversa**

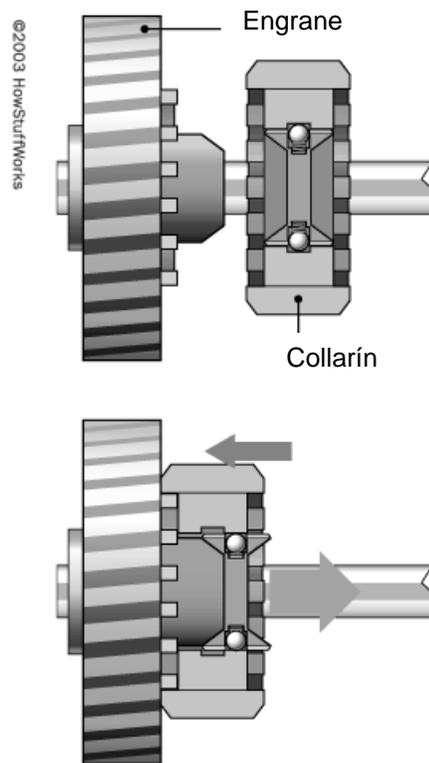


Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/transmission4.htm>. Consulta: diciembre del 2012.

Este pequeño engrane (figura 9), que se conecta entre el engrane del eje conexión y el engrane del eje de salida, invierte la dirección de giro del eje de salida para así lograr que las ruedas giren en dirección contraria o retroceso.

Un dispositivo adicional hace falta analizar y es el sincronizador. Estos son utilizados para lograr que el collarín y los engranes logren las mismas RPM antes de conectarse, así los dientes se logran conectar sin problema alguno con las cavidades de los engranes (figura 10).

Figura 10. **Esquema y corte transversal de un sincronizador**



Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/transmission4.htm>. Consulta: diciembre del 2012.

El engrane posee un cono truncado, el cual se conecta dentro de la cavidad del collarín, este tiene el sincronizador adentro, el cual recibe la fricción necesaria para que se sincronicen en su velocidad angular y los dientes de perro puedan acoplarse silenciosamente. Estos sincronizadores como reciben una gran cantidad de fricción, son fabricados con materiales que permiten su desgaste y son baratos de reemplazar.

Aunque esta es una de las formas más simples de funcionamiento, los diferentes fabricantes de automóviles utilizan diversas formas para lograr la misma sincronización.

### **2.3. Características de operación**

Ahora bien, ya que se entendió el funcionamiento y las partes básicas de una transmisión manual, se pueden mencionar algunas de las características de operación de la misma.

- Poseen relaciones o cambios fijos determinadas por el fabricante de estas, las cuales pueden variar dependiendo de la aplicación o el trabajo al que se someterá la transmisión. Para entender lo anterior, es de pensar que si un automóvil se utilizara en una región mayormente plana o de pendientes leves, no se le colocará carga, tanto en su espacio interno como de arrastre, entonces se necesitará una transmisión con relaciones más bajas, es decir un bajo torque, a diferencia de una diseñada para carga y pendientes pronunciadas en la que se necesita mayor torque de salida.
- Son muy silenciosas si se les da mantenimiento periódico y se utilice el aceite recomendado por el fabricante.
- Se puede mantener una posición de relación durante mayor tiempo y lograr revolucionar más el motor, permitiendo mantener la potencia constante en situaciones que el conductor así lo desee. Pero también se debe de tener mucho cuidado de jamás sobrerrevolucionar el motor, ya que este tiene sus límites y es posible dañarlo.
- El consumo de combustible es relativo, todo depende de la forma de conducción y cómo el conductor utiliza cada una de las relaciones.

- Respuesta rápida al solicitar potencia del motor, por tener relaciones fijas no se debe de esperar mucho tiempo para que el motor esté en determinado número de RPM. Esto se debe a la relación de giro existente entre el eje estriado y el eje de conexión.

#### 2.4. Relaciones fijas manuales

Las transmisiones mecánicas poseen relaciones que el conductor decide cuál conectar y cuánto tiempo mantenerla conectada. Las relaciones son realmente tomadas entre el o los engranes del eje de conexión y el eje de salida. Estas relaciones como se explicara anteriormente son de giro, o sea la relación existente entre la velocidad angular de los engranes acoplados.

Dependiendo de la aplicación de la transmisión las relaciones cambian, así como también cambian de un fabricante a otro, todo está en el diseño. Para tener una idea, en la tabla I se presenta un esquema de relaciones típicas.

Tabla I. **Relaciones típicas de entrada y salida**

Posición	Relación	RPM en el eje de salida, con el motor a 3 000 rpm
1 <sup>a</sup>	2,315:1	1 295
2 <sup>a</sup>	1,568:1	1 913
3 <sup>a</sup>	1,195:1	2 510
4 <sup>a</sup>	1,000:1	3 000
5 <sup>a</sup>	0,915:1	3 278

Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/transmission1.htm>. Consulta: diciembre del 2012.

Como se puede observar en la tabla I, las relaciones están dadas a RPM fijas, con un valor aproximado en la salida del motor y valor fijo en el eje de salida de la transmisión hacia las ruedas. Es de notar que al estar en primera posición, el motor otorga mayor torque ya que puede estar más próximo a su punto óptimo de trabajo.

## **2.5. El mantenimiento y su lubricante**

El mantenimiento de las mismas es realmente simple y fácil de efectuar, a pesar de tener muchas partes móviles (relativamente), el desgaste que sufren los engranes, sincronizadores y cojinetes que son los tres elementos básicos que la conforman se podría decir es bajo. El bajo desgaste de las piezas se debe a que todas están inmersas en aceite, el cual posee ciertas características especiales, como viscosidad, antiespumantes, estabilizantes, dispersantes de humedad y antioxidantes entre otros. Cada uno de los fabricantes recomienda el tipo de aceite a utilizar para mantener la misma en óptimas condiciones, así como cada fabricante de aceite menciona los beneficios de sus productos.

Por las condiciones de temperatura y humedad en el país, así como las temperaturas que puede alcanzar el lubricante por el servicio al cual se someten los vehículos, se recomienda que como mínimo se le efectúe un servicio de cambio de lubricante cada año o cada 30 000 kilómetros recorridos, lo que ocurra primero, esto con el fin de mantener un lubricante en las mejores condiciones posibles.

Lo más recomendable en todo momento es apegarse a las indicaciones del fabricante, para así lograr el máximo desempeño del automóvil y prolongar la vida útil de todo el sistema.

## **2.6. Ventajas de operación**

La transmisión es realmente sencilla en su funcionamiento y mantenimiento, se logra obtener un buen rendimiento de combustible siempre que el conductor seleccione la relación para cada condición de manejo y mantenga al motor operando en el rango óptimo de rendimiento. Lo complejo de ella es la habilidad al operar el embrague y el acelerador adecuadamente, así como evitar mantener activo el embrague por tiempo prolongado ya que este por funcionar por fricción se puede sobrecalentar dañando la superficie del material de desgaste, lo cual da como resultado una falla en la operación del mismo evitando poder conectar las relaciones. En estas, por su forma de operar, se puede seleccionar cualquiera de las relaciones existentes, pero se debe tener mucho cuidado para no sobrerrevolucionar el motor y provocarle daños a este o a la transmisión.



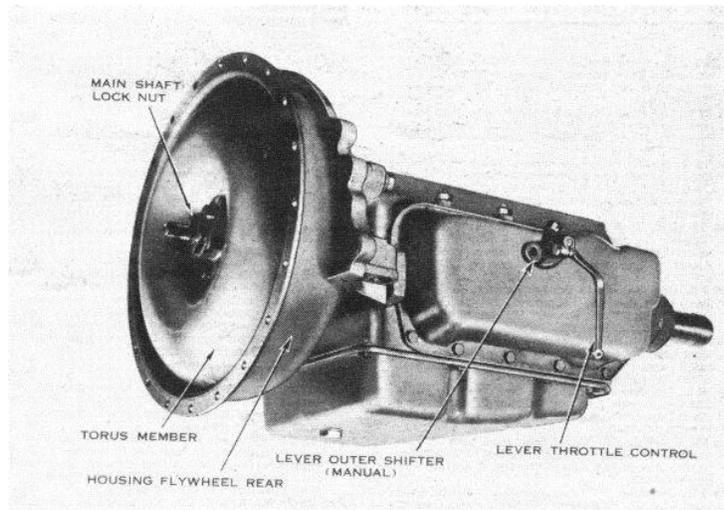
### **3. LA CAJA DE CAMBIOS AUTOMÁTICA ESTÁNDAR**

#### **3.1. Historia**

Con el desarrollo y evolución de las transmisiones para automóviles se buscaba la facilidad, sencillez y comodidad al manejar, que en sus inicios era algo complicado el ejecutar los cambios en las transmisiones mecánicas, bombear dos veces el embrague, la presión en el mismo pedal, la fuerza a ser aplicada para el cambio de relación y decidir la más adecuada para cada condición de manejo, todo en conjunto impulsó a los fabricantes a buscar una forma más sencilla de efectuar los cambios por parte de los conductores y al mismo tiempo, se les facilitara la conducción, logrando comodidad y confort.

Los fabricantes volcaron sus esfuerzos para desarrollar una transmisión que se acomodara a cualquier conductor y a su vez fuera sencilla de operar y efectuar el mantenimiento necesario. En 1940 General Motors presenta la transmisión Hydra-Matic (figura 11) y se instala en los modelos Oldsmobile, presentaba como características principales la sustitución del embrague por un fluido de acople y los engranes con eje paralelos por engranes epicíclicos, transformándose en el arquetipo a seguir por los demás fabricantes.

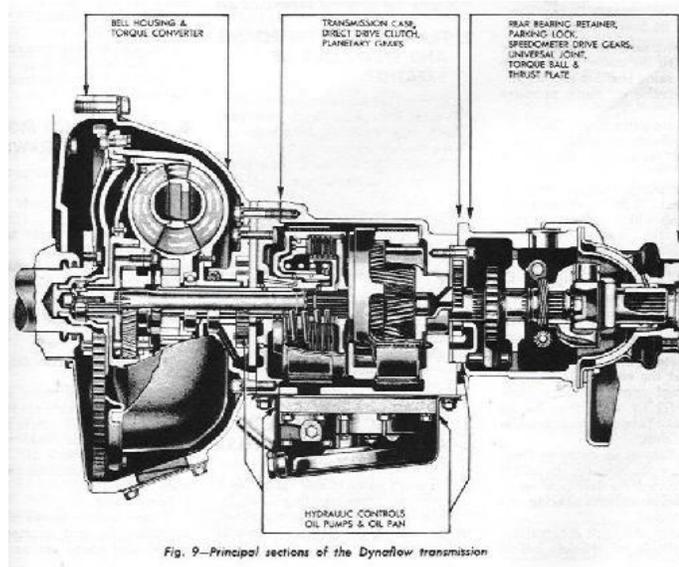
Figura 11. **Hydra-Matic**



Fuente: <http://starchief57.tripod.com/images/Hydra-Matic.jpg>. Consulta: octubre del 2013.

El convertidor de torque en ese momento era objeto de investigación para obtener una mejora de desempeño y aprovechamiento máximo de la potencia erogada por el motor. Entonces buscando el incremento de la eficiencia General Motors presenta la Dynaflo (figura 12), instalada en automóviles Buick a inicios de 1948, dicha transmisión poseía únicamente dos velocidades con un convertidor de torque multifase de un paso y cinco elementos con un conjunto de engranajes epicíclicos. Se obtuvo un sistema totalmente diferente a lo utilizado hasta la fecha, fluido de acople en una transmisión multivelocidad y convertidor de torque con menos cambios, se convierte en la piedra angular de las transmisiones automáticas.

Figura 12. Dynaflow



Fuente: [http://www.karoto.gr/static/media/2013/05/dynaflow\\_gearbox.jpg](http://www.karoto.gr/static/media/2013/05/dynaflow_gearbox.jpg).

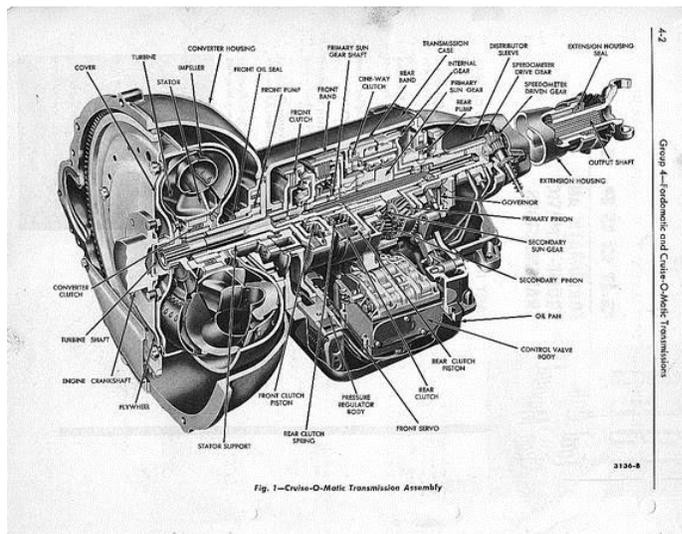
Consulta: Octubre del 2013.

Tomando la dirección que marcaba General Motors, a finales de los años 50 tanto Ford como Chrysler empezaron a seguir la línea en sus desarrollos, dando como fruto una amplia gama de modelos. La transmisión Powergrid que General Motors presentó en 1953 era la típica de dos velocidades que muchas compañías tomaron como modelo para sus diseños futuros. En 1950 Ford en conjunto con Borg-Wagner presentan la Ford-O-Matic (figura 13), Chrysler le sigue con la presentación de su transmisión PowerFlite en 1953.

A finales de los 50 y hasta los 60, después de estar trabajando a prueba y error, el proceso de desarrollo se fue integrando y desde la perspectiva de viabilidad económica, desempeño y simplicidad estructural (relativa), un convertidor de un paso con dos fases y tres elementos se une a un tren de potencia de tres velocidades y engranes epicíclicos. Algunos de los modelos de

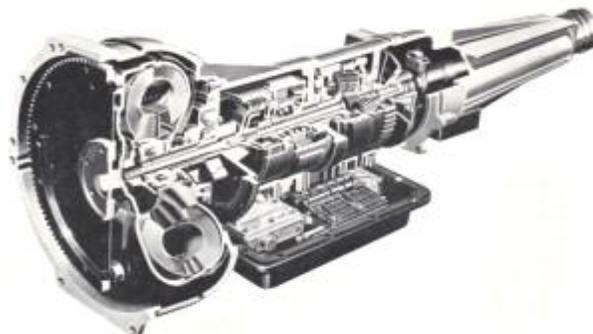
este período son la Chrysler TorqueFlite A940 (1960), Borg-Wagner M-35 (1961) (figura14), General Motor Super Turbine 400 y Ford C-4 (figura15), dichos modelos marcaron el paso en la industria convirtiéndose en el estándar en las décadas siguientes.

Figura 13. **Ford-O-Matic**



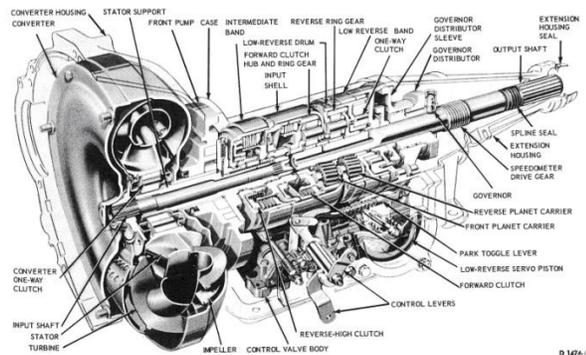
Fuente: [http://carphotos.cardomain.com/ride\\_images/1/2497/761/6240380045\\_large.jpg](http://carphotos.cardomain.com/ride_images/1/2497/761/6240380045_large.jpg).  
Consulta: octubre del 2013.

Figura 14. **Borg-Wagner M-35**



Fuente: <http://www.drivertransmissions.co.uk/bw35.jpg>. Consulta: octubre del 2013.

Figura 15. Ford C-4



Fuente:[http://image.mustangmonthly.com/ff/techarticles/mump\\_1101\\_service\\_ford\\_mustang\\_c4\\_transmissions/35498094/mump\\_1101\\_03\\_%2Bservice\\_ford\\_mustang\\_c4\\_transmission%2B\\_transmission\\_cutaway.jpg](http://image.mustangmonthly.com/ff/techarticles/mump_1101_service_ford_mustang_c4_transmissions/35498094/mump_1101_03_%2Bservice_ford_mustang_c4_transmission%2B_transmission_cutaway.jpg). Consulta: octubre del 2013.

Mientras tanto, del otro lado del continente a principios de los 50, Japón inicia su motorización y los mismos fabricantes de automóviles promueven la investigación en transmisiones automáticas, ya que sus habilidades tecnológicas eran poco avanzadas en comparación con otros fabricantes a quienes compraban las piezas y confiaban en ellas, los motiva a introducir tecnología. Empresas como Aisin Wagner (actualmente Aisin AW) y Japan Automatic Transmission Co. Ltd. (actualmente JATCO) son impulsadas por los mismos fabricantes de automóviles en el país, logrando durante la década de los 70 que ambas se especialicen en la producción de transmisiones automáticas. El crecimiento y desarrollo acelerado de estos fabricantes por mantenerse en la línea de los intereses de la sociedad y que los productos japoneses empezaban a desplazar a otros fabricantes en términos de rendimiento, calidad y costo, logran establecerse como proveedores confiables.

En la década de los 70 con la crisis del petróleo surge la necesidad de conservar los recursos petrolíferos, por lo cual con la cooperación de

fabricantes extranjeros se inicia la investigación e innovación en tecnologías para hacer más eficiente el uso del combustible, iniciando con la introducción de sistemas electrónicos de control. Al presentarse la segunda crisis del petróleo, se estimula el desarrollo de transmisiones automáticas con 3 y 4 cambios, buscando obtener mejoras en el uso eficiente del combustible, surge la necesidad de fabricar vehículos compactos con menor peso, motores de menor cilindrada y la aparición de tracción en las ruedas delanteras, que en conjunto hacen que las transmisiones se acomoden a nuevos parámetros. Dentro de Japón el número de automóviles equipados con estas transmisiones crece rápidamente y logra que se mejoren los diseños e integren innovaciones, logrando que el mercado interno de automóviles equipados con transmisiones automáticas crezca entre los 70 y 80 de un 10 % a un 50 %.

Para la segunda mitad de los 80 en Japón se incrementa el número de automóviles equipados con transmisiones automáticas, pero con el surgimiento y popularidad de motores con doble eje de levas a la cabeza (DOHC por sus siglas en inglés), el turbo cargador y motores de alto rendimiento, empiezan los conductores a demandar transmisiones que respondan a un manejo superior y a una mejora en el uso eficiente del combustible. Esta tendencia hace que se inicie la implementación de un sistema para el control de deslizamiento, bloqueo del embrague y el ajuste electrónico de control de presión del mismo, lo que eventualmente lleva a la implementación de un sofisticado conjunto integral de transmisión acoplada a un motor de bajo torque.

Figura 16. **Jatco JR502E**



Fuente: [http://www.japia.or.jp/professional/pht\\_no19\\_2.jpg](http://www.japia.or.jp/professional/pht_no19_2.jpg). Consulta: octubre del 2013.

En 1989 JATCO presentó su primera transmisión de 5 velocidades, denominada JR502E (figura 16) que se instala en el Nissan Laurel, esta se desarrolló con el objetivo de mejorar el comportamiento en la aceleración y una marcha silenciosa a alta velocidad en conjunto con una economía de combustible. En esos años Mercedes-Benz instala en sus automóviles una de transmisión de 5 velocidades y al año siguiente presenta la ZF, una transmisión multivelocidades, lo que marca el advenimiento de nuevos diseños en transmisiones.

### **3.2. Teoría y principio de operación**

Al conducir un automóvil con transmisión automática se pueden percibir dos grandes diferencias con las transmisiones mecánicas.

- Ausencia de un pedal de embrague
- Al conectar la transmisión en posición D (drive), todo se vuelve automático.

Empero la transmisión automática posee el convertidor de torque y la transmisión mecánica el embrague, ambos cumplen exactamente el mismo objetivo de transmitir la potencia del motor a la transmisión, cada uno lo hace de forma diferente. La clave que hace la diferencia entre transmisiones automáticas y transmisiones mecánicas radica en la forma de conectar y desconectar los diferentes juegos de engranajes en el eje de salida, para poder obtener la relación deseada en cada condición de manejo, en la transmisión mecánica es seleccionado por el conductor mientras que en la transmisión automática un set de engranajes epicíclicos hace posible lo anterior en forma automática, silenciosa y eficiente.

Al observar dentro de una transmisión automática, se encuentra una gran cantidad de piezas móviles y estáticas colocadas de forma muy ingeniosa dentro de un espacio reducido, algunas de las piezas son:

- Un set de engranajes epicíclicos.
- Un set de bandas de freno para bloquear partes del juego de engranes.
- Un set de tres embragues húmedos para bloquear otras partes en el juego de engranes.
- Un funcional sistema hidráulico para el control de los embragues y las bandas de freno.
- Una bomba hidráulica para mover el fluido dentro de la transmisión y por todas las partes móviles de esta.

El centro de trabajo real de la transmisión automática es el juego de engranajes epicíclicos, que en realidad son dos muy bien empaquetados en un conjunto como un solo componente. Los demás elementos ayudan al set epicíclico para hacer su trabajo, y así obtener las diferentes relaciones. Para

entender mejor como es un *set* epicíclico y su funcionamiento, se analiza el mismo a continuación.

### 3.2.1. Set de engranajes epicíclicos

Todo *set* de engranajes epicíclicos consta de tres elementos o componentes básicos.

- Engranaje solar
- Engranajes planetarios y su soporte
- Engranaje de anillo

Cada uno de estos elementos puede trabajar como conductor, conducido o bien estar estacionario, la diferente combinación de los mismos proporciona las relaciones de salida. En la transmisión uno de los sets consta de un engranaje de anillo de 72 dientes, un engranaje solar de 30 dientes con los cuales se puede obtener una amplia relación de salida, por ejemplo:

Tabla II. Sistema epicíclico

	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: <http://auto.howstuffworks.com/automatic-transmission3.htm>.

Consulta: diciembre del 2012.

