



MÁSTER EN INGENIERÍA DE AUTOMOCIÓN

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

COMPARACIÓN DE VEHÍCULO CON CAJA DE CAMBIOS DE DOBLE EMBRAGUE Y CON VARIADOR CONTINUO MEDIANTE CRUISE

Autor: D. Jesús Rodríguez Celador

Tutor: Dr. Andrés Melgar Bachiller

Valladolid, enero de 2018

Escuela Ingenierías Industriales

Depto. Ing^a Energética y Fluidomecánica

Paseo del Cauce 59

47011 Valladolid
(España)



Fundación Cidaut

Parque Tecnológico de Boecillo, 209

47151 Boecillo (Valladolid)

España





Escuela Ingenierías Industriales

Depto. Ing^a Energética y Fluidomecánica

Paseo del Cauce 59

47011 Valladolid
(España)



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Fundación Cidaut

Parque Tecnológico de Boecillo, 209

47151 Boecillo (Valladolid)

España

COMPARACIÓN DE VEHÍCULO CON CAJA DE CAMBIOS DE DOBLE EMBRAGUE Y CON VARIADOR CONTINUO MEDIANTE AVL CRUISE

RESUMEN BREVE

Este Trabajo Fin de Máster es una comparación del comportamiento de un vehículo comercial con dos tipos de cajas de cambio automáticas, una de doble embrague y la otra un variador continuo. La herramienta de simulación que se ha utilizado ha sido el software AVL CRUISE la cual permite la construcción del modelo de vehículo utilizado y la simulación de diversos cálculos para obtener unos resultados que permitan comparar los dos tipos de transmisiones.

En este TFM además de hacer la comparación anteriormente señalada también se explica cómo son y cómo funciona cada una de las dos cajas de cambios automáticas, cómo introducir datos en AVL CRUISE, cómo preparar la prueba deseada para cada una de los vehículos y cómo obtener los datos a través de la simulación lanzada.

Palabras clave: AVL-CRUISE, EDC, CVT, caja de cambios, simulación.

COMPARISON OF VEHICLE WITH DOUBLE CLUTCH GEARBOX AND WITH CONTINUOUS VARIATOR BY AVL CRUISE

SHORT ABSTRACT

This Master's Thesis is a comparison of the behavior of a commercial vehicle with two types of automatic gearboxes, one with a double clutch and the other one with a continuous variator. The simulation tool used is AVL CRUISE software which allows the construction of the vehicle model that it has been used and at the same time the simulation of several calculations to obtain results that allow to compare the two types of transmissions.

In this TFM, in addition to making the aforementioned comparison, it is also explained how both automatic gearboxes work, how to enter data in AVL CRUISE, how to prepare the desired test for each of the vehicles and how to obtain the data through the simulation launched.

Keywords: AVL-CRUISE, EDC, CVT, gearbox, simulation.

COMPARACIÓN DE VEHÍCULO CON CAJA DE CAMBIOS DE DOBLE EMBRAGUE Y CON VARIADOR CONTINUO MEDIANTE AVL CRUISE

RESUMEN EJECUTIVO

A la hora de desarrollar un nuevo modelo de vehículo son necesarias una gran cantidad de pruebas físicas sobre él, gran parte de estas pruebas suponen una elevada cantidad de tiempo y dinero. La utilización de software de simulación como puede ser AVL CRUISE supone una gran aproximación a parte de esas pruebas que es necesario realizar, lo cual, aunque no suponga la eliminación total de todos los ensayos experimentales, ya que hay muchas de ellas que son necesarias para obtener resultados más precisos, puede resultar un ahorro de tiempo y dinero en muchas otras pruebas en las que no son necesarios resultados tan exactos o para la realización de ciertas comparaciones.

El planteamiento de este Trabajo Fin de Máster es la comparación mediante AVL CRUISE del mismo vehículo comercial con dos tipos de cajas de cambios automáticas (EDC y CVT) para poder ver las diferencias de comportamiento en diferentes situaciones así como de consumo y de emisiones.