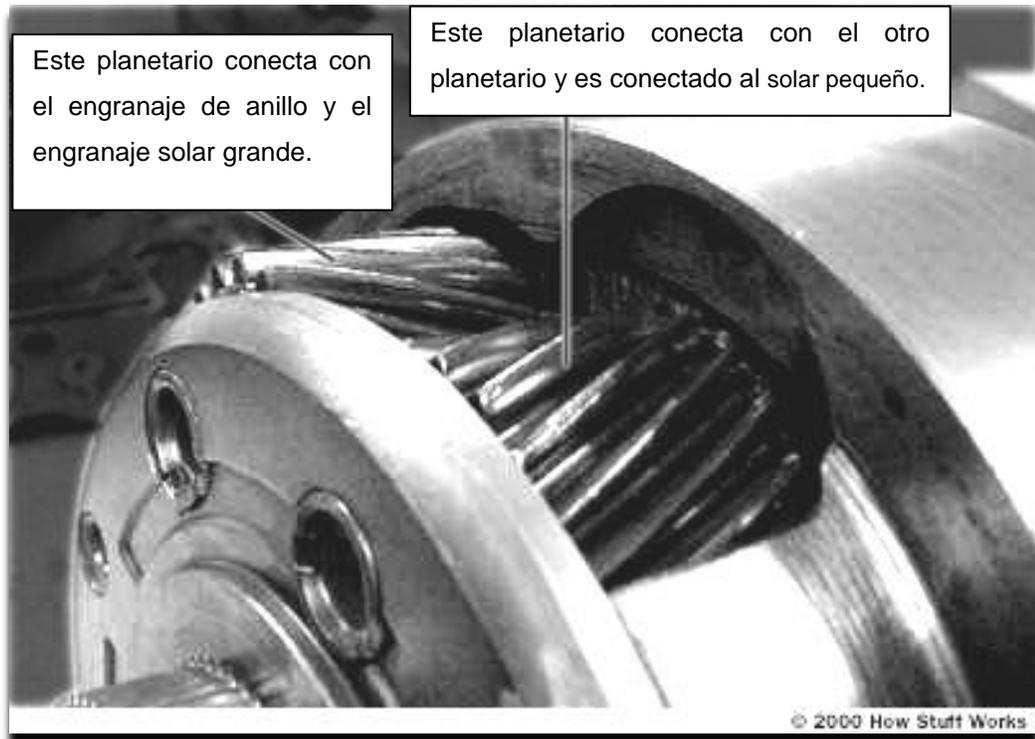
Como se puede observar en la tabla II, dependiendo de qué elemento esté estacionario y cuáles libres se obtiene relaciones diferentes; la primera da una relación con salida menor a la entrada, proporcionando baja velocidad y alto torque; para la segunda, la entrada es menor que la salida, proporcionando bajo torque y alta velocidad. Analizando los datos de la tabla, la primera relación es análoga con una transmisión mecánica (ver tabla I), la segunda es sobre marcha o quinta de la transmisión mecánica y por último la relación de salida con signo negativo es retroceso. Es de notar que al bloquear dos de los tres elementos, el sistema se bloquearía dando una relación de 1:1.

Con este único set se obtienen las relaciones necesarias sin necesidad de conectar o desconectar otros engranes, pero como se mencionó anteriormente, el sistema es un conjunto de dos sets operando en conjunto, entonces se pueden obtener las cuatro relaciones que normalmente se presentan en estas transmisiones y la de retroceso.

### **3.2.2. Set de engranajes compuestos**

En las transmisiones que utiliza el set de engranes doble se denomina set compuesto, el cual se ve como un sistema simple, pero en realidad y como se indicara anteriormente, son dos en uno. Está conformado por un engranaje de anillo, dos engranes solares y dos juegos de engranajes planetarios. Al ver con cuidado la figura 17, se observan los dos juegos de engranajes planetarios del sistema epicíclico doble.

Figura 17. **Sistema epicíclico doble**

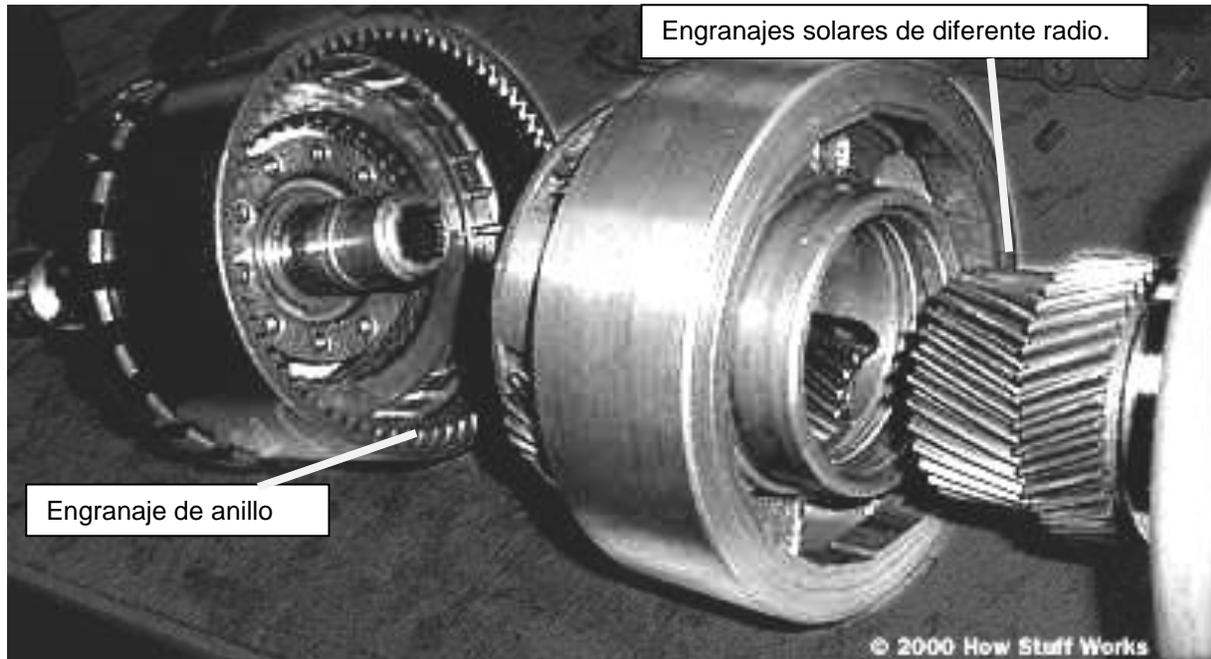


Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/automatic-transmission4.htm>.

Consulta: diciembre del 2012.

Es de observar que el soporte es uno solo para los dos juegos de epicíclicos, pero solo un juego se conecta con el engrane de anillo. Los dos engranajes solares en la figura 18 tienen diferente radio, pero están conectados entre sí y montados sobre el mismo eje.

Figura 18. **Engranajes solares y engranaje de anillo**



Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/automatic-transmission2.htm>.

Consulta: diciembre del 2012

Ahora bien, al observar dentro del soporte de los planetarios (figura 19), los engranes planetarios cortos están conectados con el engranaje solar de menor radio y los engranes planetarios largos están conectados con el engrane solar de mayor radio, así como los engranes planetarios cortos.

Figura 19. **Sistema de engranes planetarios doble**



Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/automatic-transmission4.htm>.

Consulta: diciembre del 2012

### **3.3. Características de operación**

Como se explicara anteriormente, la transmisión automática es un conjunto de mecanismos trabajando al mismo tiempo para controlar la potencia que es erogada por el motor. Seguidamente se explican los componentes y sistemas de estas, que hacen posible obtener las diferentes relaciones y la correcta operación del sistema de engranes epicíclicos.

### 3.3.1. Sistema hidráulico

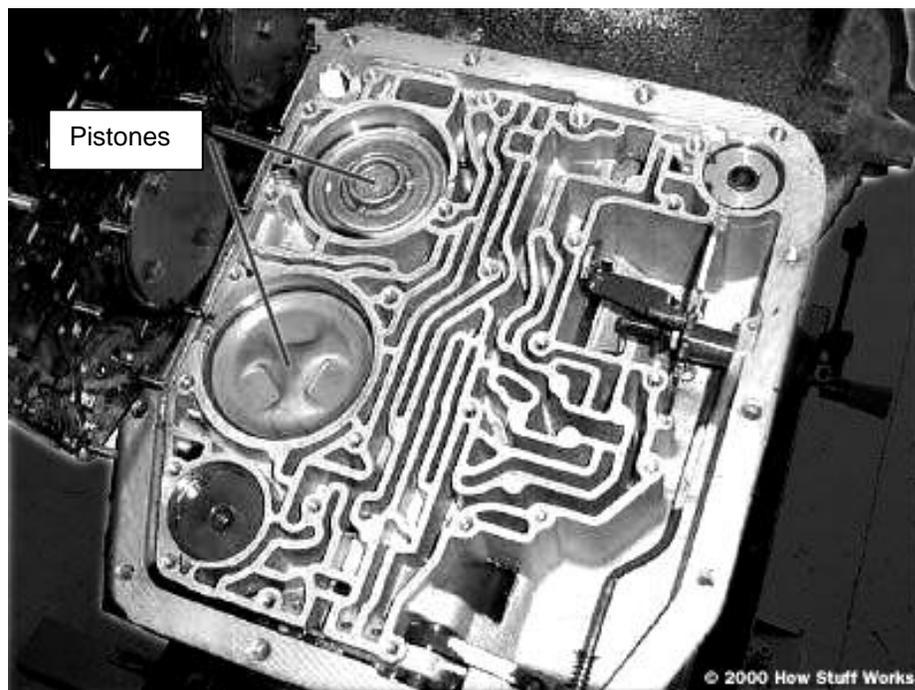
Para que la transmisión automática logre hacer todo lo que se indicó anteriormente, se vale de presión aplicada sobre un fluido (aceite hidráulico) y este la transmite a las diferentes partes de la transmisión necesarias para operar apropiadamente. Por ejemplo, hay algunas operaciones que se toman como simples en las transmisiones automáticas, pero realmente son muy complejas y el sistema hidráulico es el que logra cumplir con todas ellas. Para tener en perspectiva, a continuación se presentan ciertas operaciones.

- Si un automóvil viaja en una carretera y se encuentra a velocidad de crucero, la transmisión seleccionará la relación más adecuada para mayor confort y eficiencia, pero esto lo hace basándose en datos, como la velocidad del automóvil y la posición del pedal de aceleración.
- Si se presiona el pedal de aceleración suavemente, los cambios de relación se efectuarán a velocidades más bajas, lo contrario a presionarlo rápidamente.
- Al encontrarse en una velocidad estable y se presiona a fondo el pedal de acelerador, la transmisión efectuará el cambio de relación a la inmediata superior.
- Al colocar el selector de cambios en una relación superior a la que la transmisión se encuentra, esta efectuará el cambio inmediatamente. Es de observar que el vehículo se encuentre viajando a una velocidad adecuada para dicha relación para no sobrerrevolucionar el motor, de lo contrario se debe esperar a que la velocidad se reduzca y estar dentro de los parámetros de seguridad.

- Si se coloca el selector en una relación fija y esta es acoplada (dentro de los parámetros de seguridad), la transmisión nunca efectuará el desacople de la misma y acoplará otra superior, se dará el desacople de dicha relación si se coloca el selector en otra relación o se reduzca la velocidad provocando el acople de una relación inferior.

Es muy probable que nunca se haya percatado de lo anterior descrito, pero realmente eso es lo más importante de una transmisión automática, ella se controla en forma independiente y el conductor no hace mucho por el control de la misma.

Figura 20. **Cuerpo de válvulas y pistones**



Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/automatic-transmission10.htm>.

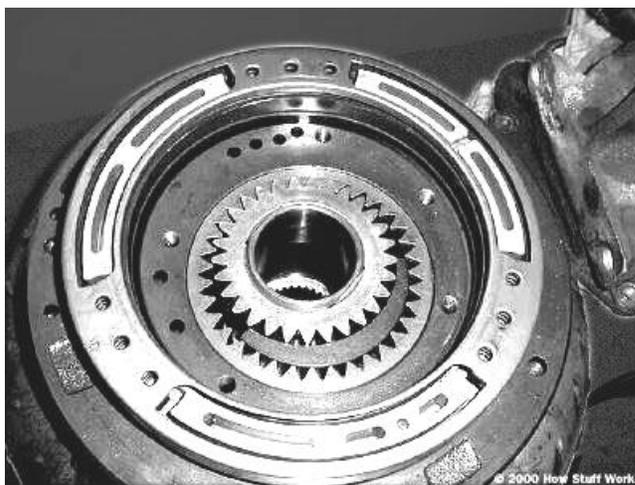
Consulta: diciembre del 2012.

La imagen superior (figura 20) muestra lo que se puede considerar como el cerebro real de todo el sistema. Se le llama cuerpo de válvulas aunque realmente no tiene alguna. Es realmente un trazado de canales, en los cuales viaja el fluido hidráulico, de no tenerlos en esta forma sería muy complicado el cumplir con toda la operación, ya que se debería conectar cada punto con mangueras de alta presión y no sería factible por la complejidad y espacio. Este es solo el cuerpo de válvulas, pero la presión proviene de una bomba.

### 3.3.1.1. Bomba hidráulica

Normalmente es una bomba de engrane ubicada en el cuerpo de la transmisión, aspira el fluido hidráulico desde el fondo de la misma (aceitera) a través de un filtro, el cual retiene material gastado de los discos de embrague y cualquier partícula de metal gastado. El fluido succionado, es impulsado dentro de la transmisión para lubricar todas las partes móviles y a su vez alimentar al convertidor de potencia.

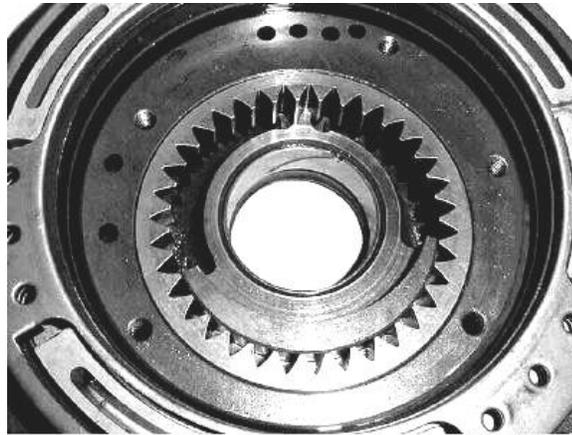
Figura 21. Bomba hidráulica (a)



Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/automatic-transmission12.htm>.

Consulta: diciembre del 2012.

Figura 22. **Bomba hidráulica (b)**



Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/automatic-transmission12.htm>.

Consulta: diciembre del 2012.

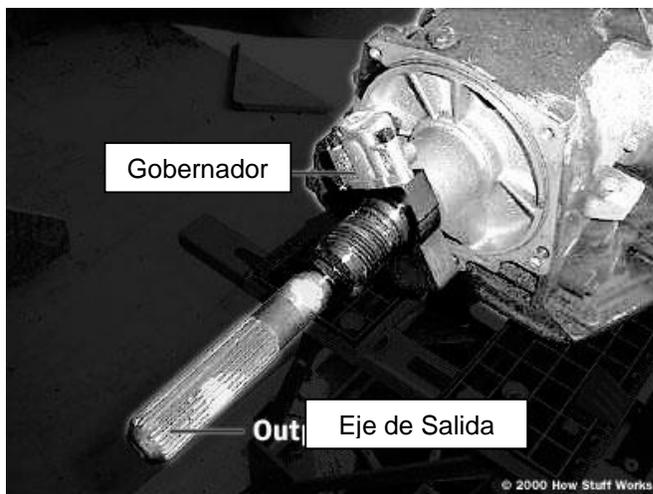
El engranaje interno de la bomba (figura 21) se conecta directo con la cubierta del convertidor de potencia, por lo que este girará a las mismas revoluciones que el motor, y la corona interna (figura 22) es conducida por el engranaje interno, la rotación de este produce la succión del fluido hidráulico hacia la cavidad ubicada a un costado de la media luna e impulsándolo hacia el lado opuesto de la bomba.

### **3.3.1.2. El gobernador**

Este es una válvula inteligente conectada en el eje de salida de la transmisión, es decir, en el extremo opuesto al convertidor de torque. Su función es regular la cantidad de fluido que deja pasar a través de ella, está compuesto por un resorte que se retrae en forma proporcional a la velocidad de rotación del gobernador, a mayor velocidad de rotación será mayor la cantidad de flujo que deja pasar la válvula y mayor la presión en el sistema. El fluido proveniente de la bomba ingresa al gobernador a través del eje de salida.

El sistema debe seleccionar la relación a acoplar en forma automática y para esto, en adicional al gobernador, se calculan las RPM del motor mediante un cable conectado a una válvula de mariposa dentro de la transmisión y a mayor presión en el pedal de aceleración, mayor es la presión en la válvula de mariposa. Otra forma de ejercer presión sobre asta es mediante un modulador de vacío, el cual detecta la presión de vacío en el múltiple de admisión, a mayor RPM del motor se obtiene mayor presión de vacío y se aplica mayor presión a la válvula de mariposa.

Figura 23. **Gobernador**



Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/automatic-transmission12.htm>.

Consulta: diciembre del 2012.

### **3.3.1.3. Convertidor de potencia**

Este dispositivo, parte vital de la transmisión automática es el que permite llevar el automóvil a alto total, es decir velocidad cero sin que el motor se apague. En los vehículos equipados con transmisiones mecánicas es

prácticamente imposible llegar a alto total sin utilizar el embrague. Como se explicó en el capítulo 2, el embrague desconecta el motor de la transmisión y permite llegar a alto total.

En las transmisiones automáticas se tiene un dispositivo que hace las funciones del embrague, no es algo físicamente espectacular, pero en su interior se encuentran partes que trabajan en conjunto y se denomina convertidor de torque.

El convertidor de torque es un acople de fluido, el torque que proviene del motor es transferido a la transmisión y posterior a las ruedas por medio de este dispositivo, a mayores RPM del motor, mayor es el torque que se transfiere a las ruedas.

Es realmente un sistema simple, que además de trabajar con el fluido hidráulico en movimiento, también incorpora una bomba hidráulica distinta a la que se indicara en el numeral 3.3.1.1. Está conformado por tres partes metálicas (figura 24):

- Bomba
- Turbina
- Estator

Figura 24. **Convertidor de potencia (partes)**

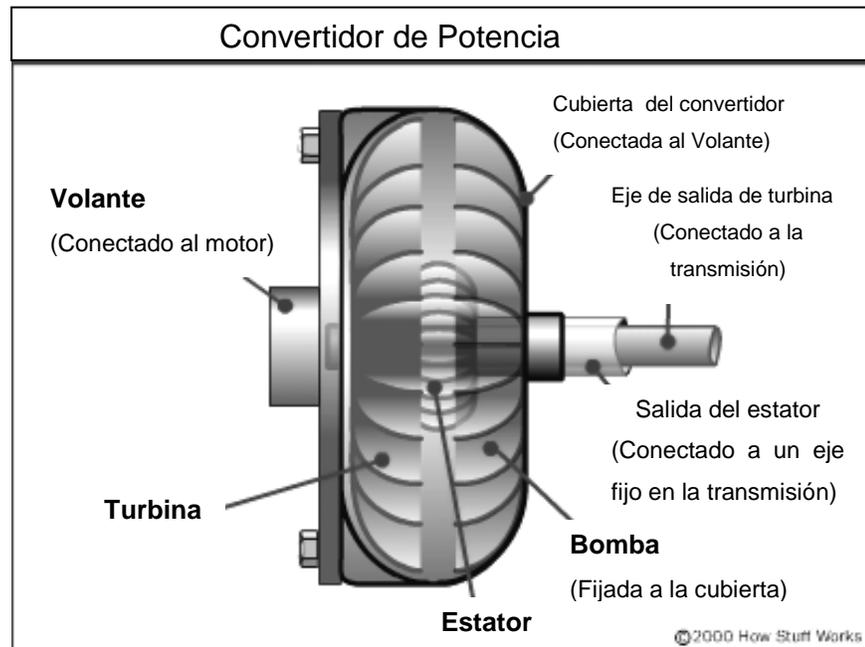


Turbina, estator y bomba (de izquierda a derecha)

Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/towing/towing-capacity/information/torque-converter2.htm>. Consulta: diciembre del 2012.

La carcasa del convertidor se atornilla directamente al volante de salida del motor, haciendo que este gire a las mismas RPM que el motor y los álabes que componen la bomba, por estar unidos a la carcasa, también giran a igual RPM.

Figura 25. **Esquemático del convertidor de potencia**

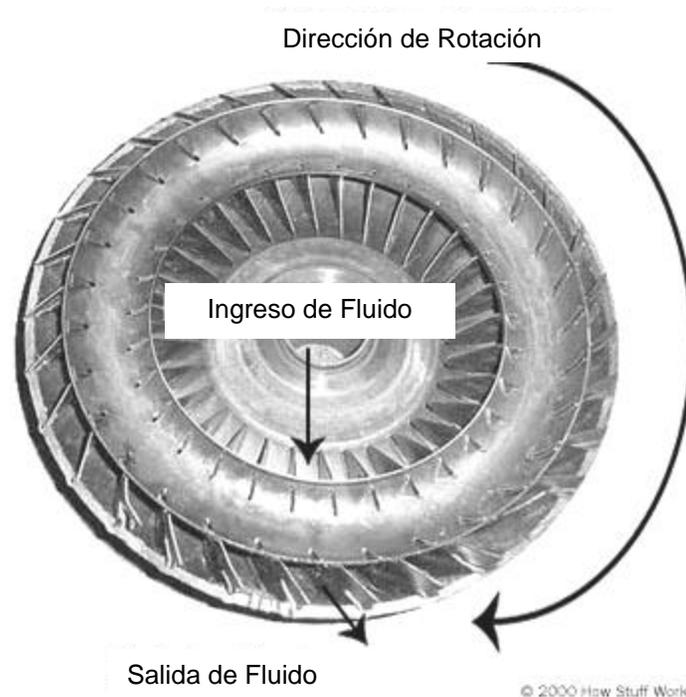


Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/towing/towing-capacity/information/torque-converter2.htm>. Consulta: diciembre del 2012.

En la figura 25 es posible observar como están colocadas las diferentes partes dentro del convertidor de potencia.

El funcionamiento de la bomba es muy sencillo ya que trabaja en forma centrífuga, al girar impulsa el fluido hacia el exterior y crea un vacío en el interior de la misma. Esta presión de vacío es utilizada para succionar más fluido desde la aceitera y viaja a través del eje que conecta el convertidor con la transmisión.

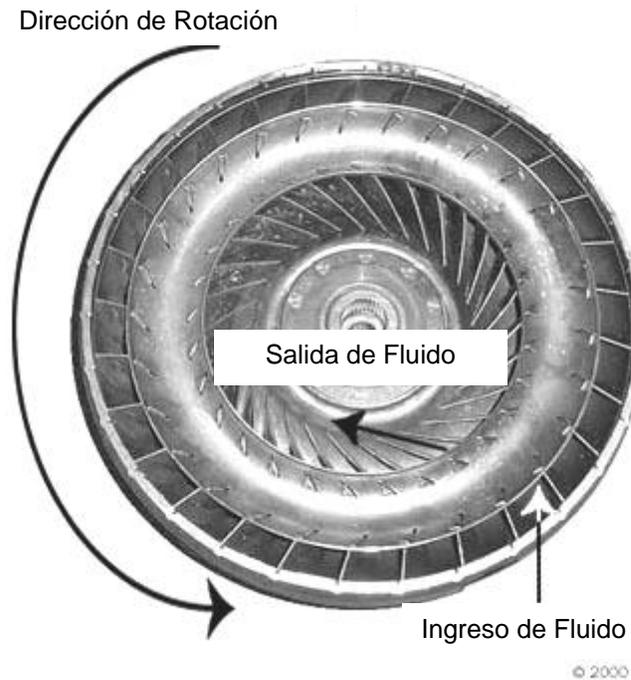
Figura 26. **Sección del convertidor de potencia (bomba)**



Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/towing/towing-capacity/information/torque-converter2.htm>. Consulta: diciembre del 2012.

El fluido hidráulico que es impulsado por la bomba hacia el exterior de la misma (figura 26), ahora ingresa en la turbina a través de los álabes externos y sale por la parte interna de la misma. Por la curvatura de los alabes, el fluido debe de cambiar de dirección al momento de salir, haciendo que la turbina en su totalidad gire y esta, por estar conectada directamente a la transmisión genera el movimiento que impulsa al automóvil.

Figura 27. **Sección del convertidor de potencia (turbina)**



Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/towing/towing-capacity/information/torque-converter2.htm>. Consulta: diciembre del 2012.