Los objetivos marcados en este TFM son conocer el funcionamiento de las dos cajas de cambios, aprender a manejar el software utilizado, saber construir en él los modelos utilizados y conocer cómo obtener y saber interpretar los resultados obtenidos mediante la simulación.

El primer paso ha sido conocer y plasmar en este trabajo por qué elementos está formada cada una de las dos cajas de cambios utilizadas y cómo funciona cada una de ellas.

Para la construcción del vehículo en AVL CRUISE se ha tenido que introducir gran cantidad de datos del vehículo cómo pueden ser: dimensiones, pesos, coeficiente aerodinámico, características del motor, de las ruedas, de los frenos y muy importante para este trabajo, las características y el funcionamiento de las cajas de cambios.

Una vez construidos los dos modelos que se quieren comparar hay que configurar las pruebas a las que se los van a someter, en este caso han sido dos, una aceleración máxima hasta alcanzar la máxima velocidad del vehículo y un ciclo preestablecido para la homologación de vehículos en cuanto a contaminantes y consumos como es el WLTC. Además de establecer las pruebas a las que se los va a someter hay que introducir las variables ambientales que afectan al vehículo y el tipo de conducción que se va a realizar.

Una vez construido todo el modelo y las pruebas y condiciones a las que se los va a someter se lanza la simulación para obtener unos resultados a través de los cuales se hace una comparación entre los dos vehículos, en este trabajo los resultados relevantes han sido el tiempo de aceleración de 0 a 100 km/h, el tiempo de aceleración hasta la velocidad máxima del vehículo y los consumos y las emisiones en el ciclo simulado.

Una vez hecha la comparación se llega a la conclusión que el vehículo con CVT tiene mejor aceleración de 0 a 100 km/h, menores consumos y menores emisiones de NOx en el ciclo WLTC mientras que el vehículo con EDC tiene mejor aceleración hasta la máxima velocidad del vehículo y menores emisiones de CO y de HC en el ciclo WLTC.

COMPARISON OF A VEHICLE WITH DOUBLE CLUTCH GEARBOX AND WITH CONTINUOUS VARIATOR BY AVL CRUISE

EXECUTIVE ABSTRACT

A large amount of physical evidences is always necessary to develop a new vehicle model, including different time and money consuming tests. The use of simulation software's such as AVL CRUISE is a great approximation to part of those tests, and even though they are not helpful when accurate results are essential, they become a useful tool when exact results are not necessary or for certain comparisons.

The approach of this Master's Thesis is the use of AVL CRUISE to compare the same commercial vehicle with two different types of automatic gearboxes (EDC and CVT), analyzing the behavior in addition to the consumption and emissions differences.

The objectives set out in this TFM are to establish the two gearboxes working mode, as the same time as learn how to use the AVL CRUISE software, how to build the studied models and how to obtain and interpret the results obtained through the simulation.

The first step of this thesis was to study what components form each gearbox and how they both work.

For the construction of the vehicle in AVL CRUISE it has been necessary to introduce a large amount of vehicle data such as: dimensions, weights, aerodynamic coefficient, characteristics of the engine, of the wheels, of the brakes and essential for this work, the characteristics and the operation of the gearboxes.

Once the two models to compare have been built, it is necessary to configure the tests to compare them, in this case there have been two, a maximum acceleration until reaching the maximum speed of the vehicle and a pre-established cycle for the homologation of vehicles in terms of contaminants and consumptions such as the WLTC. In addition to establishing the tests to which they are going to submit, it is necessary to introduce the environmental variables that affect the vehicle and the type of driving that will be carried out.

Once the whole model has been built and the tests and conditions to which they are going to be submitted, the simulation is launched to obtain results through which a comparison between the two vehicles is made, in this work the relevant results have been the acceleration time from 0 to 100 km/h, the acceleration time up to the maximum speed of the vehicle and the consumptions and emissions in the simulated cycle.