Si el fluido que sale de la turbina se direcciona directamente hacia la bomba, esta será frenada por la dirección que lleva. Esto se produce ya que la dirección de salida del fluido es inversa a la dirección de rotación de la bomba (figura 27). Para que esto no se produzca y le reste eficiencia a la transmisión, se coloca el estator entre ambas partes.

Figura 28. **Estator**



© 2000 How Stuff Works

Fuente:<http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/towing/towing-capacity/information/torque-converter3.htm>. Consulta: diciembre del 2012.

El estator está colocado al centro del convertidor de potencia, se encuentra montado sobre un eje fijo, posee un embrague unidireccional que le permite girar en una dirección únicamente, lo cual hace que el fluido cambie la dirección, debido al ángulo de los alabes en el interior de este elemento, obteniendo así el cambio de dirección del fluido a la salida. La dirección de salida es necesaria para lograr que la bomba trabaje correctamente y mejore la eficiencia de toda la transmisión.

### 3.4. Relaciones fijas automáticas

Así como en las transmisiones mecánicas existe un número determinado de relaciones que pueden obtenerse, en las transmisiones automáticas ocurre lo mismo. La diferencia radica en que el sistema de control de la transmisión automática es el que selecciona las relaciones apropiadas para cada condición de manejo. El sistema epicíclico doble y un juego de bandas permiten obtener cada relación.

#### 3.4.1. Primera

Para obtener la primera relación, el engranaje solar pequeño recibe la potencia de giro que proviene del convertidor de potencia y gira en dirección de las manecillas del reloj, el anillo de soporte de los planetarios que intenta girar en dirección opuesta se mantiene estático por la acción de un embrague unidireccional y el engrane de anillo proporciona la salida final. Tomando para una transmisión en específico con el engranaje solar de menor radio (30 dientes) y un engranaje de anillo de 72 dientes, por relación matemática se obtendría lo siguiente:

$$Relación = \frac{Anillo}{Solar} \rightarrow \frac{72}{30} = -2.4 : 1$$

La relación será de -2,4 rotaciones del engrane solar pequeño por una del engrane de anillo, el signo negativo denota que la dirección de rotación de salida es inverso a la de entrada. Ahora bien, como es necesario que la salida sea en el mismo sentido que la de entrada, entra en trabajo el sistema planetario doble. El set de planetarios que actúan como entrada conducen al

segundo set y estos hacen girar al engrane de anillo en la misma dirección que la entrada.

### 3.4.2. Segunda

Para obtener esta relación, la transmisión se vale nuevamente del juego de planetarios, actuando ambos con el único soporte, todo se analiza en dos etapas.

Para la primera etapa, el soporte planetario toma como engranaje de anillo al engranaje solar de mayor radio (36 dientes) y el sistema trabajará de la siguiente forma: un engrane solar (30 dientes) actuando como entrada, el soporte planetario conectando como engrane de anillo (engrane solar de 36 dientes). El engrane solar actúa como entrada, el actual engrane de anillo y el engranaje de anillo (72 dientes) estático, se tiene una relación de salida de:

$$1 + \frac{\textit{Anillo}}{\textit{Solar}} = 1 + \frac{36}{30} = 2.2 : 1$$

Entonces se tiene que la relación es de 2,2 rotaciones del soporte planetario por cada rotación del engranaje solar (30 dientes). Para la segunda etapa, el soporte planetario actúa como la entrada, el engrane solar (36 dientes) que se mantiene estacionario trabaja como tal, y el engranaje de anillo (72 dientes) actúa como la salida. Con dicha configuración la relación de salida quedara así:

$$\frac{1}{\left(1 + \frac{\textit{Solar}}{\textit{Anillo}}\right)} = \frac{1}{\left(1 + \frac{36}{72}\right)} = 0.67 : 1$$

Teniendo las relaciones de salida de ambas etapas y como el sistema trabaja en conjunto, se multiplican ambos valores y se obtiene la relación de salida final:

$$2.2 \times 0.67 = 1.47 : 1$$

### **3.4.3. Tercera**

Es muy común encontrar en las transmisiones automáticas la relación de **1:1**, y eso es lo que se obtiene en esta. Para obtenerla es necesario bloquear dos de las tres partes del sistema y esto se logra conectando los dos engranajes solares a la salida de la turbina, provocando que ambos giren en la misma dirección, los planetarios estarán fijos y giran en direcciones opuestas. Esto produce el bloqueo del engranaje de anillo y logrando que todo gire como una unidad, dando como resultado una relación de salida **1:1**.

### **3.4.4. Sobremarcha**

La sobremarcha no es más que obtener en la salida mayor cantidad de RPM que en la entrada y esto se puede entender como lo opuesto a una reducción, lo obtenido en las primeras dos relaciones. Para obtener la salida deseada, se toma la entrada directa desde el volante del motor bloqueando el convertidor de potencia. Un eje que se encuentra fijo al cascarón del convertidor de potencia, el cual también está atornillado al volante del motor, es conectado al soporte planetario, el engranaje solar pequeño (30 dientes) gira libremente y el engranaje solar grande (36 dientes) es detenido por la banda de sobremarcha, nada queda conectado a la turbina del convertidor de potencia y la entrada proviene directa del volante. Con el soporte planetario actuando como entrada, un engrane solar fijo y el engranaje de anillo (72 dientes) actuando como salida, la relación de salida obtenida es:

$$\frac{1}{\left(1 + \frac{\text{Solar}}{\text{Anillo}}\right)} = \frac{1}{\left(1 + \frac{36}{72}\right)} = 0.67 : 1$$

La relación de salida obtenida es dos tercios de la entrada, por lo que las RPM serán mayores a las de entrada.

### 3.4.5. Reversa

La relación de salida que se obtiene en reversa y la forma en cómo trabaja el sistema planetario doble es muy similar a la primera relación, pero como se desea la salida en dirección opuesta al giro del motor, se tiene una pequeña diferencia. El engranaje solar pequeño (30 dientes) es impulsado por la turbina del convertidor y gira libremente en dirección opuesta a las manecillas del reloj, el solar grande (36 dientes) es ahora conducido, el soporte planetario queda fijo por acción de la banda de retroceso, el engrane de anillo (72 dientes) obtiene la dirección de giro deseada y trabaja como la salida.

$$\frac{\text{Anillo}}{\text{Solar}} = \frac{72}{30} = -2.4 : 1$$

Por tener la salida en dirección opuesta lo cual es el objetivo, se representa con el signo negativo.

En la siguiente tabla resumen es posible apreciar los valores de relación de salida, las partes que actúan como entrada, salida o están estáticos.

Tabla III. **Relaciones de salida**

<b>Relación</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Estático</b>	<b>Relación de Engranajes</b>
<b>1ra</b>	Solar 30 dientes	Anillo 72 dientes	Soporte planetario	<b>2,4:1</b>
<b>2da</b>	Solar 30 dientes	Soporte planetario	Solar 36 dientes	<b>2,2:1</b>
	Soporte planetario	Anillo 72 dientes	Solar 36 dientes	<b>0,67:1</b>
			Total 2nd	<b>1,47:1</b>
<b>3ra</b>	Solar 30 y 36 dientes	Anillo 72 dientes		<b>1,0:1</b>
<b>Sobre Marcha</b>	Soporte planetario	Anillo 72 dientes	Solar 36 dientes	<b>0,67:1</b>
<b>Reversa</b>	Solar 36 dientes	Anillo 72 dientes	Soporte planetario	<b>-2,4:1</b>

Datos de una transmisión típica de 4 relaciones y reversa

Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/automatic-transmission9.htm>.

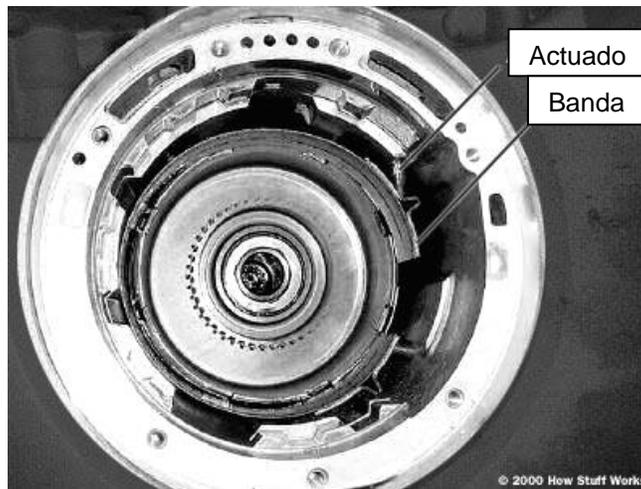
Consulta: diciembre del 2012.

### **3.4.6. Bandas**

Dentro de la transmisión hay dos bandas, las cuales son accionadas por actuadores hidráulicos en un extremo y en el otro está fija a la estructura de la

caja. Estas envuelven cierta parte de la transmisión y el set de engranes epicíclicos.

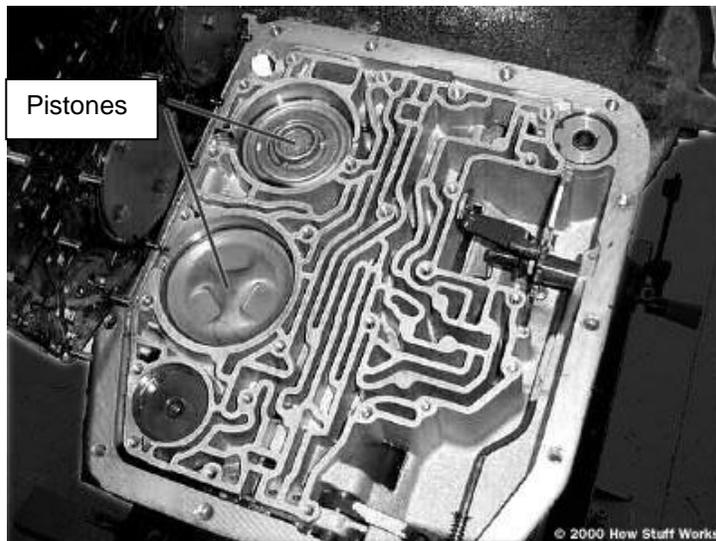
Figura 29. **Banda y actuador hidráulico**



Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/automatic-transmission10.htm>.

Consulta: diciembre del 2012.

Figura 30. **Pistones hidráulicos para los actuadores**



Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/automatic-transmission10.htm>.

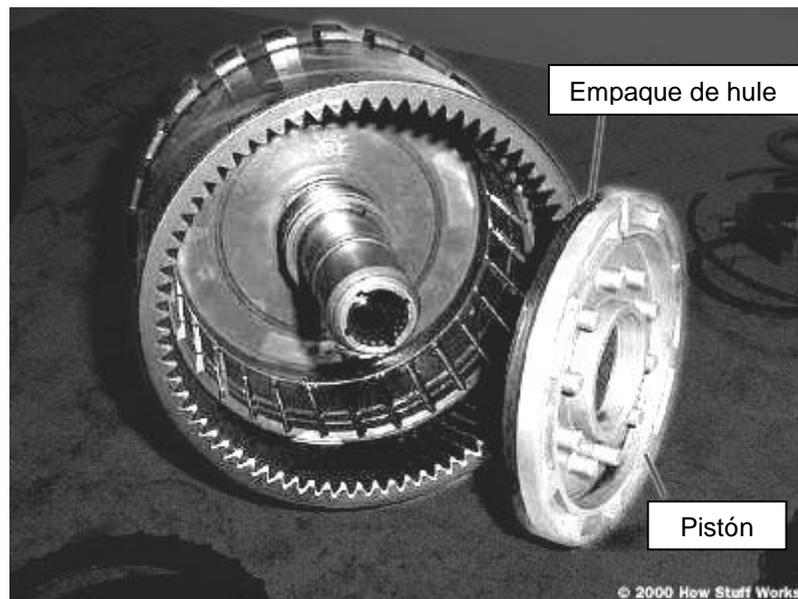
Consulta: diciembre del 2012.

En la figura 29 se puede observar una de las fajas con su actuador, y en la figura 30 se observa el cuerpo de válvulas y los pistones que hacen funcionar los actuadores de cada banda.

### 3.4.7. Embragues

Este es un sistema de varios embragues, a diferencia de uno solo que posee la transmisión mecánica. El sistema es un poco más complejo ya que son varios discos metálicos y de material de desgaste los que lo conforman. Para una transmisión típica de 3 relaciones y sobremarcha, se tendrán 4 embragues, cada uno es conectado por un pistón hidráulico el cual ingresa dentro del sistema (figura 31). Un resorte de compresión se asegura que cada uno de los embragues sea liberado y se conecte el siguiente correspondiente.

Figura 31. Cilindro de embragues y pistón

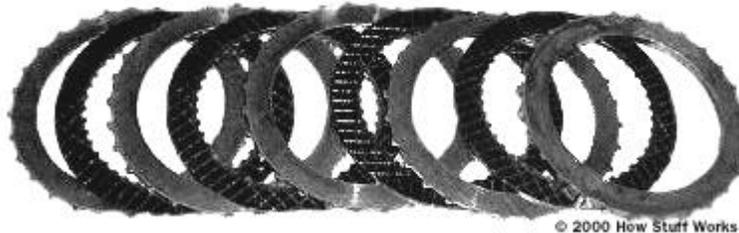


Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/automatic-transmission10.htm>.

Consulta: diciembre del 2012.

El sistema de embragues está conformado por discos con material de desgaste y discos metálicos (figura 32), los de material de desgaste están ranurados en el interior, mientras que los metálicos lo están en el exterior con lo cual se fijan dentro del cilindro del sistema.

Figura 32. **Discos de embrague y placas**



Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/automatic-transmission10.htm>.

Consulta: diciembre del 2012.

El fluido hidráulico llega a través de un conducto dentro del eje ubicado en el interior del sistema, la presión del fluido que los activa y permite a las bandas trabajar, proviene del sistema hidráulico.

### **3.5. El mantenimiento y fluido hidráulico ATF (Automatic Transmission Fluid)**

Al igual que cualquier transmisión mecánica requiere servicio de mantenimiento preventivo periódico, también las transmisiones automáticas lo necesitan. Existen algunas partes de la transmisión que deben ser cambiadas y otras inspeccionadas. El período o intervalo de tiempo para ejecutar dicho mantenimiento se indica en el manual de fabricante y no es recomendable establecer un período igual para todas las transmisiones. Todo vehículo tiene un manual de servicios en el cual se indican los intervalos de tiempo para cada uno. Por lo general de las piezas que deben cambiarse son:

### **3.5.1. Filtro**

Elemento encargado de retener todo tipo de impurezas como material de desgaste o partículas metálicas que el fluido arrastre hasta el depósito inferior, está ubicado al inicio del tubo de succión de la bomba en la parte inferior del cuerpo de válvulas.

### **3.5.2. Empaque de aceitera**

Como la aceitera debe de limpiarse de cualquier residuo pesado que se encuentre en ella así como partículas de desgaste que al acumularse forma un material pastoso, el empaque que hace el sello entre esta y la estructura de la transmisión se daña, por lo que es necesario reemplazarlo por uno nuevo y así evitar fugas del fluido. Se debe colocar un empaque del material que recomienda el fabricante y evitar la utilización de siliconas como sustituto.

### **3.5.3. Lubricante**

Cada transmisión tiene un diseño específico y lo más indicado es que se utilice el lubricante que cumpla las aprobaciones y recomendaciones que señala el fabricante, por ello, en el manual de servicios se indican claramente las que debe de cumplir el lubricante para mantener la transmisión en óptimo funcionamiento.

Algunas de las aprobaciones que la mayoría de lubricantes para transmisiones automáticas cumplen son:

- GM Dexron II, III, IV
- Allison C-4
- RenkDoromat

- Caterpillar TO-4
- Ford M2C163-A
- GM Type A Suffix A
- ISO 4406

Algunas aprobaciones son establecidas por los fabricantes de las transmisiones automáticas, que a lo largo su evolución se han conformado como estándares para todos los demás fabricantes, Por mencionar, Allison es una división de General Motors, en tanto que Caterpillar diseña y fabrica sus propios sistemas hidráulicos.

### **3.6. Ventajas de operación**

Es una transmisión relativamente fácil de operar, por carecer de embrague no es necesaria la sincronización en la utilización del mismo como sucede en la transmisión mecánica, todos los cambios de relación se hacen automáticamente controlados por el sistema electrónico y el programa instalado por el fabricante. Es muy cómoda para utilizar en la ciudad donde se hacen paradas y arranque frecuentemente, ya que el conductor se olvida de seleccionar una relación. A pesar de ser automática la selección de relaciones, el conductor también puede elegir manualmente una relación inmediata inferior para utilizar el motor como freno en una pendiente negativa o sostener la misma en pendientes positiva, pero debe de tenerse mucho cuidado en no sobrerrevolucionar el motor para evitar daños al mismo o a la transmisión como tal. En este tipo de transmisión se sacrifica un poco el consumo de combustible a cambio de la comodidad de conducción.

## **4. LA CAJA DE CAMBIOS AUTOMÁTICA TIP-TRONIC**

### **4.1. Historia**

Al recordar cómo se ejecutan los cambios en la transmisión de una motocicleta, lo cual es sencillo, ya que solo se debe de subir o bajar la palanca con el pie o bien girando la manija en el manubrio porque cada una de las relaciones está seguida de la otra, debiéndose enganchar y desenganchar cada una subiendo o bajando de relación hasta llegar a la deseada, esto es ejecutar los cambio en secuencia. Claro, las transmisiones en una motocicleta son mecánicas en secuencia y la que se desea analizar son transmisiones Tip-Tronic y es una variante de la transmisión automática.

Debido a la aparición de automóviles de alto desempeño y la necesidad de lograr un sistema simple y rápido en los cambios de relación al momento que el conductor lo necesite, se inicia el estudio para obtener una transmisión con la flexibilidad de la transmisión mecánica y la versatilidad de la transmisión automática. El poder seleccionar una relación deseada sin tener que utilizar un embrague y mantener el motor con mejor desempeño es lo que hace la diferencia.

Porche diseña y fabrica en un inicio este tipo de transmisión y es el dueño de la marca Tip-Tronic, de la cual a otorgado a varios fabricantes licencia para la utilización de su diseño y nombre.

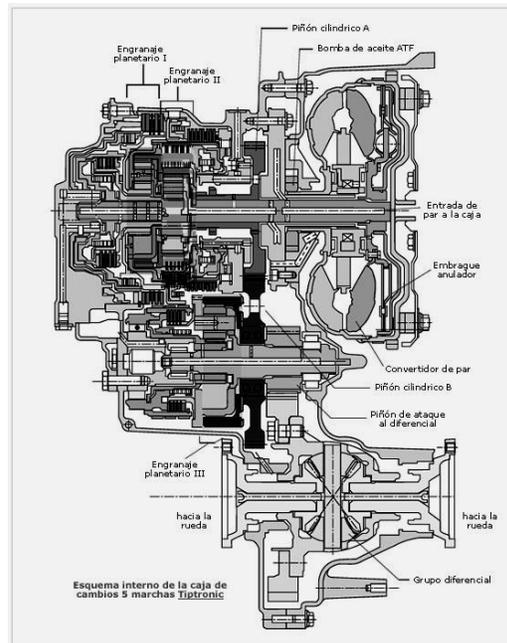
## **4.2. Teoría y principio de operación**

Este tipo de transmisión opera relativamente igual a una transmisión automática, por lo que su principio y teoría de operación son los mismos,

- Operan por presión con base en un fluido hidráulico
- Pose un convertidor de potencia
- Utiliza sistema doble de engranajes epicíclicos
- Utilizan discos de embrague y bandas de freno
- Ausencia de pedal de embrague

Con base en esto y lo expuesto en el capítulo anterior, es muy sencillo entender su principio y teoría de operación. En la figura 33 se presenta el corte de una transmisión, se puede apreciar la similitud con las transmisiones automáticas estándar, el convertidor de potencia, los discos de embrague, las bandas de freno y los juegos de engranes epicíclicos.

Figura 33. **Corte transversal**



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/caja-cambios8.htm>.

Consulta: octubre del 2013.

### 4.3. **Características de operación**

A pesar de ser similares a las transmisiones automáticas, se tienen algunas características propias que le dan su versatilidad y confort en la conducción. Algunas de estas son:

#### 4.3.1. **Control electrónico**

Posee un sistema electrónico con programas y parámetros específicos para la operación y control total de la transmisión, el mismo controla la selección de las relaciones en forma automática y presenta en algunas ocasiones diferentes opciones de conducción

- Confort: efectúa los cambios a menores RPM del motor, logrando que estos sean poco perceptibles para el conductor y pasajeros, asimismo el ruido del motor es menor y se busca un mayor rendimiento de combustible.
- *Sport*: el tiempo entre cada cambio de relación se incrementa, permitiendo que el motor alcance mayores RPM y así ofrecer mayor potencia, aumenta el ruido dentro de la cabina y los cambios entre relación son más sensibles por el piloto y los ocupantes, se sacrifica el rendimiento de combustible.

Ahora bien, también posee una opción de conducción en la cual la Tip-Tronic se comporta como una transmisión mecánica, con todas las opciones que estas dan, pero el sistema de control protege tanto a la transmisión como al motor de cualquier daño por elevadas RPM.

- La primera relación es conectada automáticamente por el control electrónico al momento de estar el vehículo estático.
- No es posible sobrerrevolucionar el motor al estar fija una de las relaciones, las mismas quedan limitadas a los parámetros y límites de seguridad establecidos por el fabricante.
- No es posible efectuar un descenso de relaciones rápidamente o dando un brinco, es decir, si el conductor efectúa un cambio de relación hacia abajo y las RPM del motor están fuera de los parámetros de seguridad, el sistema espera a que estas lleguen a un valor de seguridad y solo entonces se conecta la relación seleccionada.

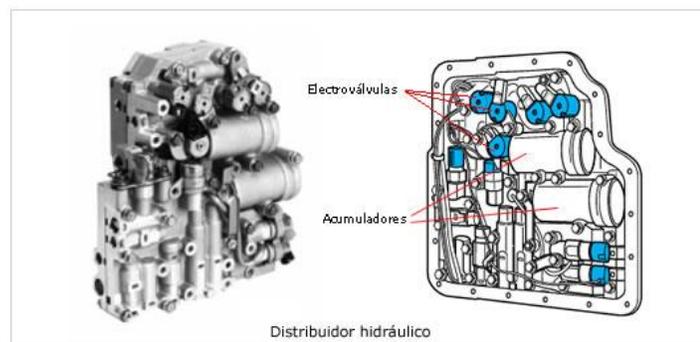
- Ya que el sistema electrónico monitorea tanto las RPM del motor como la velocidad del automóvil, se puede utilizar la transmisión para compresión, pero siempre dentro de los parámetros de seguridad.

#### 4.3.2. Cuerpo de válvulas

Al igual que la transmisión automática estándar, esta posee un cuerpo de válvulas que controlan el flujo de fluido hidráulico para la correcta operación de todo el sistema, pero su diferencia radica en que éste posee electroválvulas controladas por el sistema electrónico. Estas son las que abren el paso de fluido a cada uno de los actuadores para la conexión y desconexión de cada relación, a su vez, también permiten mantener una relación seleccionada en el modo manual, es decir son las que hacen posible el operar la transmisión en modo manual o automático con sus opciones *sport* o *confort*.

En la figura 34 es posible apreciar el cuerpo de válvulas, con sus respectivos acumuladores de presión y las válvulas electrónicas, quienes hacen posible que la transmisión trabaje como se indicara anteriormente.