Once the comparison is made, it is concluded that the vehicle with CVT has better acceleration from 0 to 100 km/h, lower consumption and lower NOx emissions in the WLTC cycle while the vehicle with EDC has better acceleration up to maximum speed of the vehicle and lower emissions of CO and HC in the WLTC cycle.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por todo su apoyo.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes y justificación del TFM.....	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Alcance y desarrollo del TFM.....	2
2	ESTADO DE LA TÉCNICA.....	5
2.1	Cajas de cambio manuales.....	5
2.2	Cajas de cambio automáticas	6
2.2.1	Trenes epicicloidales.....	6
2.2.2	Doble embrague.....	7
2.2.3	Variador de velocidad continuo	8
3	CAJA DE CAMBIOS DE DOBLE EMBRAGUE (EDC)	9
3.1	Características mecánicas	9
3.2	Embragues multidisco.....	10
3.3	Árboles primarios	12
3.4	Árboles secundarios.....	13
3.5	Accionamiento de las marchas	14
3.6	Funcionamiento	15
4	CONTINUOUSLY VARIABLE TRANSMISSION (CVT).....	17
4.1	Características mecánicas	17
4.2	Embrague hidráulico	17
4.3	Poleas.....	18
4.4	Correa	18
4.5	Accionamiento hidráulico	19
4.6	Funcionamiento	20
5	VEHÍCULO UTILIZADO	23
5.1	Características del vehículo (Km77, 2017)	23
6	MODELADO EN AVL CRUISE.....	25
6.1	Modelado del vehículo	25
6.1.1	Motor de combustión interna.....	25
6.1.2	Embragues Odd y Even (EDC)	28
6.1.3	Embrague hidráulico (CVT).....	28
6.1.4	EDC Gear Box Program.....	28
6.1.5	CVT Control	29
6.1.6	Diferencial	29
6.1.7	Frenos delanteros y traseros.....	29

6.1.8	Ruedas delanteras y traseras	29
6.1.9	Cockpit	30
6.1.10	Monitor	30
6.1.11	Esquema final EDC	30
6.1.12	Esquema final CVT	31
6.2	Modelado del recorrido	31
6.2.1	Weighting Factors	31
6.2.2	Course	31
6.2.3	Profile	32
6.2.4	Driver	32
7	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS MISMOS	33
7.1	Prueba de aceleración	33
7.1.1	Velocidad del vehículo	33
7.1.2	Aceleración del vehículo	34
7.1.3	Potencia entregada por el vehículo	35
7.1.4	Velocidad de giro del motor	35
7.1.5	Ratio de transmisión del vehículo	36
7.2	Ciclo WLTC	36
7.2.1	Velocidad del vehículo	37
7.2.2	Consumo de combustible instantáneo del vehículo	37
7.2.3	Consumo de combustible acumulado del vehículo	38
7.2.4	Potencia entregada por el vehículo	39
7.2.5	Par entregado por el vehículo	39
7.2.6	Velocidad de giro del motor	40
7.2.7	Emisiones instantáneas de NOx del motor	41
7.2.8	Emisiones instantáneas de CO del motor	41
7.2.9	Emisiones instantáneas de HC del motor	42
7.2.10	Emisiones acumuladas de NOx del motor	43
7.2.11	Emisiones acumuladas de CO del motor	43
7.2.12	Emisiones acumuladas de HC del motor	44
8	CONCLUSIONES	45
8.1	Conclusiones	45
8.2	Principales aportaciones del autor del TFM	45
8.3	Sugerencias para trabajos futuros	46
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Fig. 1. Caja de cambios manual.....</i>	<i>6</i>
<i>Fig. 2. Tren epicicloidal</i>	<i>7</i>
<i>Fig. 3. Doble embrague.....</i>	<i>8</i>
<i>Fig. 4. Variador de velocidad continuo</i>	<i>8</i>
<i>Fig. 5. Caja de cambios de doble embrague.....</i>	<i>10</i>
<i>Fig. 6. Embragues multidisco</i>	<i>11</i>
<i>Fig. 7. Esquema embragues multidisco</i>	<i>12</i>
<i>Fig. 8. Árboles primarios</i>	<i>12</i>
<i>Fig. 9. Árboles secundarios.....</i>	<i>13</i>
<i>Fig. 10. Accionamiento de marchas</i>	<i>14</i>
<i>Fig. 11. Correa CVT.....</i>	<i>19</i>
<i>Fig. 12 Accionamiento hidráulico CVT</i>	<i>20</i>
<i>Fig. 13. Funcionamiento CVT</i>	<i>21</i>
<i>Fig. 14. Curva de par y potencia del motor 1.5 dCi Renault.....</i>	<i>25</i>
<i>Fig. 15. Mapa de consumo de combustible del motor.....</i>	<i>26</i>
<i>Fig. 16. Mapa de emisiones de NOx del motor</i>	<i>26</i>
<i>Fig. 17. Mapa de emisiones de CO del motor.....</i>	<i>27</i>
<i>Fig. 18. Mapa de emisiones de HC del motor</i>	<i>27</i>
<i>Fig. 19. Programa de cambio de marcha de la caja EDC</i>	<i>28</i>
<i>Fig. 20. Programa de cambio de la relación de transmisión en CVT</i>	<i>29</i>
<i>Fig. 21. Esquema vehículo con EDC en CRUISE</i>	<i>30</i>
<i>Fig. 22. Esquema vehículo con CVT en CRUISE</i>	<i>31</i>
<i>Fig. 23. Ciclo WLTC</i>	<i>32</i>
<i>Fig. 24. Velocidad del vehículo en la prueba de aceleración</i>	<i>33</i>
<i>Fig. 25. Aceleración del vehículo en la prueba de aceleración</i>	<i>34</i>
<i>Fig. 26. Potencia del vehículo en la prueba de aceleración</i>	<i>35</i>
<i>Fig. 27. Velocidad de giro del motor en la prueba de aceleración</i>	<i>35</i>
<i>Fig. 28. Ratio de transmisión en la prueba de aceleración</i>	<i>36</i>
<i>Fig. 29. Velocidad del vehículo en el ciclo WLTC</i>	<i>37</i>
<i>Fig. 30. Consumo de combustible instantáneo en el ciclo WLTC</i>	<i>37</i>
<i>Fig. 31. Consumo de combustible acumulado en el ciclo WLTC</i>	<i>38</i>
<i>Fig. 32. Potencia entregada por el vehículo en el ciclo WLTC.....</i>	<i>39</i>
<i>Fig. 33. Par entregado por el vehículo en el ciclo WLTC</i>	<i>39</i>
<i>Fig. 34. Velocidad de giro del motor en el ciclo WLTC.....</i>	<i>40</i>
<i>Fig. 35. Emisiones instantáneas de NOx del motor en el ciclo WLTC</i>	<i>41</i>
<i>Fig. 36. Emisiones instantáneas de CO del motor en el ciclo WLTC</i>	<i>41</i>

<i>Fig. 37. Emisiones instantáneas de HC del motor en el ciclo WLTC</i>	<i>42</i>
<i>Fig. 38. Emisiones acumuladas de NOx del motor en el ciclo WLTC</i>	<i>43</i>
<i>Fig. 39. Emisiones acumuladas de CO del motor en el ciclo WLTC</i>	<i>43</i>
<i>Fig. 40. Emisiones acumuladas de HC del motor en el ciclo WLTC</i>	<i>44</i>

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Antecedentes y justificación del TFM*

En la industria automovilística se dedica una gran parte de la inversión en innovación y desarrollo en la construcción de prototipos para ensayos o diferentes pruebas para poder sacar al mercado nuevos modelos que satisfagan la necesidad de sus clientes y cumplan todas las normativas para poder ser homologados en cada país. Las pruebas que se realizan sobre estos prototipos no es posible eliminarlas por completo debido a la complejidad que tienen los vehículos de hoy en día que los hace imposibles de ser simulados completamente mediante herramientas informáticas, sin embargo, parte de estos ensayos sí que pueden ser simulados lo que ahorra coste y tiempo en los nuevos desarrollos ya que la construcción de un modelo informático y su posterior simulación, aunque supone un coste y un tiempo para la empresa, estos son inferiores a la construcción física y a las pruebas circulando.