Figura 34. **Cuerpo de válvulas**



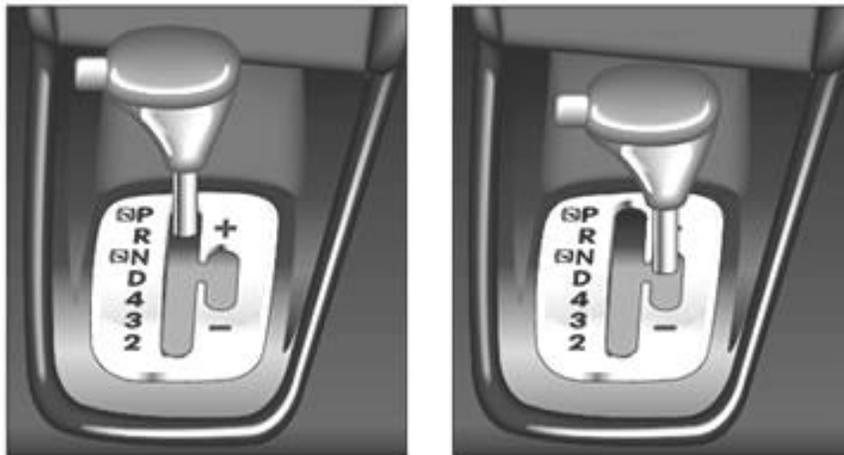
Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/caja-cambios8.htm>.

Consulta: octubre del 2013.

#### 4.4. Relaciones fijas automáticas o manuales

Como se indicara, esta transmisión tiene la característica de funcionar en modo automático o manual (figura 35), teniendo la activación y desactivación de las mismas en cualquiera momento, el conductor es quien decide la modalidad de conducción. En lo que se refiere al sistema de trabajo de los engranes epicíclicos, discos de embrague y las relaciones, esto es igual a la transmisión automática estándar. En la figura 36 se presenta un diagrama de flujo de la potencia y las partes que están trabajando para obtener la salida deseada en cada relación.

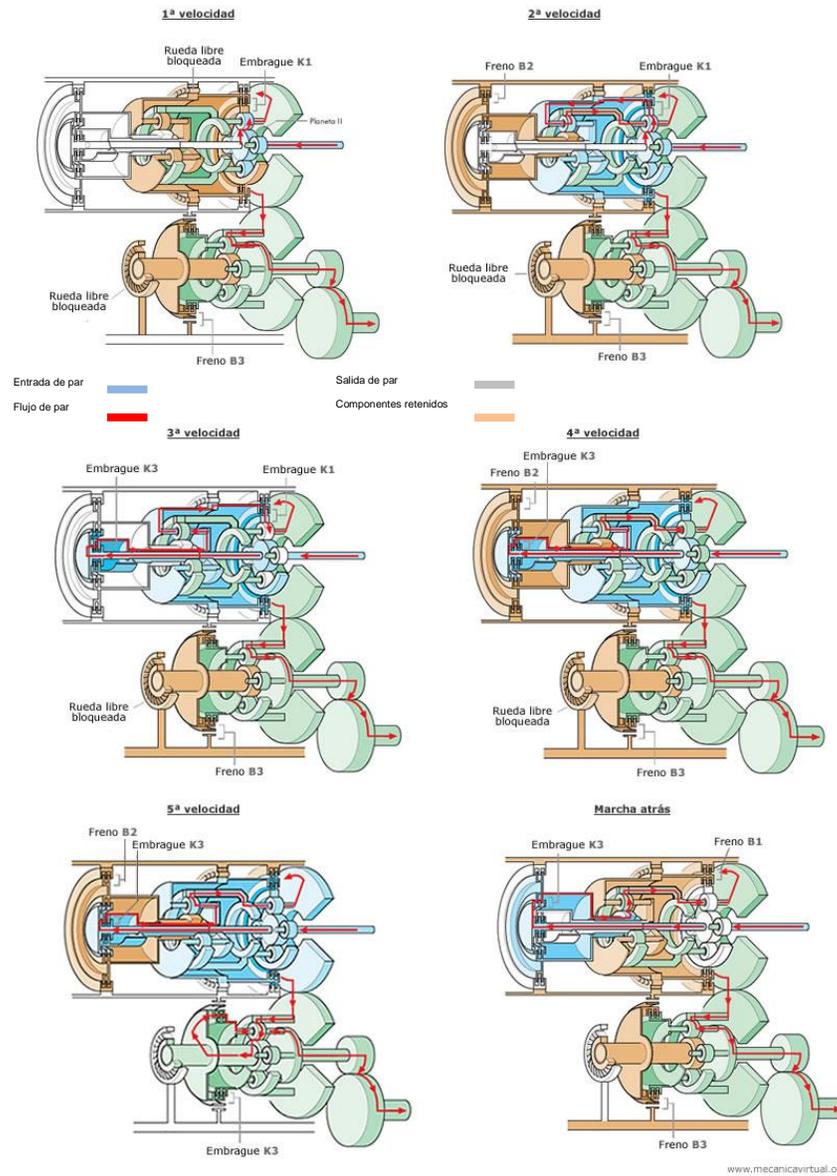
Figura 35. **Palanca selectora (modo automático y modo manual)**



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/caja-cambios8.htm>.

Consulta: octubre del 2013.

Figura 36. Esquema de operación en cada relación



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/caja-cambios8.htm>.

Consulta: octubre del 2013.

#### **4.5. El mantenimiento y aceite lubricante**

Los períodos de tiempo o cantidad de kilómetros recorridos para efectuar el cambio del fluido hidráulico se establecen en el manual de mantenimiento del fabricante y nunca debe de tomarse un valor o tiempo en forma general, siempre es de referirse a lo indicado en ellos.

El fluido hidráulico en estas transmisiones puede que cambie un poco en los parámetros o normas que cumple y requiere el fabricante, en los manuales se establece claramente qué normas debe cumplir para que la transmisión trabaje en forma óptima y se prolongue su vida útil. Algunas de las aprobaciones a cumplir son:

- GM Dexron III, IV
- Allison
- Caterpillar
- ISO 4406

Algunas aprobaciones son establecidas por los fabricantes de las transmisiones automáticas, que a lo largo de su evolución se han conformado como estándares para todos los demás fabricantes. Por mencionar, Allison es una división de General Motors, en tanto que Caterpillar diseña y fabrica sus propios sistemas hidráulicos.

Así como en las transmisiones automáticas estándar hay piezas que deben de cambiarse y otras que se deben inspeccionar, también en estas se efectúan los mismos cambios, pero el sistema de control electrónico así como las electroválvulas deben ser revisadas en lo referente a sus conexiones eléctricas.

#### **4.6. Ventajas de operación**

Proporciona las mismas ventajas de operación que la transmisión automática estándar y en adicional, como se explicara anteriormente, permite utilizarla en forma manual para manejar las relaciones como se deseen, pero siempre controladas por el sistema electrónico y los parámetros de seguridad en su programación.



## **5. LA CAJA DE CAMBIOS CVT Y SUS VARIANTES**

### **5.1. Historia**

En la década de los 50 el fabricante europeo de autos Daf inicia los trabajos en un sistema de transmisión de potencia sin engranes, se basaba en una faja de hule y trabajaba utilizando un sistema centrífugo de poleas variables, aunque el sistema no salió del país de origen fue, por decirlo, el inicio del estudio para la aplicación en automóviles. Fue Subaru la que en 1987 introduce su modelo Justy, con un motor de mil centímetros cúbicos acoplado a una transmisión CVT desarrollada por Fuji Heavy Industries (propietaria de la marca Subaru), esta transmisión trabajaba con una faja metálica y un sistema hidráulico de polea variable.

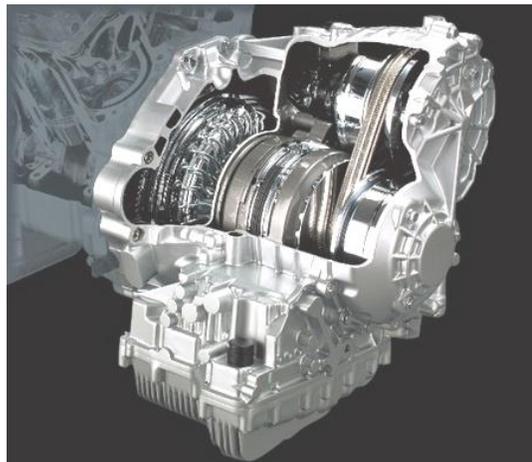
Este modelo de Subaru tuvo muy poca aceptación por los consumidores, ya que los conductores deseaban sentir los cambios de relación y el ruido del motor al subir y bajar las revoluciones. Posteriormente los fabricantes Nissan y Suzuki ambas compañías de origen japonés, introducen en 1992 sus modelos las transmisiones CVT, y Honda en 1995 la presenta instalándola en su popular modelo Civic, modelo que sigue siendo uno de los más populares de este fabricante japonés.

Durante esta década se inicia el establecimiento de nuevas normas ambientales y para la eficiencia del combustible; dichas normas, fueron formuladas por Japón y países europeos, hace que se incremente la adopción de nuevas tecnologías. La investigación en nuevos materiales y mecanismos multietapa, impulsa una amplia investigación en las transmisiones CVT. Como

el peso del vehículo en sus componentes provoca una baja en la eficiencia del sistema, se investiga en la reducción de partes, la utilización de materiales con menor peso y al mismo tiempo se orientan en reducir los costos en manufactura de los componentes y el ensamblado.

Los estudios e investigaciones en sistemas eficientes continúan y no se detiene, a pesar que muchos fabricantes de automóviles adoptaron en sus modelos las transmisiones automáticas Tip-Tronic de 5 y 6 relaciones, muy pocos se aventuran en la utilización de las CVT, pero el estudio y desarrollo en éstas sigue avanzando. Nissan desarrolla y presenta en 1997 una práctica y funcional CVT para ser acoplada a motores de 2 000 cc, posteriormente en 1999 presenta e introduce una CVT de cavidad toroidal, la cual utiliza rodos metálicos para la transmisión de potencia. En tanto otros fabricantes de autos y sus subsidiarias, trabajan en la implementación y desarrollo de CVT utilizando fajas metálicas e incrementándose en el mercado la oferta de vehículos con este tipo de transmisión. En la figura 37 se aprecia una imagen de una CVT de polea variable.

**Figura 37. CVT polea variable**



Fuente: <http://www.diariomotor.com/2008/09/17/la-transmision-variable-continua-cvt-esa-grandesconocida/>. Consulta: diciembre de 2012.

## 5.2. Teoría y principio de operación

A diferencia de las transmisiones automáticas, la CVT no cuenta con el sistema de engranes epicíclicos dispuesto de la misma forma, es un sistema que se basa en lo planteado hace más de 500 años por Leonardo da Vinci. La teoría básica consiste en tener una variación continua de relación de radios entre la entrada y la salida, no es posible percibir el cambio entre una y otra relación. Se encuentran dos formas básicas en que se logra lo anterior descrito y ambas trabajan por fricción

Así como en una transmisión automática estándar, estas no cuentan con un pedal de embrague y la palanca selectora tiene las posiciones de parqueo, marcha hacia atrás, neutral y marcha hacia adelante. Lo común con la CVT de polea variable es el convertidor de potencia, el cual, como se explicó anteriormente, utiliza el fluido hidráulico para lograr el acople entre el motor y la transmisión; la presión hidráulica generada por el convertidor es utilizada para controlar el selector de las relaciones que se utilizaran en cada momento.

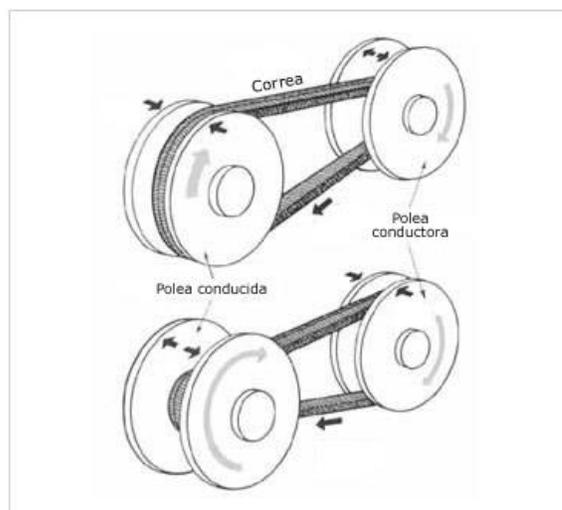
Aunque hay varios tipos de CVT, todas se basan en la transmisión de potencia por fricción entre dos elementos, a pesar que unos trabajan por medio de poleas variables y otros con cavidad toroidal y rodillos, ambas se basan en lo mismo. Para obtener el torque máximo de transferencia, se deben observar 3 variables en especial, coeficiente de fricción entre las superficies ( $C_f$ ), la fuerza normal entre las superficies en contacto ( $F_N$ ) y el radio del disco o polea de salida ( $R_0$ ). La ecuación para el torque máximo quedaría:

$$T_{\max} = C_f \times F_N \times R_0$$

Al observarla se puede notar que se basa en el principio físico de transmitir un torque a un eje por medio de un esfuerzo excéntrico o lo que se entendería por un trabajo de palanca. El problema principal con el que se debió lidiar para obtener un máximo de transferencia era el fluido hidráulico, pero solucionado ese problema cada fabricante inició el proceso de trabajo en diseños propios.

Tomando los sistemas más comunes, poleas variables o cavidad toroidal, en ambos se tenía el problema de la dirección de rotación en el eje de salida, la cual es inversa a la del motor y retornar dicha dirección de rotación se hace necesario, lo cual se logra utilizando un sistema de engranes epicíclicos, que, como se mencionara al inicio, no están dispuestos de igual forma como en las cajas automáticas, pero cumplen con invertir la dirección de giro, dando la ventaja de variar un poco más la relación de salida final, favoreciendo en el incremento de relaciones posibles a obtener y permite operar en reversa.

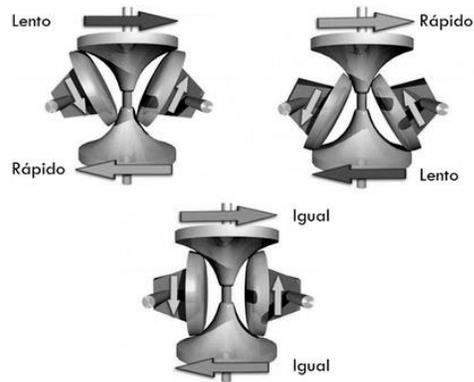
Figura 38. **Esquema del sistema de poleas variable**



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/images-cajas-cambios2/cvt-poleas.jpg>.

Consulta: octubre del 2013.

Figura 39. **Sistema de cavidad toroidal**



Fuente: <http://www.diariomotor.com/imagenes/CVT%20toroidal%20copy.jpg>.

Consulta: octubre del 2013.

Como se indicara en un inicio existen dos tipos de CVT, las cuales a pesar del desconocimiento por parte de los usuarios, están siendo utilizadas ampliamente; en las imágenes 38 y 39 se muestran los sistemas de polea variable y cavidad toroidal respectivamente. En uno de ellos se hace variar la profundidad de las poleas y en el otro se giran los rodillos sobre un eje perpendicular y paralelo al eje de rotación de entrada y salida, en ambos casos todo es controlado por un sistema electrónico el cual se apoya en el sistema hidráulico, y finalmente este para efectuar los cambios de relación, utiliza actuadores hidráulicos.

El objetivo de estas transmisiones es mantener el motor en las mejores condiciones de operación, el cual es su punto óptimo de erogación de potencia y eficiencia de combustible, para así lograr una rápida y mejor respuesta a las demandas del conductor o las condiciones del camino. Para obtener lo anterior, el sistema debe de monitorear algunas variables, tales como la velocidad de conducción, RPM del motor, posición del acelerador, presión de vacío en el

múltiple de admisión y en algunos casos la inclinación del terreno. Esta información ingresan al computador central de la transmisión y entonces ella decide la posición de los discos dentro del toroide o la profundidad en la polea variable.

### **5.3. Relaciones variables automáticas**

Como se mencionó en un inicio, este tipo de transiciones no poseen relaciones fijas determinadas por engranes, son relaciones de rotación entre la entrada y salida, empero varían continuamente según sea el criterio del sistema computarizado de control. En un sistema de cavidad toroidal se cambia el ángulo de inclinación del disco dentro del toroide y en el sistema de polea variable es la profundidad del punto de rodadura en cada polea. Si se ve la analogía entre ambos, al final es una rueda pequeña que debe efectuar un determinado número de revoluciones por cada revolución de la rueda más grande.

El sistema en sí no presenta un punto específico como relación alguna, todo lo decide un programa dependiendo de las variables de control (velocidad, posición del acelerador y presión de vacío en el múltiple de admisión entre otros), por lo que se puede obtener una relación para incrementar la velocidad rápidamente o lentamente basado en lo que el conductor demande. A diferencia de las transmisiones automáticas tradicionales o las más avanzadas, las CVT jamás presentarán un cambio brusco entre relaciones.

### **5.4. Fluido hidráulico**

Al igual que las transmisiones automáticas estándar, las CVT funcionan con presión hidráulica por lo cual debe de existir un fluido de trabajo que

además lubrique todo el sistema en movimiento y sobre todo proteja las piezas en contacto directo como la faja dentro de las poleas o bien los discos dentro la cavidad toroidal. Tomando en cuenta que al poner en contacto dos partes metálicas en movimiento se genera fricción, la cual con el tiempo genera calor y los elementos se queman o dañan. Tomando en cuenta esto, Fuji Heavy Industries después de 3 años de investigación continua desarrolla el primero de los fluidos hidráulicos para CVT. El secreto radica en controlar la dispersión del lubricante, el cual por tener moléculas planas y al estar sometido a grandes presiones de contacto deja libre el área. Para librar este problema se diseña una molécula que sometida a presiones se engancha una con la otra evitando la dispersión y forman por un corto instante una especie de grasa.

Con la nueva molécula diseñada específicamente para estas condiciones de trabajo se genera un coeficiente de fricción elevado, el fluido se transforma en el medio de tracción para obtener arrastre entre ambas superficies, además evita que estas entren en contacto directo y se quemen o dañen.

## **5.5. La CVT y sus variantes**

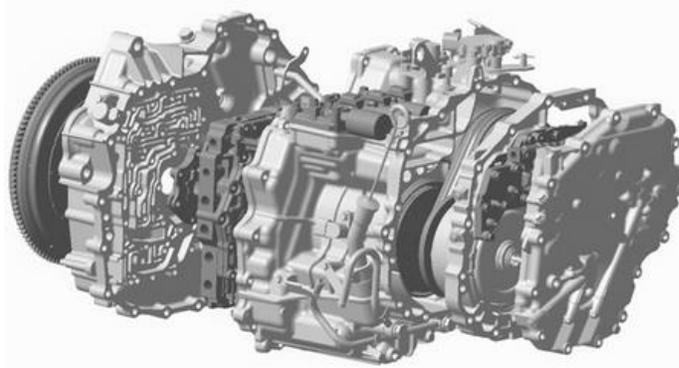
En el mercado se encuentran varios tipos o variantes de CVT, cada una con sus características muy especiales en diseño y de operación. Los modelos más comunes serán citados a continuación.

### **5.5.1. CVT de polea variable**

Este es el modelo más conocido y utilizado por los fabricantes de automóviles, es compacto, silencioso y de diseño sencillo (figura 40). Aunque el fabricante más grande de transmisiones es JATCO (Japón), algunos fabricantes

de automóviles también han incursionado en el diseño y desarrollo de modelos propios.

Figura 40. **CVT de polea variable (esquema)**



Fuente: <http://www.diariomotor.com/2008/09/17/la-transmision-variable-continua-cvt-esa-grandesconocida/>. Consulta: diciembre del 2012.

#### **5.5.1.1. Características de operación**

Como se indicara anteriormente, este tipo de transmisión trabaja utilizando presión hidráulica, la cual proviene del convertidor de potencia que además como acople entre la transmisión y el motor, actúa como embrague para poder operar el motor en alto total. Básicamente el sistema se conforma de muy pocas partes,

- Faja metálica
- Polea de entrada
- Polea de salida
- Sistema electrónico
- Set de engranes planetarios

Esta transmisión opera básicamente transfiriendo la potencia de un punto a otro por medio de una faja, la cual normalmente es metálica. Dos poleas de radio variable son las encargadas de proporcionar las diferentes relaciones entre la entrada y la salida de potencia. Estas poleas son operadas por el sistema hidráulico para poder soportar la presión necesaria al trabajar la transmisión (figura 41).

Figura 41. **Sistema de poleas variables**



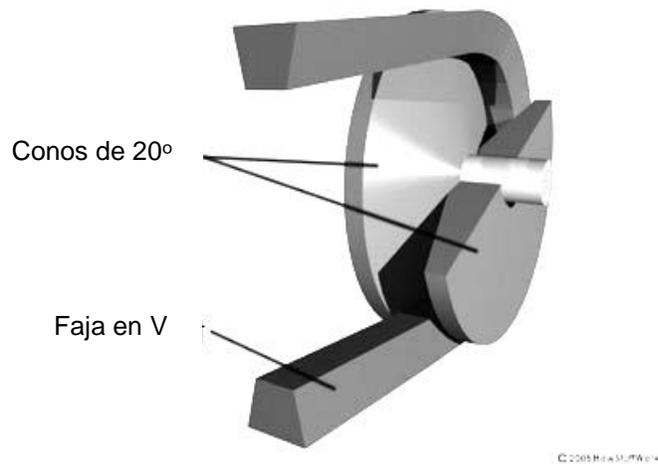
Fuente: <http://www.diariomotor.com/2008/09/17/la-transmision-variable-continua-cvt-esa-grandesconocida/>. Consulta: diciembre del 2012.

- Polea de entrada y polea de salida

Ambas poleas son básicamente iguales, dos conos de 20 grados encontrados. Dentro de estos trabaja la faja y dependiendo de la separación entre los mismos la faja es obligada colocarse más alejada o más cerca al eje de rotación dentro de la misma. En la figura 42 se parecía una polea con un

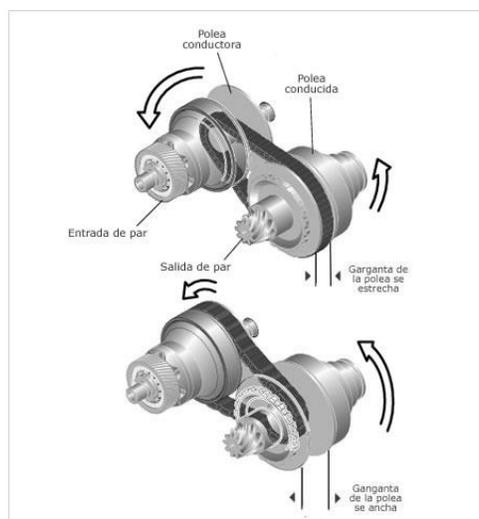
corte en uno de los conos y es posible apreciar la posición de la faja dentro de esta.

Figura 42. **Corte de polea variable**



Fuente: <http://auto.howstuffworks.com/cvt2.htm>. Consulta: diciembre del 2012.

Figura 43. **Esquema del sistema de poleas variables**



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.com/images-cajas-cambios2/cvt-principio-funcion.jpg>. Consulta: octubre del 2013.