En este trabajo se pretende comparar dos cajas de cambio automáticas con diferente funcionamiento cada una de ellas instaladas en el mismo vehículo mediante simulación con un software preparado para ello.

Las cajas de cambio automáticas han experimentado un gran desarrollo en las últimas décadas, este avance se ha debido a las inversiones de las diferentes constructoras para evitar una de las labores más fatigosas que tiene que realizar el conductor. A pesar de que este tipo de transmisiones son más cómodas para el conductor su uso está muy diferenciado por las condiciones culturales de cada continente teniendo una gran tradición en Norteamérica y Japón, donde prácticamente la totalidad de los vehículos llevan este tipo de caja de cambio y siendo mucho menos presente en otros como Europa.

Para que sea posible la simulación de diferentes vehículos, mediante herramientas informáticas, ahorrando los costes de los que se ha hablado anteriormente, diferentes empresas han desarrollado varios software que permiten simular el vehículo y su comportamiento dinámico en diferentes situaciones de conducción que se desee introduciendo las características del motor, dimensiones, peso, transmisión...

En este caso se ha optado por utilizar el software CRUISE de la empresa AVL utilizando la versión que posee la Escuela de Ingenierías Industriales de Valladolid. Este software permite simular cualquier vehículo que este en el mercado o que se esté desarrollando introduciendo todas sus características, una vez que se simula el vehículo el siguiente paso es simular el perfil que va a seguir ese vehículo, este perfil puede ser cualquiera de los ciclos de homologación ya preestablecidos como NEDC o WLTP o simplemente puede ser una aceleración en llano o en una pendiente de inclinación constante o variable. También es necesaria la configuración de diversas condiciones de funcionamiento como pueden ser la temperatura, la presión atmosférica, la altura o la velocidad del viento. Otro de los puntos a configurar antes de que el programa haga los cálculos es el comportamiento del conductor debido a que no todos los conductores accionan igual los pedales o la palanca de marchas por esto hay que introducir estos datos al software. El siguiente punto a configurar dentro del software es el tipo de cálculo que se quiere que el programa realice en la simulación. Finalmente se lanza la simulación y se obtienen los resultados que pueden ser tan diversos como aceleración, consumos, emisión de contaminantes, tiempo de un vehículo en recorrer un circuito preestablecido, velocidad de giro del motor, par y potencia entregados...

1.2 *Objetivos*

Un primer objetivo que se quiere conseguir con la elaboración de este trabajo es aprender a manejar el programa de simulación que se va a utilizar, CRUISE de la empresa AVL del que no se tiene ningún conocimiento en un principio y que puede ser muy útil para realizar un gran número de simulaciones y comparaciones de varios vehículos, condiciones ambientales, ciclos de conducción y conductores debido a que permite introducir todas estas variables.

Otro de los objetivos que se persigue es conocer todas las características y cómo funcionan las diferentes cajas de cambios que se utilizan en los vehículos comerciales para posteriormente centrarse en las dos transmisiones que se van a comparar, una de ellas conocida como EDC, utilizada por Renault, que es una caja de cambios de doble embrague robotizada y lubricada con aceite que posee 6 marchas y la otra conocida como CVT que es una transmisión continuamente variable utilizada por Nissan y que permite al motor trabajar la mayor parte del tiempo en la relación de transmisión con la que se consigue un punto óptimo de funcionamiento.

El último de los objetivos es conseguir mediante una comparativa del mismo coche utilizando las dos transmisiones unos valores de consumo de combustible, emisiones contaminantes y aceleración para a partir de ellos comprobar que son datos realistas y decidir cuál de las dos cajas de cambio da mejores resultados sin olvidar que no solo hay que tener en cuenta los datos numéricos sino que en las transmisiones automáticas también es muy importante las sensaciones que da a la conducción.

1.3 *Alcance y desarrollo del TFM*

Este TFM se ha dividido en cuatro partes claramente diferenciadas, las dos primeras partes se han centrado en adquisición de conocimientos, la tercera en construcción de modelos y la cuarta en lanzamiento de simulaciones e interpretación de los resultados numéricos y gráficas obtenidas mediante el cálculo.

El primer conocimiento que se ha obtenido ha sido el del tipo de transmisiones manuales y automáticas que existen en el mercado automovilístico actual y dar unas nociones principales sobre cómo funciona cada una de ellas, para después centrarse en el análisis de todas las características y del funcionamiento de dos de ellas como son EDC y CVT. Para este aprendizaje se ha recurrido a diferentes artículos de prensa, manuales de usuario, trabajos fin de grado, trabajos fin de máster y apuntes de asignaturas.

La segunda parte se ha centrado en la utilización del programa CRUISE de AVL del que no se tenía un conocimiento previo. Para aprender a manejar este programa hay bastantes herramientas disponibles, se han utilizado los modelos disponibles en el propio programa sobre los que se han realizado variaciones tanto de los vehículos ya disponibles, de los perfiles recorridos, de las condiciones ambientales o del tipo de conductor, lanzando la simulación para aprender a interpretar los datos y gráficas obtenidas y entender las variaciones.

La tercera parte consiste en la construcción del modelo de un vehículo concreto en el programa CRUISE introduciendo todos los parámetros necesarios (geométricos, motor, transmisiones, frenos, neumáticos...) para que los resultados sean lo más parecidos posible a la realidad. Con el modelo de vehículo ya construido se harán dos variaciones una de ellas con caja de cambios EDC y la otra con CVT. En esta parte también es necesario establecer un perfil de recorrido del vehículo, unas condiciones climáticas y un comportamiento del conductor.

La cuarta parte consiste en lanzar la simulación mediante el software de cada uno de los dos modelos construidos, para la realización de esta simulación es necesario que previamente se seleccione un

método de cálculo y con los datos obtenidos de ese cálculo seleccionar los datos a comparar de los dos modelos así como las gráficas relevantes para el estudio a realizar.

Por último se presentaran unas conclusiones en las que se pretende plasmar en que aspectos mejora una transmisión a la otra y en cuál de ellos la empeora para tratar de dar un veredicto de que caja de cambios se utilizaría para el vehículo simulado.

2 ESTADO DE LA TÉCNICA

La gran mayoría de los coches de combustión interna alternativos poseen una caja de cambios. Este elemento recibe el movimiento del motor y se lo transmite a las ruedas, además de esta transmisión hay una transformación de la velocidad de giro y del par.

Este elemento es necesario debido a que un vehículo habitual tiene que cubrir un amplio rango de velocidades, desde velocidades bajas cuando inicia la marcha o circula por ciudad hasta altas velocidades al circular por autovía. Lo mismo sucede con el par ya que no es lo mismo circular en llano que subir una pendiente. Los motores con los que se trabaja habitualmente no pueden cubrir un rango de velocidades tan amplio ya que por ejemplo los diésel pueden girar a un mínimo de 800 rpm y hasta unas 5000 rpm por lo que si no hubiera caja de cambios no se podrían cubrir velocidades de 10 km/h o de 120 km/h. Además al poseer caja de cambios se puede mantener al motor girando en revoluciones en la que tiene un mejor rendimiento durante más tiempo lo que reduce muy considerablemente tanto el consumo como las emisiones contaminantes, también se puede llevar el motor a un punto de alta potencia utilizando una marcha determinada. (Aliaga Bereziartua, Anso Otaegi, Lasala García, & Manso García, n.d.)

2.1 *Cajas de cambio manuales*

Son las más utilizadas en vehículos de serie en algunos continentes como Europa. Está formada por un número de piñones cuyo material es el acero al carbono y su método de fabricación la estampación en forja y posterior tallado de sus dientes terminando con un tratamiento térmico de temple y una cementación consiguiendo elevada dureza y resistencia.

Los piñones van situados sobre dos árboles de transmisión paralelos entre si y que apoyan en unos cojinetes sobre la carcasa de la caja de cambios, además, dentro de la carcasa se encuentran las horquillas de selección de cada marcha y aceite para la lubricación.