Una de las poleas es conductora y la otra conducida, su operación es inversa, en lo que una se abre para dejar más cerca del eje central su punto de contacto la otra se cierra y lo aleja (figura 43), obteniendo las diferentes relaciones además de mantener la tensión y alineamiento de la faja entre ellas. Ambas funcionan a base de presión hidráulica, aunque algunos fabricantes también incorporan resortes para facilitar el trabajo dentro de ellas. En estas es donde el fluido hidráulico hace realmente el trabajo, la presión para mantener cada polea con la apertura definida y en las áreas de contacto entre la faja metálica y las poleas variables.

- *Set* de engranes epicíclicos

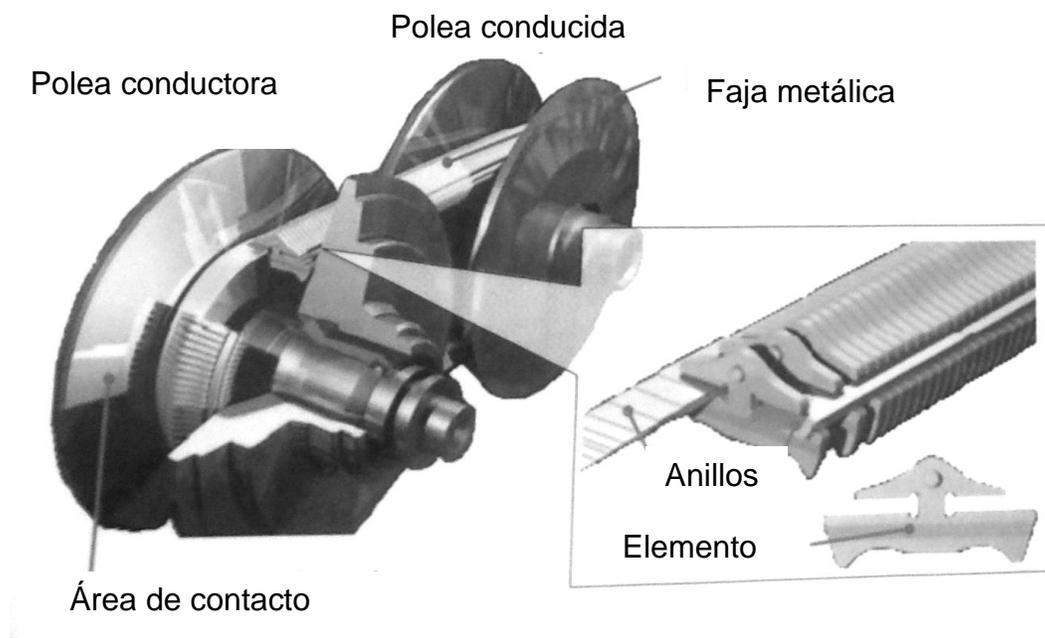
El trabajo de estos es invertir la dirección de giro proveniente de la polea de salida para luego transmitirla a las ruedas de tracción, también permite trabajar en reversa y algunos fabricantes los utilizan para mejorar la relación de salida final. Por lo general este *set* está colocado en la sección final de la transmisión.

#### **5.5.1.2. Faja o cadena de transmisión**

Es el elemento que más sufre dentro de la transmisión, encargada de transferir el torque de la polea de entrada a la polea de salida. Por lo general está construida con metal de alta dureza, para que soporte las cargas de presión y tensión a que está sometida. Para obtener la flexibilidad requerida y curvarse dentro de las poleas, esta se conforma con anillos y elementos de enlace, ambos de metal. Este diseño se basa en la tensión que se aplica a los anillos y la compresión aplicada a los elementos de enlace, en conjunto proveen las características necesarias para operar apropiadamente.

Como se aprecia en la figura 44, la faja se encuentra en contacto con las poleas variables y es la pieza que sufre mayor esfuerzo dentro de todo el sistema. En un inicio se trabajaba con fajas de hule, pero las mismas no soportaban el trabajo de transferir una elevada cantidad de torque y se deslizaban o fallaban rápidamente.

Figura 44. **Faja de transmisión (esquema)**



Fuente: <http://www.alvolante.info/wp-content/uploads/Honda-planta-transmisiones-CVT-poleas.jpg>. Consulta: octubre del 2013.

### 5.5.1.3. El mantenimiento

Los períodos de mantenimiento están indicados en el manual de fabricante y es imperativo se efectúen los mismos. El fluido hidráulico, que es la clave de toda la operación será reemplazado en los tiempos indicados y por uno que cumpla las especificaciones que indica el fabricante. La faja será reemplazada

en los periodos indicados en los manuales. El cambio de filtros y empaques así como la inspección de partes se efectuará según indica el fabricante.

#### **5.5.1.4. Control electrónico**

Así como en las transmisiones automáticas el cuerpo de válvulas hace posible el seleccionar una relación determinada, y el control electrónico es el encargado de hacerlo. Utilizando los datos de las variables de control decide qué tan abierta estará una de las poleas y en lo opuesto que tanto se cierra la otra. Maneja varios elementos como electroválvulas y sensores, los cuales en combinación con los parámetros del programa, toma las decisiones más adecuadas para mantener el motor en su punto óptimo de eficiencia y erogación de potencia. Asimismo, en algunas versiones existe la posibilidad de seleccionar manualmente algunas relaciones, por supuesto siempre existen parámetros de seguridad para no dañar al motor ni la transmisión.

#### **5.5.1.5. Ventajas de operación**

Esta transmisión tiene varias ventajas muy favorables para el conductor, entre las cuales es de mencionar:

- Mejora en el rendimiento, hasta un 20 % aproximadamente
- Aceleración más rápida
- Marcha silenciosa y sin percibir el cambio de relación
- Menor peso

La relación entre todas las ventajas mencionadas radica en mantener al motor en un punto óptimo de erogación de potencia así como de economía, lo

cual se obtiene con este tipo de transmisión. El menor peso de todo el sistema, repercute directamente en el rendimiento del combustible.

### **5.5.2. CVT toroidal y T-CVT**

Como se indicó en un inicio, las transmisiones CVT toroidal son el segundo tipo más ampliamente utilizado, se entenderá que CVT toroidal y T-CVT (Toroidal Continuously Variable Transmisión) son exactamente lo mismo aunque algunos fabricantes las presentan con alguno de los dos nombres.

Este tipo de transmisión a pesar de tener relativamente poco tiempo en el mercado, su tecnología va más allá de lo convencional y aplica conceptos tanto físicos como matemáticos y químicos. La forma de operación y su concepto básico se explica posteriormente.

En contraposición a una transmisión automática estándar de 4 velocidades con una relación máxima aproximada de 4:1 y longitudes superiores a los 360 mm, las T-CVT pueden ofrecer fácilmente una relación de 6.25:1 con longitudes de 345 mm y una sección transversal relativamente pequeña. En adicional, es de suma importancia el número de piezas que conforman el sistema, lo cual incide en menor peso y por ende en menor consumo de combustible. Por ejemplo, una transmisión T-CVT con la capacidad de manejar un torque de 120 Nm (motor hasta 1 600 cc) pesa aproximadamente 44 kg y una con capacidades de 200 Nm pesa aproximadamente 50 kg, las T-CVT de bajo torque son utilizadas en vehículos compactos con motores a gasolina hasta 1 600 cc, las de alto torque se utilizan en vehículos con motores de 1 600 cc en adelante, gasolina o diésel.

### **5.5.2.1. Características de operación**

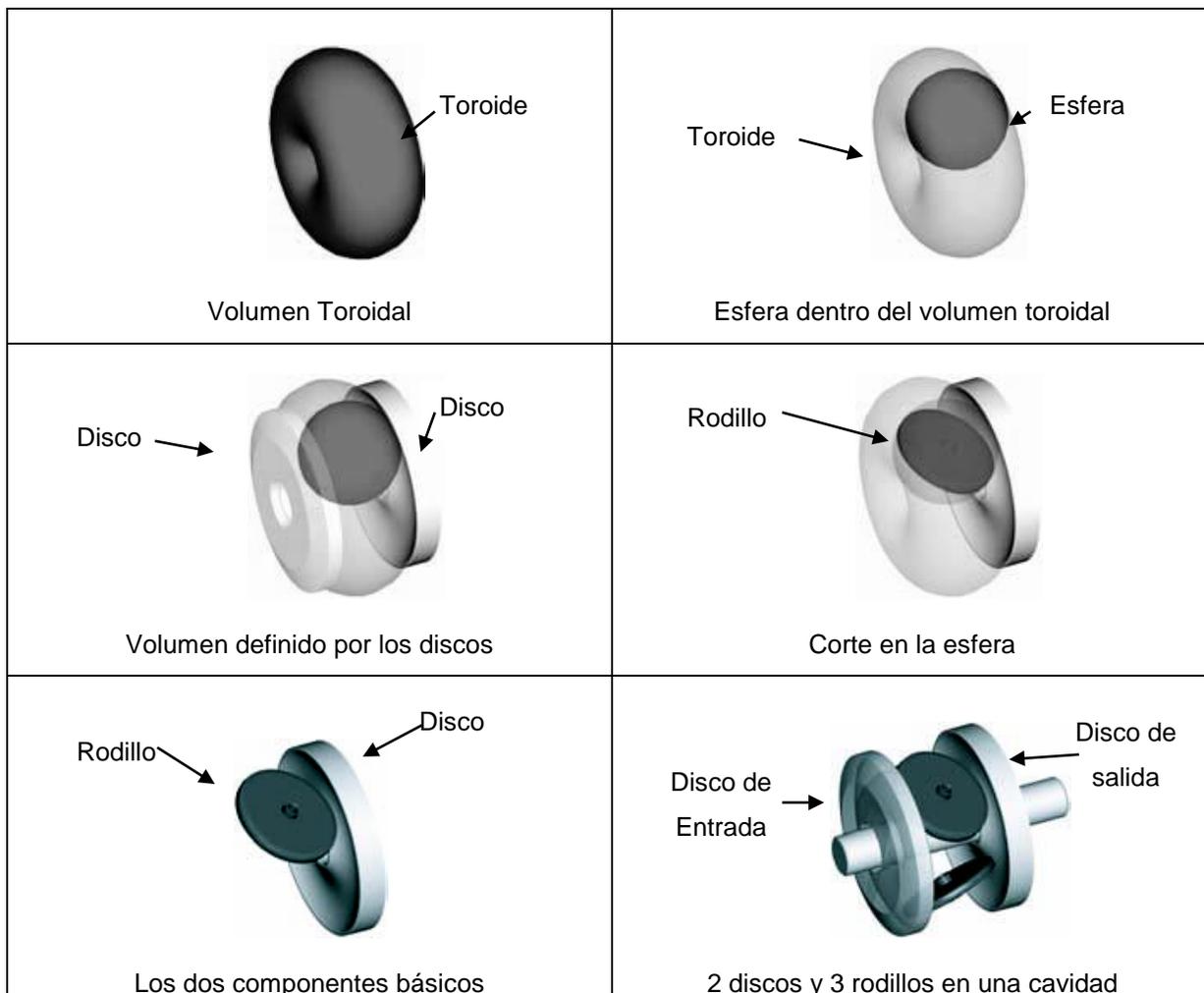
El sistema completo es muy compacto, simple e ingenioso. Está conformado básicamente por 4 subsistemas: variador toroidal de tracción, control hidráulico, sistema de embrague y unidad de salida. Aunque no todo el sistema es de reciente desarrollo, la forma de utilizarlos en conjunto así como su configuración le da a este tipo de transmisión un funcionamiento totalmente diferente a lo conocido.

Las dos diferencias básicas con las transmisiones automáticas estándar son: la ausencia de un convertidor de potencia y los tirones al efectuar los cambios, empero con la CVT de polea variable difieren únicamente por el convertidor de potencia. Este tipo de transmisión logra controlar el torque requerido por las ruedas de tracción para poner en movimiento el automóvil, ya sea hacia adelante o hacia atrás. La potencia que el motor eroga entra directamente a la T-CVT, la cual utilizando el sistema de rodillos y cavidad toroidal, se ajusta la salida de potencia requerida para cada condición de manejo así como también logra mantener al automóvil en alto total, ya sea sobre terreno plano como en pendientes, algo que en las otras transmisiones automáticas y CVT de polea variable, se logra con el convertidor de potencia.

Para entender el porqué del nombre toroidal, se hace necesario presentar gráficamente la geometría del sistema en sí, el cual se basa primariamente en la figura de un toroide y aprovechando las ventajas en su geometría se logra obtener el sistema deseado. Como se puede apreciar en la figura 45, dentro del toroide se puede dibujar una esfera con el mismo diámetro de la sección transversal de este, posterior se puede colocar un disco que corresponda con la geometría externa del toroide y como el disco logran cubrir en más de 90° al mismo, es de dónde se denomina un variador totalmente toroidal.

Ahora bien, dentro de la esfera es posible dibujar una circunferencia y formar un rodillo delgado, el cual es el que transfiere la tracción de un disco a otro; este rodillo está colocado en forma perpendicular a la sección transversal del toroide y está en contacto con la superficie de los discos en un solo punto respectivamente. La variación de inclinación del rodillo en relación a los discos, proporciona una variación en la velocidad de los mismos.

Figura 45. **Geometría de variador toroidal**



Fuente: The making of the full toroidal variator JTEKT engineering English edition No. 1006E (2009)

Como el sistema trabaja básicamente por fricción entre los discos y los rodillos, es necesario un lubricante que trabaje en régimen EHL (lubricación elastohidrodinámica). En estas condiciones una fina capa de lubricante transmite las fuerzas suficientes entre el disco y el rodillo, pero evitando que los mismos entren en contacto directo y se dañen entre sí (figura 46).

Figura 46. **Punto de contacto**



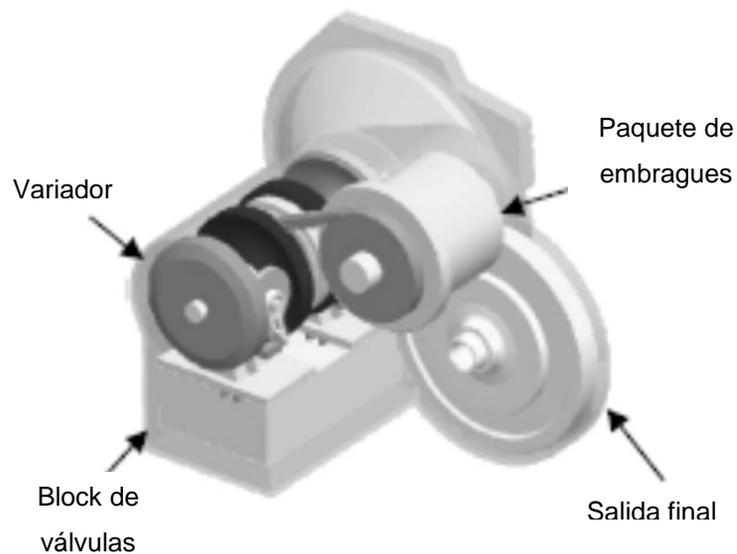
Fuente: Diseño y especificaciones [www.torotrak.com](http://www.torotrak.com). Consulta: noviembre de 2013.

Para obtener el régimen EHL es necesaria una fuerza de contacto, la cual varía de 1 a 4 GPa y es proporcionada por el sistema hidráulico al aplicar presión en la parte posterior de uno de los discos de entrada.

Otro aspecto innovador de estas transmisiones es la ubicación del paquete de embragues, el cual se conecta a la salida del variador. Como el variador se conecta directamente a la salida del motor ambos giran a las mismas RPM, evitando el problema de daños por cargas de golpe al momento de iniciar la marcha. Se dice paquete de embrague ya que consta de dos sistemas contenidos en una unidad, un embrague para conducción hacia adelante y otro para la marcha hacia atrás. La transferencia de potencia para marcha hacia adelante se hace mediante una cadena, a diferencia que para la

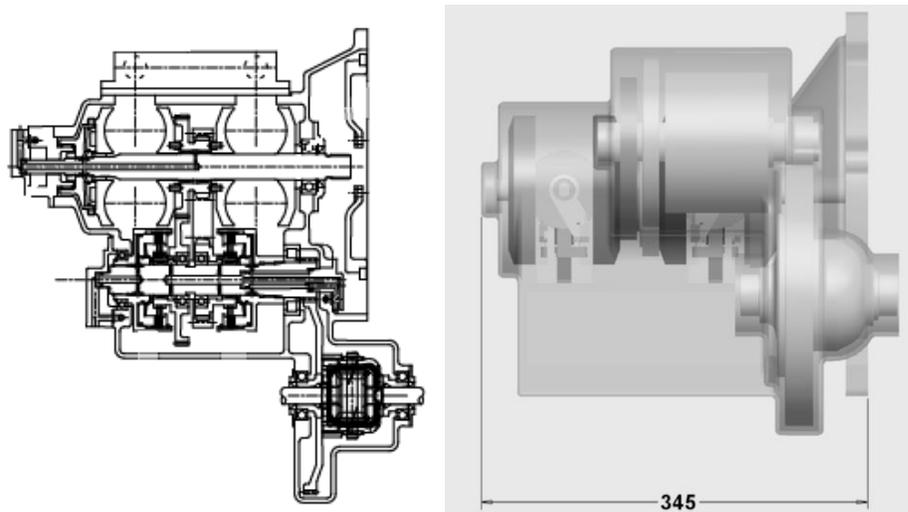
marcha hacia atrás es mediante engranajes. Es de mencionar que en la marcha hacia adelante el sistema varía ampliamente en cualquier momento, pero en la marcha hacia atrás el sistema da la relación más baja del variador, empero la velocidad siempre varía en relación proporcional directa a la velocidad del motor. El diferencial de salida final se conecta directamente a la salida del paquete de embragues.

Figura 47. **Transparencia del sistema T-CVT**



Fuente: Development in Full Toroidal Traction Drive Infinitely and Continuously Variable Transmissions Torotrak (development) Ltd 2007-01-3740. [www.torotrak.com](http://www.torotrak.com).  
Consulta: noviembre de 2013

Figura 48. **Sección y transparencia de T-CVT**



Fuente: Torotrak Toroidal traction Drive Continuously Variable Transmission (T-CVT) for Kei Cars Dave Burt and Mike Hough. Torotrak (development) Ltd. [www.torotrak.com](http://www.torotrak.com). Consultado: noviembre de 2013.

En las figuras 47 y 48 se puede apreciar la ubicación de cada elemento que conforma la T-CVT, observándolas es posible entender lo descrito anteriormente.

Algunos fabricantes como Torotrak con casa matriz en el Reino Unido (UK) desarrollaron dos tamaños de T-CVT a ser utilizadas, dependiendo del vehículo o segmento de mercado a cubrir. La tabla IV describe las características de cada uno de estos tipos T-CVT 1 y T-CVT 2

Tabla IV. **Datos de las T-CVT tipo 1 y 2**

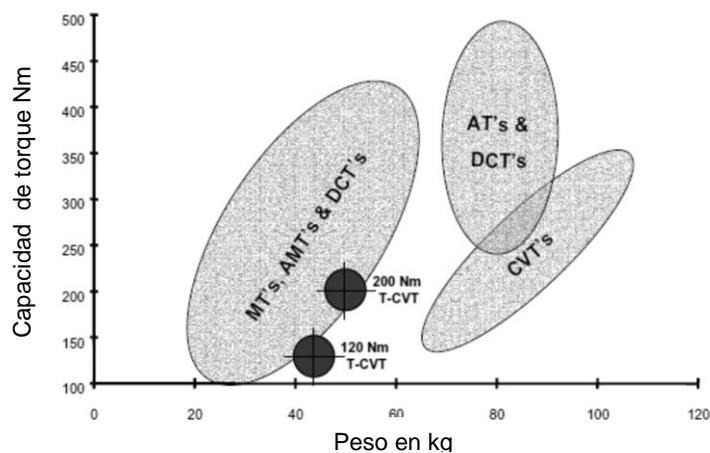
	T-CVT 1	T-CVT 2
Diámetro del rodillo	60 mm	70 mm
Longitud	325 mm	345 mm
Peso	44 Kg	50 Kg
Rango de relación	6.25	6.25
Capacidad de potencia	50 kW	75 kW
Capacidad de torque	120 Nm	200 Nm

Fuente: Development in Full Toroidal Traction Drive Infinitely and Continuously Variable Transmissions Torotrak (development) Ltd 2007-01-3740. [www.torotrak.com](http://www.torotrak.com).

Consulta: noviembre de 2013.

Basándose en la tabla IV y observando la capacidad de carga de cada uno de los tipos de T-CVT, se puede comparar gráficamente la capacidad de torque *versus* el peso de ellas, contra las transmisiones utilizadas comúnmente en el mercado.

Figura 49. **Gráfica capacidad de torque (Nm) vs. peso (kg)**



Fuente: Development in Full Toroidal Traction Drive Infinitely and Continuously Variable Transmissions Torotrak (development) Ltd 2007-01-3740. [www.torotrak.com](http://www.torotrak.com).

Consulta: noviembre 2013.

En la gráfica de la figura 49 es posible apreciar que las T-CVT logran trabajar en el rango de una transmisión automática, manual y CVT, pero con menor peso lo cual representa un menor consumo de combustible.

#### **5.5.2.2. Los discos toroidales y rodillos de transmisión**

El trabajo de transferir la potencia entre el motor y las ruedas está a cargo de los discos toroidales y sus rodillos, que dependiendo de la capacidad de potencia y torque máximo varían entre dos o tres rodillos por cavidad según el fabricante. Estos elementos son fabricados en acero con calidad quirúrgica para así obtener un máximo de durabilidad, confiabilidad y desempeño, ya que los mismo se encuentran sometidos a fuerzas tangenciales y de contacto con valores de 1 a 4 GPa, que son necesarios para obtener la lubricación elastohidrodinámica (EHL) y bajo dichas condiciones se da la transmisión del torque deseado.

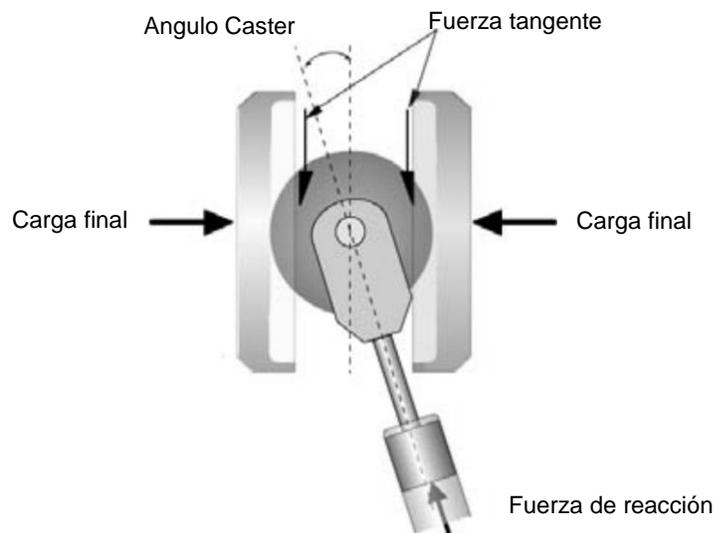
Para lograr la EHL es aplicada presión a uno de los dos discos que conforman la cavidad toroidal y esta es normal a los rodillos de transmisión, dicha presión proviene de un sistema hidráulico. La fuerza normal entre los discos y los rodillos debe de ser tal que evite el deslizamiento entre ellos y se asegure la máxima transferencia de torque, es de mencionar que la presión varía dependiendo de la condición de manejo.