El árbol de transmisión primario se conecta al cigüeñal del motor mediante el embrague y el árbol de transmisión secundario está conectado a la salida de la caja de cambios y manda el movimiento hacia el diferencial y las ruedas motrices.

La selección de las diferentes marcas se realiza por el conductor mediante la palanca situada en el habitáculo. Esta palanca está conectada mediante dos cables a la caja de cambios y permite engranar la marcha deseada variando así la relación de transmisión ya que cada marcha tiene una relación de transmisión diferente.

Los piñones son de dientes helicoidales debido a que estos son más silenciosos y su superficie de contacto es mayor, por lo que la presión sobre los dientes es menor y con ello el desgaste. (Alzallú Soriano, 2016a)



Fig. 1. Caja de cambios manual

Fuente: (Alzallú Soriano, 2016a)

2.2 Cajas de cambio automáticas

Surgen debido a que algunos conductores buscan un mayor confort en la conducción y olvidarse de la tarea del cambio de marcha manipulando continuamente la palanca, lo que puede hacer que el coche funcione en puntos de bajo rendimiento y alto consumo de combustible.

En los últimos años el funcionamiento de este tipo de cajas de cambio en las que el conductor no tiene que accionar la palanca ha mejorado mucho y su comportamiento es bastante mejor que hace algunos años donde producían tirones o revolucionaban en exceso el motor.

En la actualidad para su utilización en automóviles comerciales se utilizan principalmente tres tipos de cajas de cambio automáticas: las de trenes epicicloidales, las de doble embrague y las de variador.

2.2.1 Trenes epicicloidales

Tienen tres elementos como son la corona, los satélites y el planetario, los tres unidos forman el tren epicicloidal.

El movimiento pasa ininterrumpidamente desde el cigüeñal del motor hasta el tren a través de un convertidor de par hidráulico.

Los tres elementos del tren están dentados y unidos entre sí, por lo que el movimiento de uno de ellos hace que se muevan los otros dos. Los movimientos que se pueden realizar son diversos ya que se

puede frenar uno de ellos y hacer que pase el movimiento entre los otros dos o frenar otro, cambiando la salida del movimiento. Las combinaciones de movimiento por lo tanto son diversas y es así como se consiguen las diferentes marchas de la caja de cambios. Además de estas posibles combinaciones cada vehículo posee varios trenes epicicloidales por lo que combinándolos las velocidades del coche son diferentes. (Alzallú Soriano, 2016b)

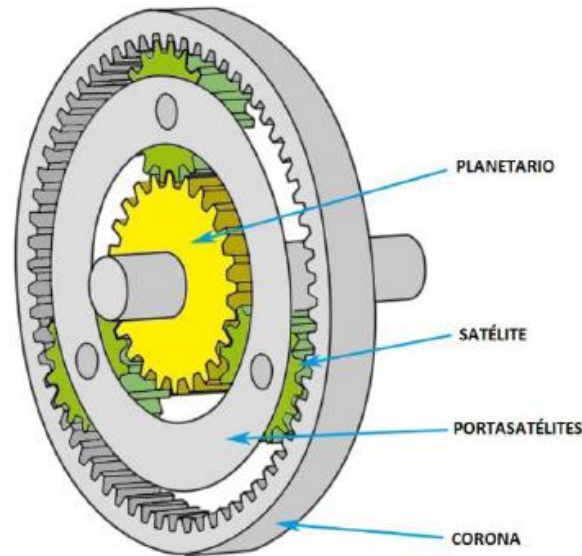


Fig. 2. Tren epicicloidal

Fuente: (Alzallú Soriano, 2016b)

2.2.2 Doble embrague

Es una mezcla entre cajas de cambio automáticas y cajas de cambio manuales ya que la selección de las marchas dentro de la caja se hace de una forma similar al de las cajas manuales mediante las horquillas de selección, pero sin embargo esta selección se produce por un sistema automático accionado de forma electrohidráulica. (Alzallú Soriano, 2016b)

Sus principales características mecánicas es que posee dos embragues y dos árboles primarios, uno de ellos (tanto embrague como árbol primario) están unidos a las marchas impares y el otro a las marchas pares.