Ahora bien, como se ha explicado anteriormente, el sistema trabaja por fuerzas normales entre los platos toroidales y los rodillos, pero para transferir la potencia entre un plato y otro se necesita una fuerza tangencial aplicada en los puntos de contacto entre platos y discos.

Para poder trabajar todo el sistema es necesario mantener dos elementos bajo control, el variador como un elemento y los embragues de acople, que como se indicara se tienen dos, uno para marcha hacia atrás y otro hacia adelante.

Para mantener a los rodillos en su posición es necesario aplicar una fuerza de reacción desde la base que los sujeta, asimismo estos como deben de variar su posición y puntos de contacto dentro de las cavidades toroidales, es necesario que giren sobre su eje; dicha rotación le permite a estos tener puntos de contacto en los extremos opuestos de los discos (menor radio y mayor radio), si se observa bien el giro es un ángulo de rotación y el cual es llamado ángulo Caster. Para entender con claridad lo explicado anteriormente, en la figura 50 se presenta cómo se desplaza el rodillo.

Figura 50. **Fuerzas aplicadas al rodillo**

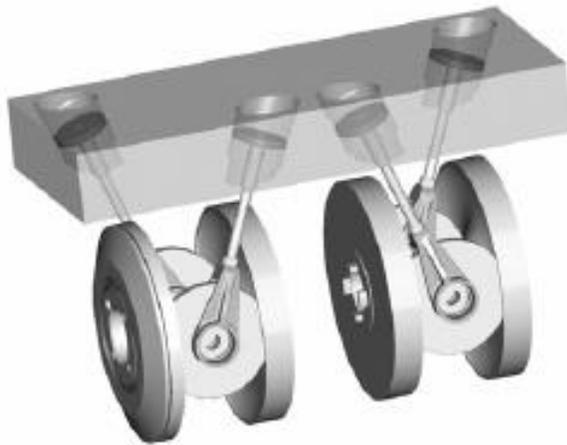


Fuente: Development in Full Toroidal Traction Drive Infinitely and Continuously Variable Transmissions Torotrak (development) Ltd. 2007-01-3740. [www.torotrak.com](http://www.torotrak.com).

Consulta: Noviembre 2013.

Ahora bien, la figura 50 muestra el funcionamiento de un solo rodillo, pero se utilizan como mínimo dos por cada cavidad y si se toma un modelo de dos cavidades, el sistema trabajaría como un bloque de la siguiente forma.

Figura 51. **Bloque de rodillos dentro de las cavidades**



Fuente: Torotrak Toroidal traction Drive Continuously Variable Transmission (T-CVT) for Kei Cars Dave Burt and Mike Hough. Torotrak (development) Ltd. [www.torotrak.com](http://www.torotrak.com).

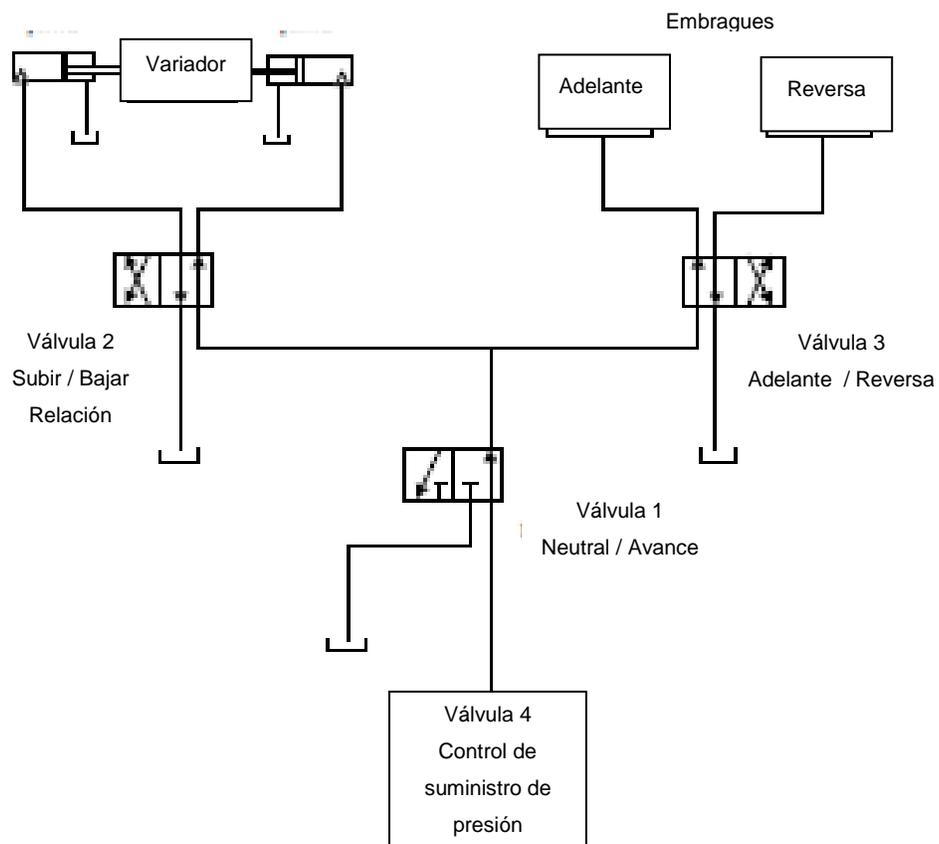
Consulta: noviembre de 2013.

El bloque que contiene los pistones de los rodillos es uno solo, como se puede apreciar en la figura 51, la presión en los mismos sería muy difícil de controlar si se hace en forma individual, por lo que se aplica la misma presión en cada uno de ellos, logrando mantener la misma posición dentro de las cavidades, y por ende relaciones iguales entre entrada y salida en todos ellos.

Los embragues de acople son dos básicamente, marcha hacia adelante y marcha hacia atrás y los mismos son de acople viscoso. A medida que el motor aplica torque en el disco de entrada el sistema reacciona para obtener un

balance con los discos de salida y la presión se aplica como carga final, fuerza de reacción y la presión en cada embrague, lo que permite que el vehículo pueda estar en alto total y el motor en marcha sin tener un convertidor de potencia como medio de acople. El sistema de control es relativamente muy sencillo si se observa la figura 52.

Figura 52. Sistema hidráulico de control



Fuente: Torotrak Toroidal traction Drive Continuously Variable Transmission (T-CVT) for Kei Cars Dave Burt and Mike Hough. Torotrak (development) Ltd. [www.torotrak.com](http://www.torotrak.com).  
 Consulta: noviembre de 2013.

En la imagen 52 es fácil apreciar la simplicidad del sistema, 4 válvulas y una fuente de presión es lo único que se necesita para controlar las T-CVT. La válvula 1 controla si el vehículo está en marcha o en alto total, la válvula 2 controla la presión aplicada a los rodillos, la cual se entiende como fuerza de reacción, la válvula 3 controla la presión en los embragues; claro está que no es posible enganchar los dos al mismo tiempo, por eso esta válvula selecciona cuál de los dos estará trabajando, y por último la válvula 4 controla la presión que se suministra a la red. Ya que el sistema no puede recibir toda la presión de un solo, esta es controlada por la válvula 4 que a su vez depende de la carga de torque que sea aplicada en los platos de entrada y de salida. El sistema en si balancea la presión automáticamente.

### **5.5.2.3. El mantenimiento**

Aunque estas transmisiones operan totalmente diferente a las mencionadas anteriormente, siempre es necesario efectuarle un mantenimiento preventivo para mantenerlas en óptimas condiciones de operación. Es el fabricante quien define siempre las partes a ser inspeccionadas, reemplazadas o ajustadas. Con relación al lubricante, el cual es encargado de la adecuada operación, es importante seguir al pie de la letra la instrucción del fabricante, algunos dirán que son de larga vida y sus períodos de servicio son más prolongados que otros.

Es de mencionar que el lubricante debe de cumplir los objetivos de proteger contra la corrosión y lubricar todas las partes en movimiento, pero principalmente tener la capacidad de soportar grandes cargas de presión sin disiparse, proveer un alto índice de fricción y transferir la potencia deseada entre las superficies en contacto manteniendo la viscosidad adecuada para evitar el contacto directo de las superficies. Todo lo debe de hacer no

importando la temperatura ambiente, temperatura interna, velocidad o demanda de potencia. Para lograrlo se utilizan mezclas adecuadas de lubricantes sintéticos y aditivos que mejoran la estabilidad de viscosidad pero sin sacrificar la lubricación, es un balance de propiedades y características que mediante investigación y desarrollo se ha logrado.

Existen en el mercado varios fabricantes de lubricantes para T-CVT, pero es imperativo utilizar uno que cumpla con las especificaciones que indica el fabricante. Se debe tener mucho cuidado en las especificaciones de los mismos ya que se tienen dos NS-2 y KTF-1, cada uno con características propias.

#### **5.5.2.4. Sistema de control**

Como se indicara con anterioridad, el sistema trabaja a presión y utiliza válvulas para controlar la misma, por lo que su lógica es simple; balancear las fuerzas de reacción en cada rodillo y aplicar presión en cada embrague, todo dependiendo del balance de torque entre la entrada y la salida de la T-CVT.

#### **5.5.2.5. Ventajas de operación**

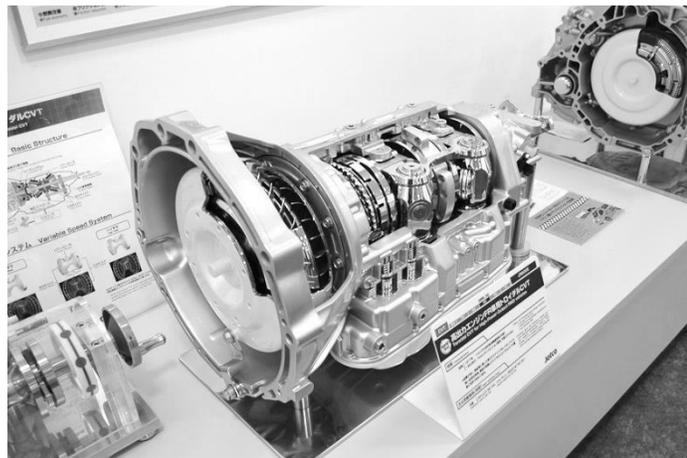
Por sus características de operación que se han descrito anteriormente, es posible indicar las ventajas de operación de estas transmisiones.

- Menor tamaño, menos piezas móviles y por ende menor peso de la transmisión.
- Inicio de marcha más suave y con mejor control de la velocidad.
- Incremento en la economía de combustible de hasta un 20 %.
- Repuesta más rápida ante las diferentes condiciones de manejo.
- Sistema de control simple y con pocos elementos.

### 5.5.3. IVT

Esta transmisión al igual que la T-CVT tienen poco tiempo en el mercado automotriz, que aunque Jatco presentó en 1999 su transmisión EXTroid JR006E (figura 53) montada en un Nissan Cedric, la cual fue una gran novedad por la implementación de rodillos dentro de cavidades toroidales.

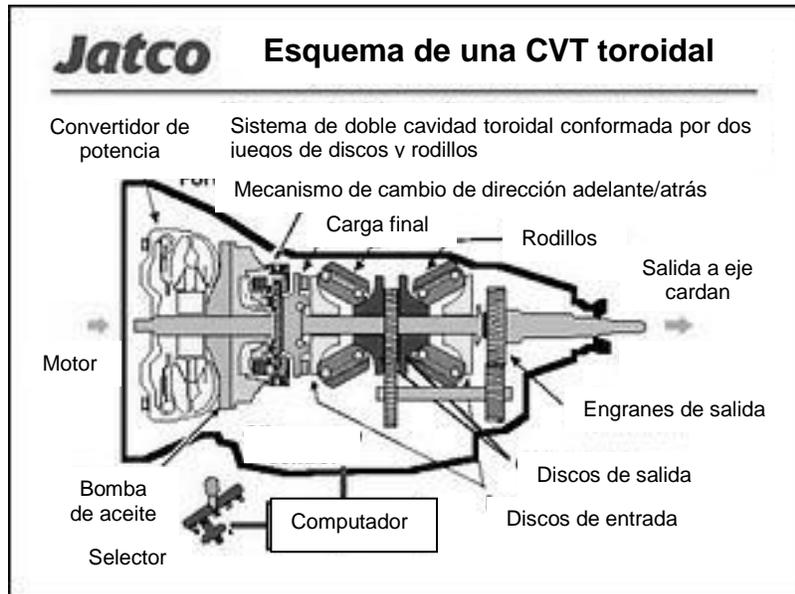
Figura 53. **EXTroid JR006E**



Fuente: <http://car.watch.impress.co.jp/img/car/docs/568/488/html/cvt07.jpg.html>.

Consulta: Noviembre de 2013.

Figura 54. Esquema de EXTroid JR006E

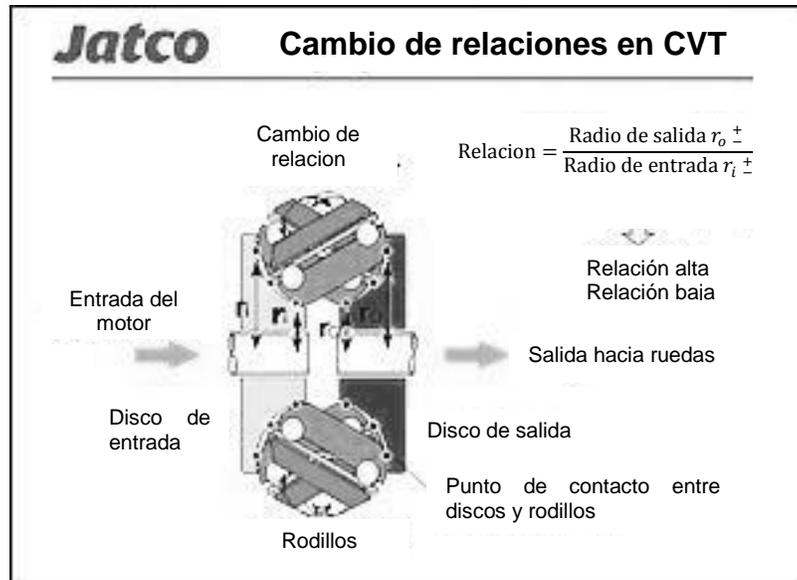


Fuente: <http://www.autospeed.com/cms/article.html?&title=Performance-Variable-Transmissions&A=111487>. Consulta: noviembre de 2013.

La figura 54 presenta el esquema de partes y componentes que conforma la EXTroid fabricada por Jatco, incorpora doble cavidad toroidal y rodillos como en las T-CVT expuestas anteriormente, además posee un mecanismo de inversión de giro montado al frente de todo el sistema, el cual da la opción de cambiar de dirección de avance, es decir hacia adelante o hacia atrás.

La implementación de cavidades toroidales proporcionó en su momento la ventaja de obtener cambios de relaciones más amplias, suaves y rápidas sin la sensación de tirones al subir y bajar las revoluciones del motor, así como en una CVT de polea variable y las T-CVT (figura 55).

Figura 55. Cavidad toroidal en EXTroid JR006E

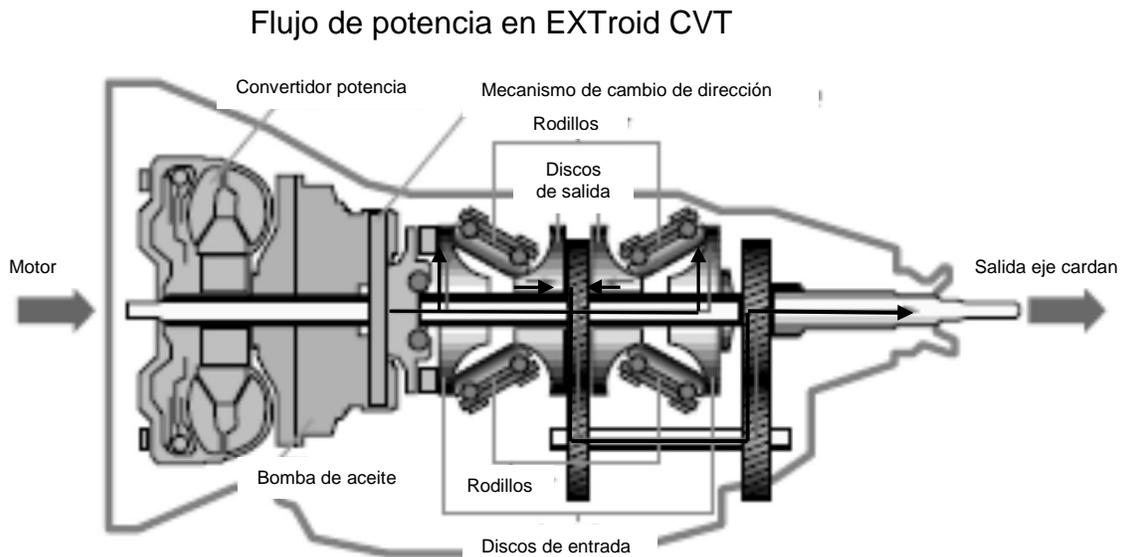


Fuente: <http://www.autospeed.com/cms/article.html?&title=Performance-Variable-Transmissions&A=111487>. Consulta: Noviembre de 2013.

Este diseño para vehículo con tracción trasera incorporaba un convertidor de potencia que funciona como medio de acople entre el motor y ella, aunque es una transmisión con eficiencia mayor a la que presentan la transmisión automática, el medio de acople presenta la ineficiencia por pérdida de potencia al cambiar la dirección del flujo del fluido dentro del mismo, lo cual se expuso anteriormente al describir el funcionamiento de un convertidor de potencia.

El flujo de potencia desde que el motor la entrega y pasa dentro de la EXTroid hasta salir de ésta y conectar con el eje cardan, puede apreciarse en la figura 56.

Figura 56. **Flujo de potencia en EXTroid JR0006E**



Fuente: EXTROID CVT for application to rear-wheel-drive cars powered by large engines.  
NISSAN MOTOR CO.,LTD E1TECH-3500-9910. Consulta: Noviembre de 2013.

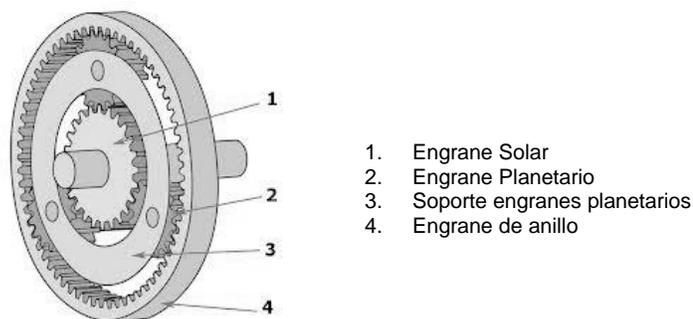
Siguiendo las flechas en la figura 56, la potencia proveniente del motor ingresa a la EXTroid mediante el convertidor de potencia, luego al mecanismo para cambio de dirección, los discos de entrada, rodillos, discos de salida y por último al eje cardan por medio de una conexión de engranes laterales.

Esta transmisión aunque es de tipo T-CVT tiene algunas similitudes con una IVT y servirán como punto de comparación al explicar el funcionamiento de las IVT que desarrolla el fabricante Torotrak en Inglaterra. El diseño tiene como similitud la utilización de cavidades toroidales y una conexión de engranes laterales, como diferencia se tiene la ausencia del convertidor de potencia así como el mecanismo de inversión de giro.

### 5.5.3.1. Características de operación

Como se indicara anteriormente, esta IVT tiene similitudes y diferencias con la T-CVT de Torotrak y la EXTroid de Jatco, para iniciar, la potencia que proviene del motor ingresa directamente a la IVT por un acople que conecta con el volante, al final del variador se encuentra instalado un sistema de engranes epicíclicos, es de recordar que el sistema epicíclico está conformado por tres elementos básicos, un engrane solar, un juego de engranes planetarios acoplados a un soporte único, y el engrane de anillo. El engrane solar conecta directamente con los engranes planetarios y estos con el engrane de anillo.

Figura 57. Sistema epicíclico de engranes



Fuente: <http://www.cambiosytransfers.es>. Consulta: noviembre de 2013.

Es necesario entender la configuración del sistema epicíclico para entender así el flujo de potencia dentro de la IVT. En la figura 57 se observa la posición y conectividad entre las partes del mismo.

La potencia que ingresa se aplica directamente al eje central de la IVT, los discos de entrada del variador montados directamente sobre el eje transfieren la potencia hacia los rodillos por medio del lubricante especial y la presión de carga final que forma la lubricación elastohidrodinámica, de la misma manera se

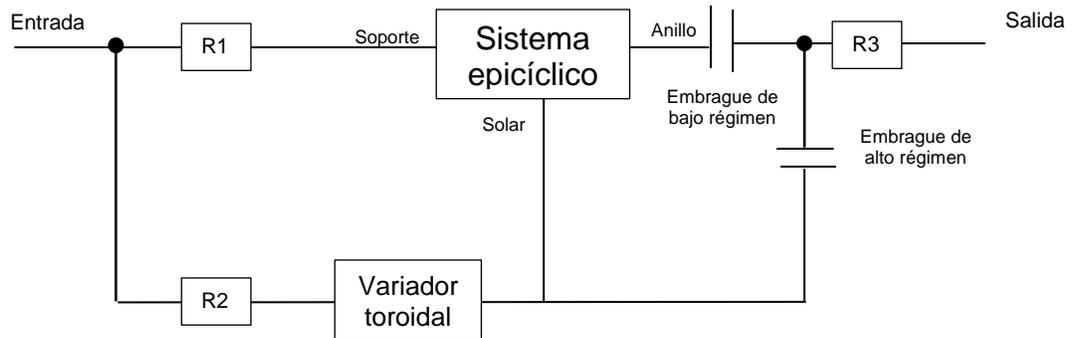
transfiere la potencia a los discos de salida del variador toroidal, en adicional la potencia de entrada se conecta con el soporte de los engranes planetarios por medio de un juego de eje y engranes.

La salida del variador de potencia está conectada con el engrane solar del sistema epicíclico por medio de un eje y engrane, así como con el eje de salida de la transmisión mediante un embrague de acople húmedo (embrague de régimen alto). Por último el eje de salida de la transmisión está conectado directamente con el engrane de anillo del sistema epicíclico mediante un segundo embrague húmedo (embrague de régimen bajo).

Parece un poco difícil entender la conectividad y flujo de potencia dentro de la IVT, pero en realidad se busca utilizar la ventaja que el sistema epicíclico provee y es la diferencia en la velocidad de rotación de cada elemento, respecto al eje central y la velocidad de rotación de los engranes planetarios respecto a su eje propio. Esta diferencia de velocidades entre elementos es lo que permite que la IVT logre operar en acople directo con el motor sin la necesidad de un elemento como el convertidor de potencia, la IVT trabaja en lo que se denomina “neutral enganchada” lo cual se entenderá por cero velocidad angular en el eje de salida de la misma, esto a pesar de estar el motor en marcha.

Neutral enganchada es una de las características únicas en las IVT, la otra es que esta trabaja controlada por torque. Ahora bien, la neutral enganchada se logra alcanzar con una división o separación de potencia que se puede interpretar como recirculación dentro del sistema, ya que el sistema epicíclico puede producir cero velocidades angulares en uno de los elementos, variando las velocidad de los otros dos.

Figura 58. Configuración de IVT



Fuente: Delivery of IVT for a 5 Liter SUV: Addressing the Concerns of Geared Neutral, Chris Brockbank and Dr Hubert Heumann, Torotrak (Development) Ltd. [www.torotrak.com](http://www.torotrak.com). Consulta: noviembre de 2013.

En la figura 58 se puede observar la conexión del variador y el motor con el sistema epicíclico. Los dos embragues que se mencionaron anteriormente operan individualmente. Al poner en marcha el motor la transmisión debe colocarse en función de neutral enganchada, se activa el embrague de bajo régimen y los rodillos se colocan en la posición para proporcionar en el engrane solar una velocidad angular tal que al sumarse con la velocidad angular del soporte de planetarios, produce cero velocidad angular en el engrane de anillo, esto es lo que se denomina neutral enganchada. Las ecuaciones siguientes permiten entender matemáticamente este funcionamiento.

$$\omega_3 = \omega_2(1 - R_{13}) + \omega_1 R_{13}$$

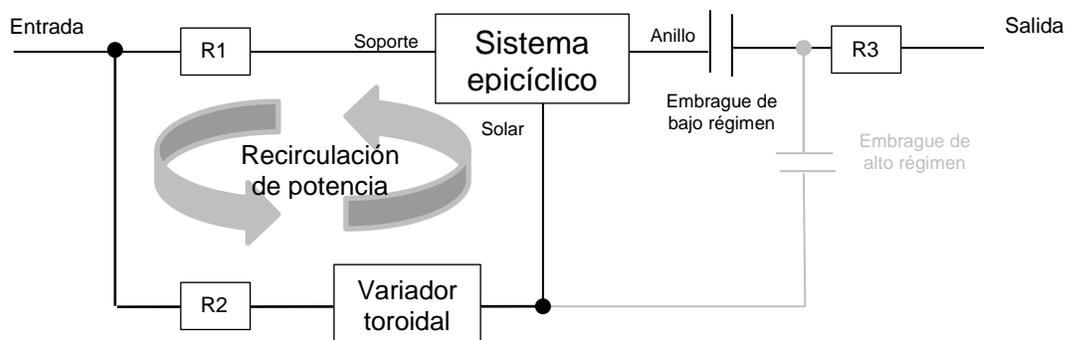
cuando  $\omega_3 = 0$

$$\omega_2 = \frac{-\omega_1 R_{13}}{(1 - R_{13})}$$

Retomando que el sistema es controlado por torque no solo por la relación de entrada y salida en el variador toroidal, este establece que con base en el torque proveniente de las ruedas de tracción e ingresa por la salida de la transmisión, el sistema que controla la posición de los rodillos aplica presión en sus vástagos y cambia la relación para obtener un equilibrio entre ambos torques que ingresan a la IVT, el proveniente del motor y el de las ruedas de tracción.

Como se indicó anteriormente, la IVT posee dos embragues, uno de bajo régimen el cual se conecta al momento de encender el motor y colocar la palanca selectora en posición de marcha hacia atrás o marcha hacia adelante. El trabajo en bajo régimen proporciona mayor torque que eroga la IVT ya que se genera una división de la potencia y podría entenderse por recirculación de la misma.

Figura 59. **Recirculación de potencia en bajo régimen**

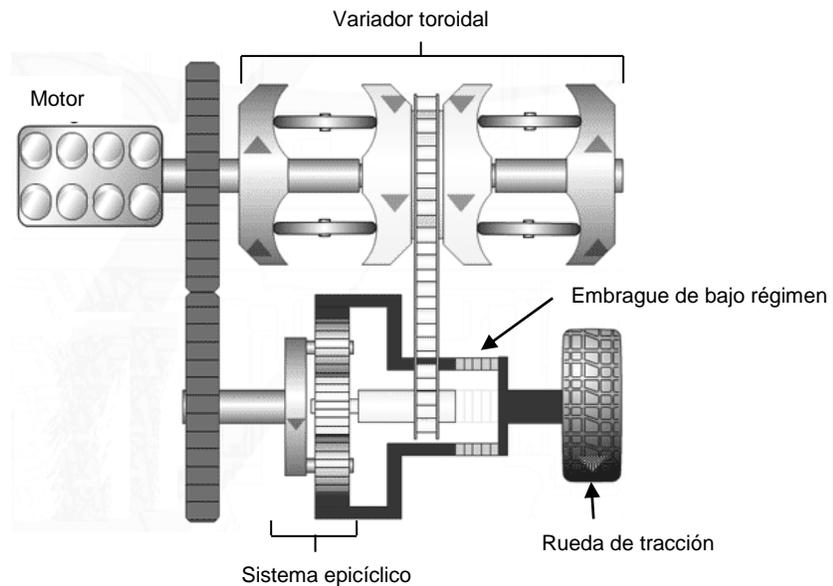


Fuente: Delivery of IVT for a 5 Litre SUV: Addressing the Concerns of Geared Neutral, Chris Brockbank and Dr Hubert Heumann, Torotrak (Development) Ltd. [www.torotrak.com](http://www.torotrak.com). Consulta: noviembre de 2013.

En la figura 59 se puede tomar la idea de recirculación de potencia dentro de la IVT, esto se da ya que el motor puede estar trabajando a revoluciones

elevadas para proporcionar potencia y no velocidad al vehículo, la salida es menor en relación a sus velocidades angulares, entonces utilizando el sistema epicíclico se obtiene esta división y recirculación de la potencia. Con esta división de potencia y el control por torque se logra obtener neutral enganchada.

Figura 60. **Esquema en bajo régimen**

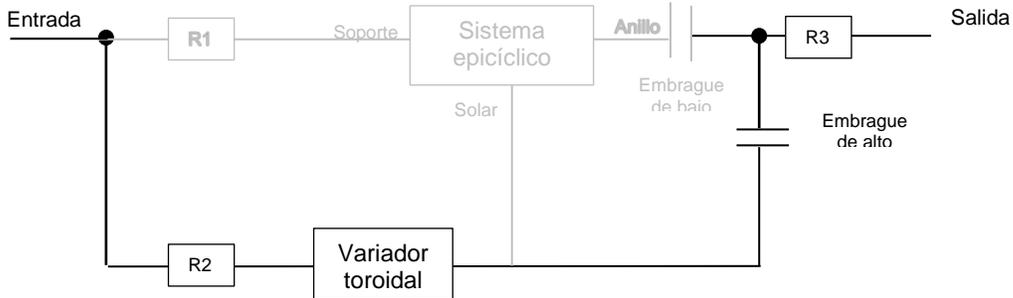


Fuente: [www.trorotrak.com](http://www.trorotrak.com). Consulta: junio de 2013.

La figura 60 proporciona una idea más clara del funcionamiento en bajo régimen. En embrague activo conecta al eje de salida con el engrane de anillo del sistema epicíclico.

El segundo embrague llamado de alto régimen, se conecta cuando las velocidades del engrane solar y el anillo de soporte del sistema epicíclico son iguales, esto se llama relación sincrónica, al alcanzar esta relación el embrague de bajo régimen se desconecta y se conecta el de alto régimen dejando que la potencia fluya directamente del variador hacia el eje de salida de la IVT.

Figura 61. **Flujo de potencia en alto régimen**

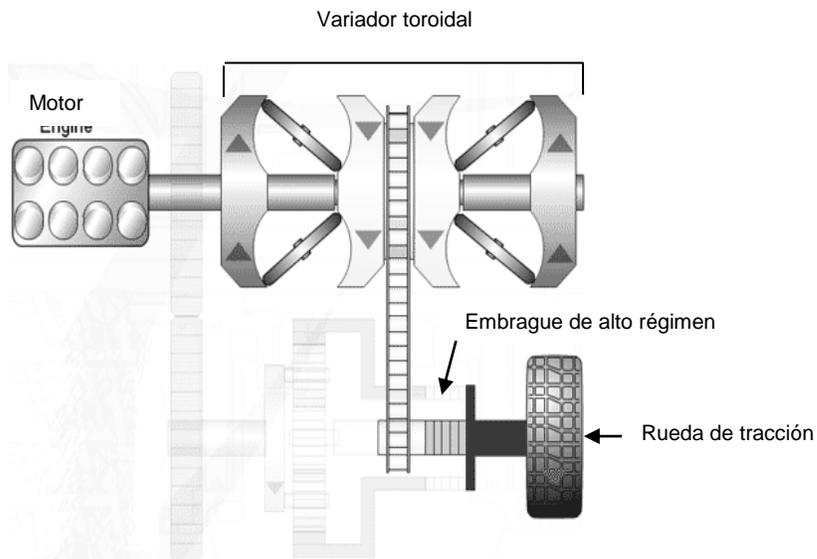


Fuente: Delivery of IVT for a 5 Litre SUV: Addressing the Concerns of Geared Neutral, Chris Brockbank and Dr Hubert Heumann, Torotrak (Development) Ltd. [www.torotrak.com](http://www.torotrak.com).

Consulta: noviembre de 2013.

Con el sistema trabajando como se indica en la figura 61, se aprecia que la salida del variador es el que ahora controla la salida final de la IVT, esto proporciona un rango más amplio de relaciones y una sobre marcha en la que se logran velocidades de crucero a bajas revoluciones del motor.

Figura 62. **Esquema en alto régimen**

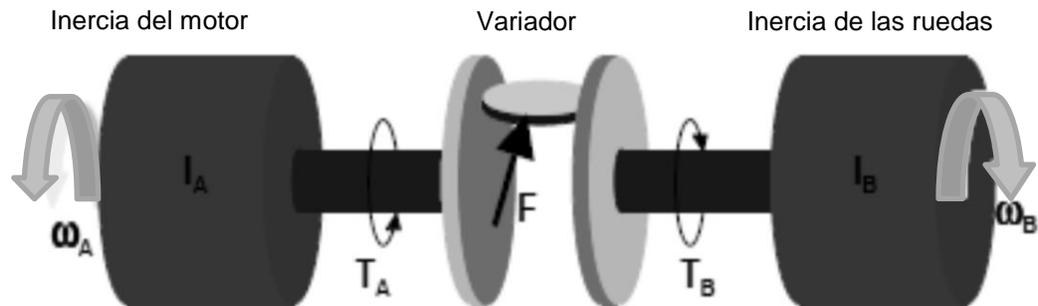


Fuente: [www.torotrak.com](http://www.torotrak.com). Consulta: Junio 2013.

La figura 62 proporciona la idea del flujo de potencia en alto régimen, se puede observar que ahora el embrague de alto régimen está conectado entre la salida del variador y el eje de salida de la IVT.

Como se indicara anteriormente, la IVT es controlada por torque, lo que hace necesario una breve explicación desde el punto de vista físico.

Figura 63. **Velocidades angulares, inercia y torque en un IVT**

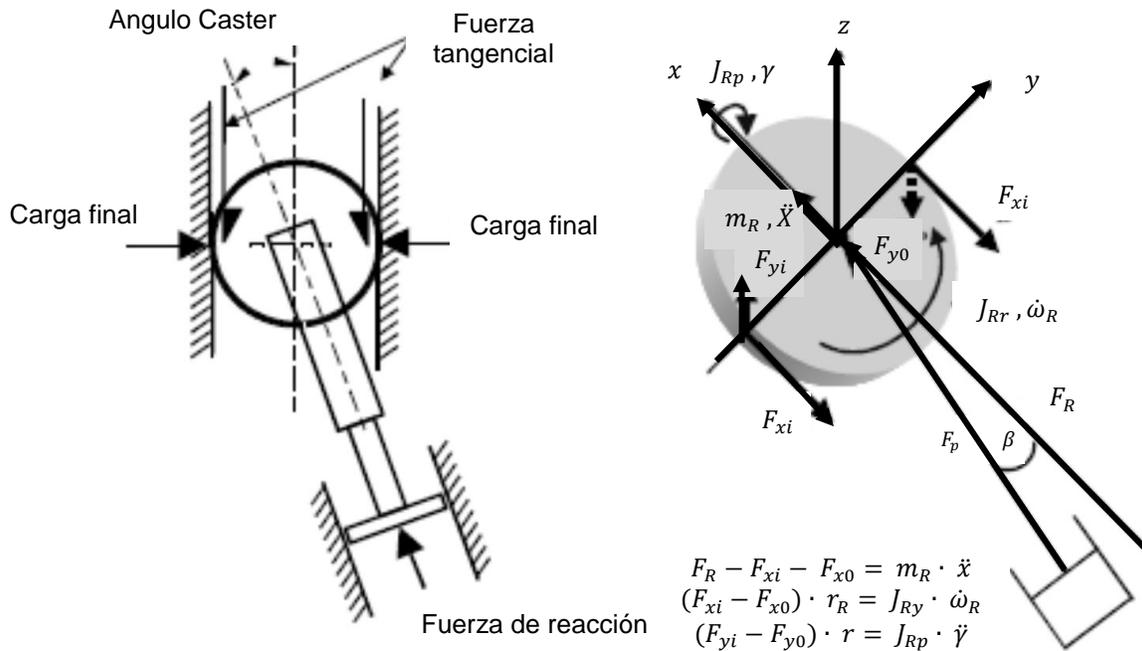


Fuente: Delivery of IVT for a 5 Liter SUV: Addressing the Concerns of Geared Neutral, Chris Brockbank and Dr Hubert Heumann, Torotrak (Development) Ltd. [www.torotrak.com](http://www.torotrak.com). Consulta: noviembre de 2013.

En la figura 63 se describe la acción de la velocidad angular en la entrada y salida de IVT. Es de recordar que una velocidad angular produce una inercia rotacional y esta reacciona en un torque sobre el eje central. La fuerza  $F$  que se indica sobre el rodillo es proporcionada por el sistema hidráulico sobre el eje de soporte del mismo. Por considerar que el sistema se controla por los torque de entrada en los dos extremos de ella, cada uno en dirección opuesta al otro.

Para que el sistema trabaje es de entender que debe de mantenerse un equilibrio en el variador y los rodillos son los que hacen esta función.

Figura 64. **Torques y fuerzas sobre el rodillo en una IVT**



Fuente: Delivery of IVT for a 5 Litre SUV: Addressing the Concerns of Geared Neutral, Chris Brockbank and Dr Hubert Heumann, Torotrak (Development) Ltd. [www.torotrak.com](http://www.torotrak.com).  
 Consulta: noviembre 2013.

Como se puede apreciar en la figura 64, la carga final que es aplicada entre los discos, las fuerzas tangenciales y la fuerza de acción se puede analizar como torque que soporta y transfiere el rodillo. Las ecuaciones de equilibrio que se presentan, son en los ejes (x,y) ya que se considera desplazamiento nulo sobre el eje (z).

Entendiendo que el rodillo es el que transfiere el torque entre los discos del variador, las ecuaciones anteriores son realmente sencillas de analizar.

### **5.5.3.2. Los discos toroidales y rodillos de transmisión**

Hasta este punto se ha explicado la teoría de operación y el funcionamiento de una IVT y se puede observar que con las T-CVT, las cuales se explicaron anteriormente, tienen como similitud la utilización de un variador toroidal, por lo que se entiende que los discos, rodillos y el lubricante son iguales, por lo que no se hace necesario el explicar cada uno de ellos nuevamente.

### **5.5.3.3. El mantenimiento**

Al igual que en una T-CVT el lubricante en la IVT es el mismo y se podría decir que es la sangre del variador toroidal y sin él no funcionaría correctamente. Se hace necesario seguir al pie de la letra lo que el fabricante indica en lo correspondiente al tipo de lubricante y las normas que debe de cumplir, así como los períodos de cambio del mismo e inspección o reemplazo de partes.

Es de mencionar que el lubricante debe cumplir los objetivos de proteger contra la corrosión, óxido y lubricar todas las partes en movimiento, pero principalmente debe tener la capacidad de soportar grandes cargas de presión sin disiparse, proveer un alto índice de fricción y transferir la potencia deseada entre las superficies en contacto manteniendo la viscosidad adecuada y así evitar el contacto entre las superficies; esto debe cumplirlo sin importar la temperatura ambiente, temperatura interna, velocidad o demanda de potencia.

Para lograrlo se utilizan mezclas adecuadas de lubricantes sintéticos y aditivos que mejoran la estabilidad de viscosidad pero sin sacrificar la

lubricación; es un balance de propiedades y características que mediante investigación y desarrollo se ha logrado. Existen en el mercado varios fabricantes de lubricantes, pero es imperativo utilizar uno que cumpla con las especificaciones que indica el fabricante. Se debe tener mucho cuidado en las especificaciones de los mismos ya que se tienen dos NS-2 y KTF-1, cada uno con características propias.

#### **5.5.3.4. El control electrónico**

Como se indicara anteriormente, la IVT es controlada por el torque que proviene del motor y de las ruedas de tracción, el control electrónico es para la activación de las válvulas que controlan la presión hidráulica. Estas válvulas básicamente hacen posible el acople de los embragues así como controlan la presión requerida en cada pistón de los rodillos, en cada relación y condición de torque requerida, recuerde que se trabaja con un balance del mismo dentro del variador.

#### **5.5.3.5. Ventajas de operación**

Como la T-CVT e IVT comparten el mismo elemento central, un variador toroidal; ambas tendrán mucha similitud en las ventajas de operación, algunas de las cuales son:

- Menor tamaño, menos piezas móviles y por ende menor peso de la transmisión.
- Inicio de marcha más suave y con mejor control de la velocidad.
- Incremento en la economía de combustible de hasta un 20 %.
- Repuesta más rápida ante las diferentes condiciones de manejo.
- Sistema de control simple y con pocos elementos.

- Relaciones infinitas (teóricamente) con un alcance de 119 km/h a 1 000 RPM
- Control de velocidad de ascenso y descenso en pendientes.
- Reducción en la emisión de contaminantes.

Y como ventaja adicional, es posible acoplarle un sistema de control de proximidad o desplazamiento, con el cual es posible indicarle la distancia que se desea desplazar o proximidad máxima frente a un objeto. Esto es muy útil al considerar espacios reducidos de aparcamiento o conectando remolques.



## **6. CAMPOS DE APLICACIÓN DE UNA CVT Y SUS VARIANTES**

Aunque las transmisiones CVT y sus variantes son relativamente poco conocidas por los consumidores, existen varias industrias que las utilizan en sus productos que se ofrecen en el mercado actualmente y logran aprovechar las ventajas de operación que cada una ofrece y que se explicaron anteriormente.

### **6.1. Industria automotriz y sus ventajas**

Dentro de la industria automotriz se puede observar frecuentemente la aplicación de estas transmisiones y los consumidores no se percatan o no se les explica qué tipo de transmisión está instalada en sus vehículos. Tal es el caso de Nissan motor, que desde el inicio del su modelo Murano en el 2003 se presentó con una CVT acoplada a un motor V6; fue uno de los primeros modelos que ingresó al país con esta transmisión, en adicional es de recordar que a finales de la década de 1980, Subaru Motor Company presento la primera CVT en su modelo Justy, el cual no fue bien aceptado por los consumidores de la época por no entender su funcionamiento.

Aunque varios fabricantes de autos ya incorporan las CVT en sus modelos, los nombres pueden variar de marca en marca, como XTronic y EXTroid de Nissan. El mayor fabricante de AT y CVT sigue siendo la fábrica nipona Jatco, que le sule a la mayoría de marcas, en virtud de su especialización en transmisiones, la fábrica británica Torotrak produce en especial T-CVT e IVT, las cuales suplen el mercado europeo y se aplica en una amplia gama de vehículos tanto particulares como de pasajeros. Otros

fabricantes de autos como Jeep, Mini, Toyota y Subaru entre algunos, utilizan sistemas de diseño propio o desarrollado en conjunto con otros fabricantes.

Dentro de sus ventajas sensibles se menciona como principal la economía de combustible y como una respuesta más rápida a las demandas del conductor.

La aplicación de estas transmisiones no se limita únicamente a automóviles; motocicletas, ATV y vehículos para nieve las utilizan desde hace un tiempo. El fabricante canadiense Polaris, las emplea en sus ATV de tierra, nieve o agua, y Yamaha al igual que Honda las utilizan en sus motonetas o *Scooter*. En este tipo de motos y vehículos recreativos los sistemas más utilizados son de polea variable. Proporcionan como ventaja principal la facilidad de manejo ya que no se necesita un sistema de embrague activado por cable y la economía de combustible, pero como desventaja es la lenta reacción a las demandas de potencia en los *scooter* o motonetas.

## **6.2. Maquinaria agrícola y sus ventajas**

Quienes incursionan en este campo son los fabricantes Torotrak (UK) y CVT Corp (Canadá), ya que ellos en conjunto con fabricantes europeos y norteamericanos diseñan sistemas para cumplir ciertas necesidades específicas dependiendo de la maquinaria. En equipos de excavación se mantiene un mejor control en el movimiento horizontal del equipo, referido a movimientos más precisos de los cargadores frontales con relación a la proximidad mínima al punto de descarga o vehículo de carga. Asimismo, se mantiene mejor control en la velocidad de siembra y cosecha mecanizada en cultivos que lo permiten.

Si se considera el control de velocidad, posición, estabilidad en pendientes y eficiencia de combustible, es sencillo apreciar que la T-CVT e IVT tienen muchas ventajas sobre las transmisiones que actualmente se utilizan en esta industria.

### **6.3. Grupos electrógenos y sus aplicaciones**

Quien ha trabajado en este campo es la empresa canadiense CVT Corp con un sistema denominado Varigen. Este sistema en realidad es un variador toroidal acoplado a los generadores eléctricos, son el acople entre el motor y el generador sincrónico. Estos variadores proporcionan la ventaja de una mejor estabilización en las revoluciones del generador para producir el voltaje y la frecuencia (60 Hz), proporcionando una rápida respuesta a las demandas de potencia en la red eléctrica a la cual esté conectado. Los generadores deben estar estables en 1 800 RPM para producir la frecuencia correcta, pero al aplicar mayor carga al generador las revoluciones decrecen y el motor debe responder en un aumento de la energía requerida para estabilizarla. Al utilizar un variador este responde más rápidamente y proporciona las ventajas de tener al motor trabajando a menores RPM, consumiendo menor cantidad de combustible, reduciendo la emisión de gases contaminantes y el ruido.



## **7. CARACTERÍSTICAS SENSIBLES POR EL USUARIO EN LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN**

Ya que se ha explicado el funcionamiento, características y ciertas ventajas entre cada una de las diferentes transmisiones, es posible entrar a enumerar lo que el usuario promedio de un automóvil puede percibir y notar.

### **7.1. Características sensibles por el conductor consumidor**

- Facilidad de conducción
  - En una transmisión mecánica es necesaria la sincronización al operar el embrague en conjunto con el acelerador para evitar que el motor se apague, debe evitarse sobrerrevolucionar o subrevolucionar el mismo, se hace sensible la fluctuación de RPM entre cada cambio. Aunque su mantenimiento es bastante sencillo ya que solo se le cambia el lubricante. El embrague que trabaja como medio de acople y opera mecánicamente, debe ser revisado periódicamente y reemplazar las piezas dañadas o gastadas.
  - Las transmisiones automáticas y secuenciales, por poseer un convertidor de potencia el cual funciona como medio acople entre el motor y la transmisión, la hacen más sencillas de operar que una transmisión mecánica ya que por carecer de embrague, la operación de este en conjunto con el acelerador no es necesaria. Toda la operación es controlada automáticamente dentro de la transmisión por el sistema electrónico y el conductor solamente

opera el acelerador y el freno. Las RPM del motor siempre fluctúan desde un valor mínimo a un valor máximo para efectuar los cambios de relación, el programa en el computador de la transmisión las controla y aunque en ciertas ocasiones es posible superar el valor máximo, existe un límite establecido para prevenir daños a esta y al motor. Su operación y el mantenimiento básico es bastante sencillo, los períodos de estos son más frecuentes y deben de cumplirse para así evitar daños en desgaste prematuro de las partes internas como los discos o el taponamiento de los ductos en el cuerpo de válvulas por sedimentos o partículas.

- En una CVT, sea esta de polea variable o toroidal, las RPM del motor son más estables y no fluctúan tanto, ya que ambas efectúan una variación continua de relaciones y no tienen relaciones fijas como las transmisiones mecánicas o automáticas evitando así los tirones al momento de demandar mayor potencia al motor. La CVT de polea variable utiliza un convertidor de potencia como medio de acople y trabaja por presión, a diferencia que una toroidal que trabaja por control de torque y se acopla directamente al motor. Al igual que en una transmisión automática, la operación es controlada por un sistema electrónico y el conductor solo opera el acelerador y el freno. El mantenimiento en ambas se debe de efectuar en tiempos establecidos para mantener el lubricante, faja y demás partes en óptimas condiciones

- Suavidad de conducción

El conductor puede ser hábil y coordinar muy bien el embrague con el acelerador al utilizar una transmisión mecánica, pero la sensación de tirones por la fluctuación de las RPM no se puede evitar al cambiar a una relación menor, a diferencia de una transmisión automática en la cual es relativamente más suave el cambio de relaciones y menor la sensación. Pero evitar las fluctuaciones de RPM es imposible. Ahora bien, en una CVT por ser variables las relaciones, la fluctuación rápida de RPM es casi nula, ya que en respuesta a la demanda del conductor, la transmisión reacciona antes y el motor incrementa las RPM más lentamente, lo cual anula los tirones.

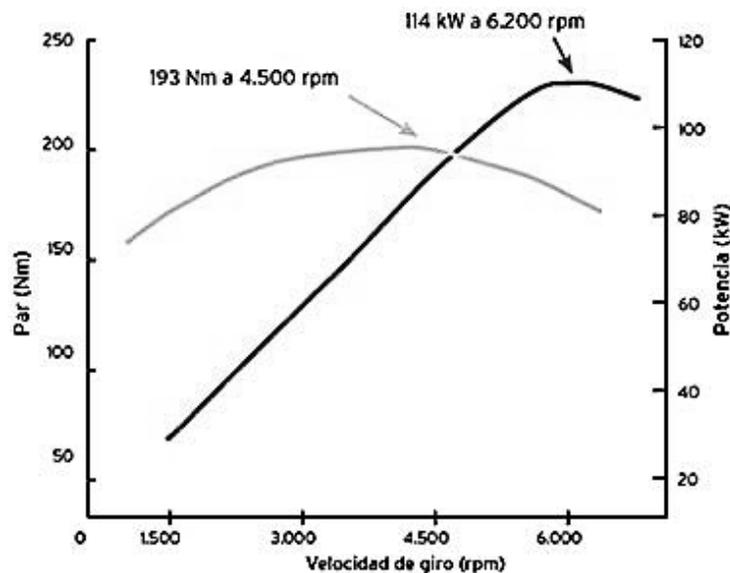
- Consumo de combustible

Aunque muchos conductores piensan que las transmisiones mecánicas proveen un mejor rendimiento en comparación con las AT, esto es falso. Las transmisiones automáticas buscan mantener al motor operando en el máximo rendimiento de combustible, pero como este va ligado a las RPM de diseño y los conductores al no tienen conocimiento del valor adecuado para cada motor, conlleva a que las transmisiones mecánicas pueden consumir más combustible que una transmisión automática. Ahora bien, la CVT (polea variable o toroidal) mantienen al motor operando en un rango de RPM más estable, por lo cual se optimiza el rendimiento y su consumo de combustible se reduce drásticamente y puede ser hasta de un 20 % según sea el caso.

## 7.2. Gráficas de potencia y consumo de combustible propio en cada sistema de transmisión

Posterior a las explicaciones que se han presentado en relación con el funcionamiento y características, se podrá entender con mejor claridad las siguientes gráficas.

Figura 65. Gráfica de curvas par/potencia de un motor

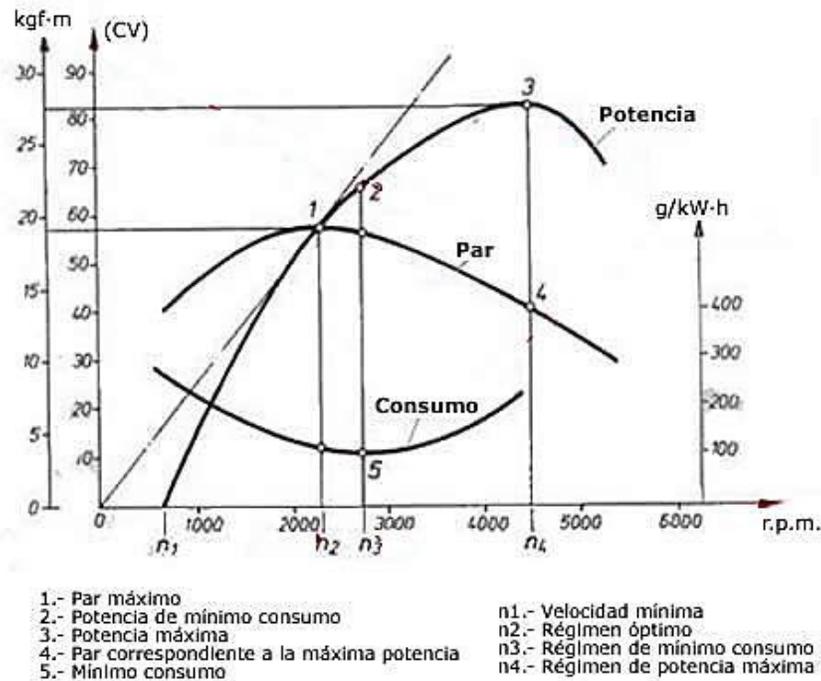


Curvas características par/potencia

Fuente: [www.aficionadosalamecanica.net/cur\\_mec\\_cilindrada.htm](http://www.aficionadosalamecanica.net/cur_mec_cilindrada.htm). Consulta: marzo 2014.

La figura 65 presenta una gráfica típica de las curvas par/potencia en los motores de combustión interna, no indica que se presenta igual para todos los fabricantes, pero da una idea razonable

Figura 66. **Gráfica de curvas par-potencia-consumo**

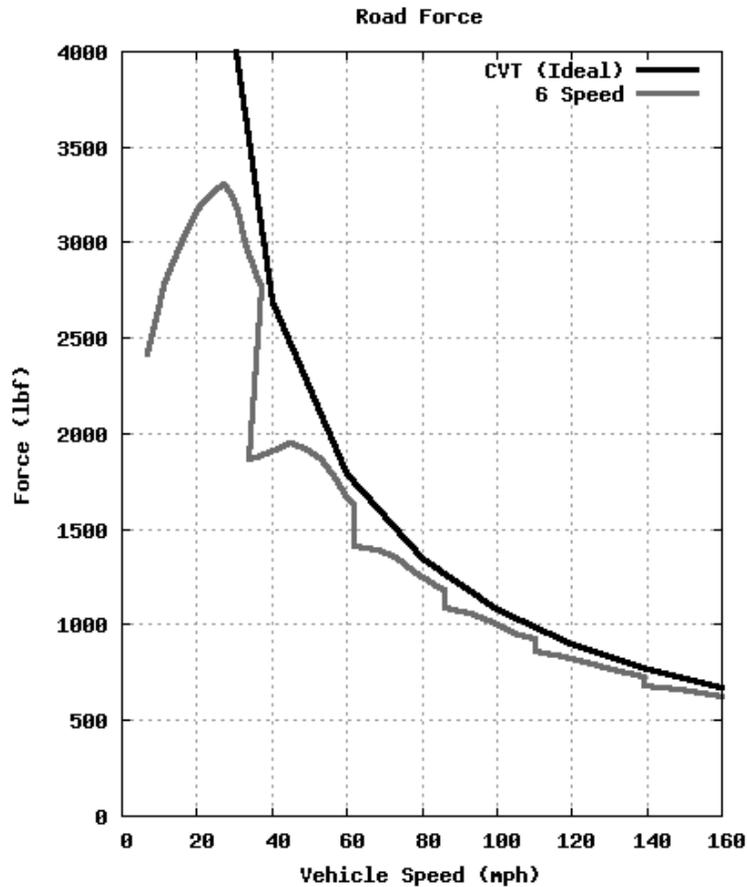


Curvas características del motor

Fuente: [www.aficionadosalamecanica.net/cur\\_mec\\_cilindrada.htm](http://www.aficionadosalamecanica.net/cur_mec_cilindrada.htm). Consulta: marzo 2014.

En la gráfica de la figura 66 se hace más sencillo comprender el consumo estimado de combustible por el motor. Se puede observar que existe un pequeño segmento entre la intersección de las curvas de par-potencia con el punto mínimo en la curva de consumo de combustible. En este segmento se considera que el motor se encuentra trabajando en un rango óptimo, lo cual por las razones expuestas anteriormente, no se logra mantener con las transmisiones mecánicas o automáticas, a pesar que en estas últimas el control electrónico buscan mantener al motor lo más próximo a este, el conductor es el causante de trabajar fuera del rango.

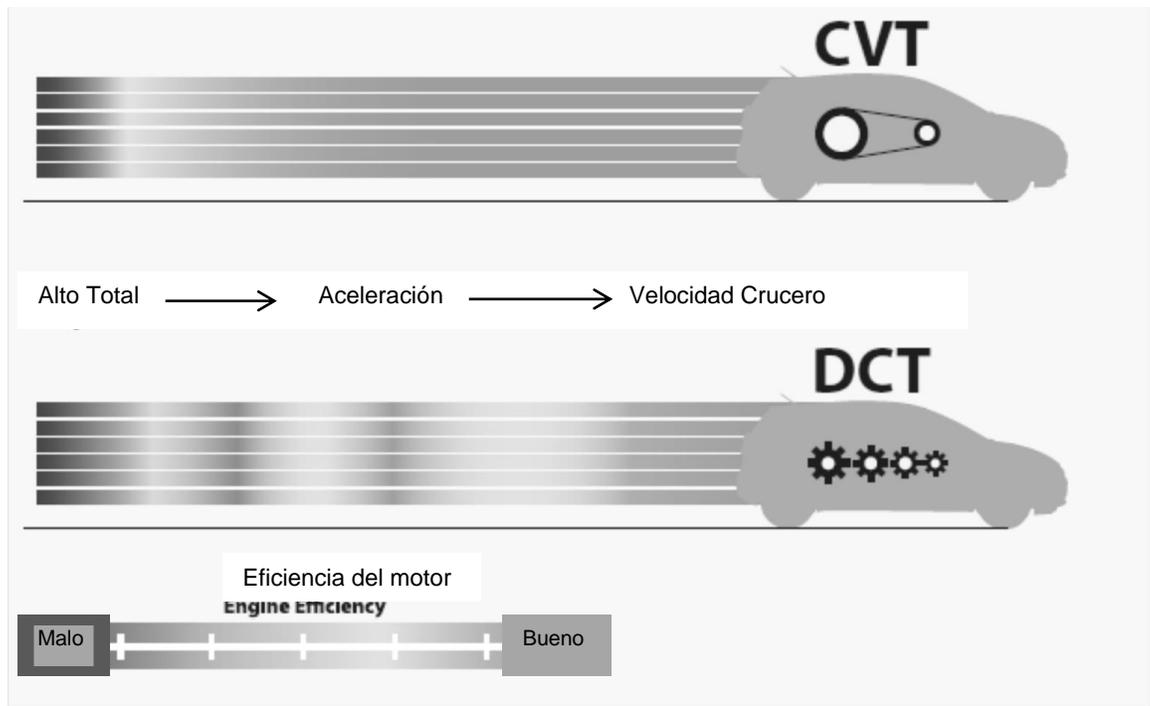
Figura 67. Gráfica de curvas de fuerza-velocidad una CVT y A/T



Fuente: <http://craig.backfire.ca/pages/autos/transmissions>. Consulta: marzo de 2014

La figura 67 presenta una gráfica de la fuerza aplicada en las ruedas de tracción en un vehículo con tracción en el eje posterior. La línea gris es de una transmisión automática con 6 relaciones y la línea negra es una CVT. Interpretando la fuerza en las ruedas como el torque que la transmisión transfiere a las mismas, es posible observar la estabilidad en una CVT contra los picos de una transmisión automática. La salida de potencia se entiende como el producto de la combustión en motor, por lo cual es fácil entender que a una salida estable se tienen RPM estables dando como resultado una operación más próxima al rango de eficiencia.

Figura 68. Consumo de combustible

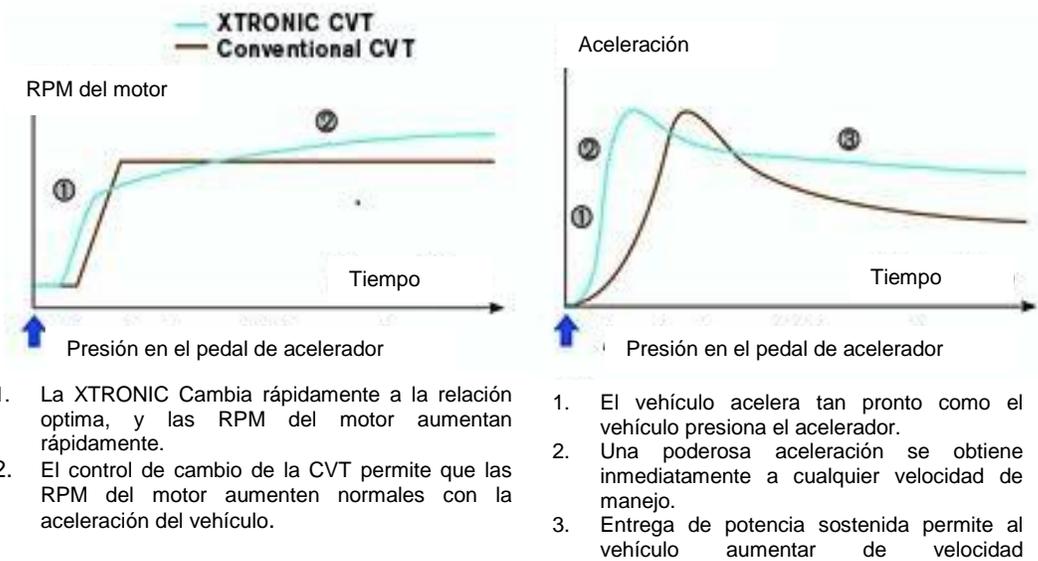


Fuente: [http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/MAGAZINE/cvt\\_2.html](http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/MAGAZINE/cvt_2.html).

Consulta: marzo de 2014

La figura 68 presenta un aproximado de la eficiencia de un motor con CVT y otro con DCT (transmisión con doble embrague), en la barra inferior de color gris, indica la eficiencia del motor cambiando de un gris oscuro el cual indica mala eficiencia a un gris claro el cual indica buena eficiencia, los segmentos casi blancos son fases de transición entre mala y buena eficiencia. Se puede observar que la CVT es más estable y mantiene al motor trabajando con mayor eficiencia, a diferencia con la DCT que pasa de buena a mala al efectuar cada cambio de relación.

Figura 69. Gráficas de RPM y aceleración en una CVT de Nissan



Fuente: <http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/cvt.html>.

Consulta: Marzo 2014.

La figura 69 presenta dos gráficas de una CVT convencional y la XTronic CVT de Jatco instalada en vehículos Nissan. Para cada una de las dos gráficas presentadas, se explica cada uno de los puntos identificados en ellas. Se logra identificar que las CVT de los dos tipos analizados, presentan las RPM más estables que con una transmisión automática, por lo que se mantienen en el margen de óptimo funcionamiento expuesto anteriormente.

### 7.3. Resumen de las ventajas y desventajas de los sistema de transmisión

Un breve resumen de las características de operación hace posible entender mejor los diferentes tipos de transmisiones analizados, los aspectos más relevantes serán indicados en la siguiente tabla.

Tabla V. **Resumen de ventajas y desventajas (a)**

	Facilidad de Operación	Comodidad en Conducción	Economía de Combustible	Numero de Relaciones	Sistema de Acople	Costo de mantenimiento
Mecánica	Regular	Regular	Promedio	Limitado	Embrague mecánico	Bajo
Automática	Buena	Buena	Promedio	Limitado	Convertidor de Potencia	Medio
Secuencial	Buena	Buena	Promedio	Limitado	Convertidor de Potencia	Medio
CVT Polea	Muy Buena	Muy buena	Alto	Alto	Convertidor de Potencia	Alto
T-CVT	Muy Buena	Muy buena	Superior	Alto	Directo	N/D
IVT	Muy Buena	Muy buena	Superior	Ilimitadas	Directo	N/D

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Resumen de ventajas y desventajas (b)**

	Periodos entre Servicios	Confiabilidad	Tiempo de respuesta	Versatilidad en Aplicaciones	Peso y dimensiones	Innovación Tecnológica
Mecánica	Medio	Promedio	Alto	poca	Medio	Nula
Automática	Medio	Promedio	Medio	Poca	Alto	Promedio
Secuencial	Medio	Promedio	Medio	poca	Alto	Promedio
CVT Polea	Alto	Alta	Bajo	Media	Bajo	Superior
T-CVT	N/D	Alta	Bajo	Alta	Bajo	Superior
IVT	N/D	Alta	Bajo	Alta	Bajo	Superior

Fuente: elaboración propia.

Las tablas V y VI dan una idea más clara de ciertas características que el usuario puede percibir y notar en los diferentes tipos de transmisión. Lo marcado como N/D significa que no está disponible la información, por lo cual no es posible emitir juicio u opinión al respecto.

En el segmento referido al número de relaciones, al indicar que es limitado da a entender que tiene un número fijo de relaciones establecidas, alto indica un amplio número de relaciones, en la CVT de polea su límite son los radios máximos y mínimos de estas, en la T-CVT son los radios de los discos en el variador. En la IVT se dice que es ilimitado por operar en dos regímenes como se indicó anteriormente.

El tiempo de respuesta alto indica que toma mucho tiempo en responder, bajo, denota un tiempo corto en respuesta a las demandas del usuario.

Versatilidad de aplicación indica la aplicación en diversos equipos o maquinaria, no se limita únicamente a automóviles.

Innovación tecnológica refiere a la aplicación de nueva tecnología en el desarrollo de la transmisión, componentes o lubricantes.



## CONCLUSIONES

1. Por su diseño y forma de operar cada tipo de transmisión ofrece ventajas y desventajas, las cuales conociéndolas son una fuerte herramienta de decisión al momento de adquirir u ofrecer un vehículo, ya que algunos consumidores buscan características técnicas específicas.
2. En el mercado local, los asesores de venta o servicios de automóviles, carecen de la información técnica de las transmisiones y por ende no pueden explicar correctamente los tipos de transmisiones disponibles en los diferentes modelos que ofrecen, lo cual no implica que los usuarios finales o consumidores le pongan poco interés a las ventajas que cada una de estas le puede ofrecer. Pocos consumidores ponen interés a estos detalles técnicos, informándose de los períodos de servicio, limitaciones de las mismas y sobre todo las ventajas de cada una.
3. Las transmisiones CVT, T-CVT e IVT están evolucionando con gran rapidez y aunque los consumidores no se percatan de esto, los fabricantes de autos las incorporan en sus modelos más recientes para ofrecer ventajas de operación, desempeño, y eficiencia. Estas ventajas al ser presentadas y explicadas al consumidor darían como resultado un mejor entendimiento y aceptación de las mismas.
4. Teniendo en cuenta la mejora de eficiencia que representan las transmisiones CVT, T-CVT e IVT, se obtiene una reducción en el costo de operación, consumo de hidrocarburos y una menor emisión de gases contaminantes. Es de recordar que una de las mayores fuentes de gases

contaminantes es el automóvil por la elevada cantidad que circulan en las ciudades.

## RECOMENDACIONES

1. Los concesionarios de automóviles deberán solicitar el apoyo de los fabricantes para obtener información completa de las diferencias, características y forma de operación de las transmisiones CVT que son comercializadas localmente, ofreciendo un adiestramiento adecuado a su personal de ventas, asesores de servicio y de ser necesario al personal de taller. Con lo anterior, el consumidor recibiría una mejor asesoría en la selección y cuidado de las mismas.
2. Los consumidores, previo a adquirir un automóvil, deben informarse adecuadamente sobre las opciones, características y ventajas de las transmisiones instaladas en el modelo de la marca a seleccionar, para así obtener un producto acorde a sus necesidades particulares de conducción y demanda de operación.
3. El cliente es el mejor juzgador de las prestaciones y características de un automóvil. Al ofrecerle una asesoría adecuada y este entender lo que se le explica, se obtendrá una mejor y más rápida aceptación de las CVT, T-CVT e IVT y para ello, tanto el asesor de ventas como el comprador, deben de manejar, como mínimo, la información básica de estas.
4. Para lograr una mejor aceptación de esta nueva tecnología, el mejor medio es la educación, por lo cual los institutos técnicos de nivel medio que ofrecen mecánica automotriz como una carrera, deberán incluir como mínimo la introducción a esta nuevas transmisiones y así mejorar el nivel de conocimiento de sus egresados.

5. La Universidad de San Carlos de Guatemala como ente rectora de la educación superior en el país, por medio de sus diferentes medios de comunicación que posee, con el apoyo de la Facultad de Ingeniería y la Escuela de Ingeniería Mecánica, deberán promover la difusión de estas nuevas tecnologías que proporcionan una mejora en el medio ambiente. Deberá proporcionar el apoyo necesario a las instituciones de nivel medio que lo soliciten para mejorar y actualizar los programas educativos que poseen.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BEAUDOIN, Samuel; McMAHON, Christian. *White paper on: variable speed genset*. Quebec, Canada, CVT Corp, sf, 11 p.
2. BRONKBANK, Chris. *Fuel consumption improvement by applying IVT technology to commercial vehicles*. Leyland, UK: Torotrak (Development) Ltd, sf, 8 p.
3. BRONKBANK, Chris; BURTT, Dave. *Full toroidal traction drive for front wheel drive application*. Leyland, UK: Torotrak (Development) Ltd, sf, 17 p.
4. BRONABANK, Chris; BURTT, David. *Infinitely and continuously variable full Torotrak drive transmission for transverse application in sub A, A&B sector vehicles*. Leyland, UK: Torotrak (Development) Ltd, 31 de mayo 2007, 10 p.
5. BROCKBANK, Chris, & HEUMANN, Hubert Dr. *Deliveries of IVT for 5 litter SUV: addressing concerns of geared neutral*. Leyland, UK: Torotrak (Development) Ltd, sf, 19 p.
6. BURTT, Dave; HOUGH, Mike. *Torotrak toroidal traction drive, continuously drive transmission (T-CVT) for key cars*. Leyland, UK: Torotrak (Development) Ltd, sf, 6 p.

7. Corporate Communications Department, Nissan Motor Co. Ltd. *EXTroid CVT for application to rear-wheel-drive cars powered by large engines*. Tokyo, Japan, sf, 12 p. E1TECH-3500-9910
  
8. MARSHALL, Brain. *How manual transmission work*. [en línea] <[www.howstuffworks.com/transmission.htm](http://www.howstuffworks.com/transmission.htm)> [Consulta: enero de 2014].
  
9. MICE, KARIM. *How automatic transmission work*. [en línea] <[www.howstuffworks.com/automatic-transmission.htm](http://www.howstuffworks.com/automatic-transmission.htm)> [Consulta: enero de 2014].