Siempre hay engranadas dos marchas, una par y otra impar, sin embargo, solamente esta accionada una de las dos, más adelante se explicara su funcionamiento y sus principales componentes más en profundidad.

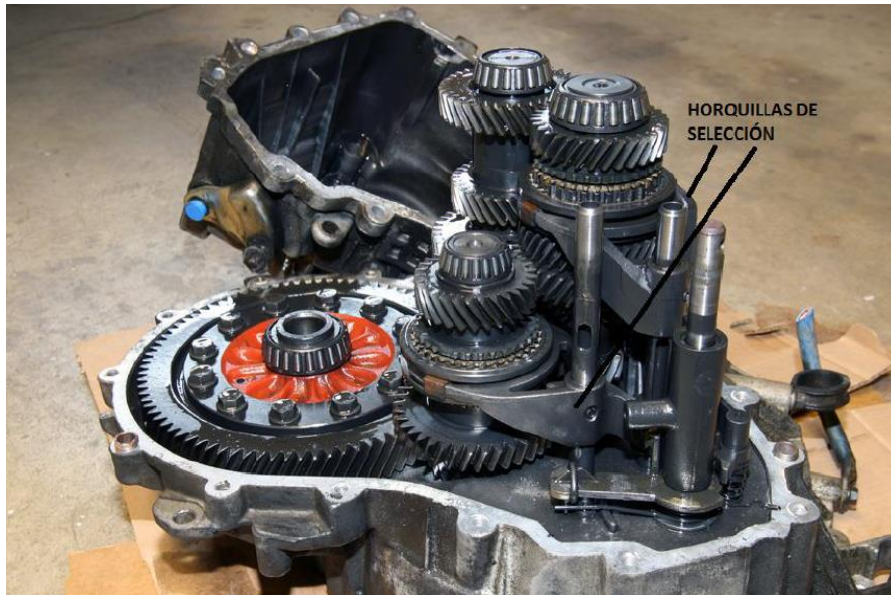


Fig. 3. Doble embrague

Fuente: (Alzallú Soriano, 2016b)

2.2.3 Variador de velocidad continuo

Es una idea de caja de cambios automática basada en la que utilizan desde hace años los ciclomotores.

Su idea fue expuesta por Leonardo Da Vinci y consiste en un sistema de dos poleas, una de ellas conectada al motor y la otra a la salida de la caja de cambios. Las dos poleas están unidas mecánicamente mediante una correa. Las poleas varían sus diámetros lo que hace variar la relación de transmisión de modo continuo. Más adelante se explica su funcionamiento y principales componentes más en profundidad. (Alzallú Soriano, 2016b)



Fig. 4. Variador de velocidad continuo

Fuente: (Alzallú Soriano, 2016b)

3 CAJA DE CAMBIOS DE DOBLE EMBRAGUE (EDC)

En la actualidad la principal transmisión automática utilizada por Renault en sus vehículos es la denominada EDC. Sus particularidades son las siguientes:

- Posee dos embragues bañados en aceite.
- Su número de marchas es de 6.
- El acoplamiento de sus marchas es hidráulico.
- Tiene dos ejes primarios.
- Cuando una marcha esta activada la siguiente ya está engranada y preparada para ser activada.
- La transmisión es muy suave debido a que nunca se pierde el par por completo, lo que también provoca un ahorro de combustible y una mejora en la aceleración.
- Fabricada por Getrag, su denominación es 6 DCT 450. (Getrag, 2007)
 - o 6: Seis marchas.
 - o D: Doble.
 - o C: Clutch.
 - o T: Transaxle.
 - o 450: Máximo par en Nm

3.1 *Características mecánicas*

- Peso: 81 kg.
- Máxima velocidad de entrada: 8200 rpm
- Máximo par: 450 Nm
- Cantidad de aceite: 7 litros.
- Longitud (incluyendo la carcasa): 397,7 mm
- Distancia entre ejes: 197 mm

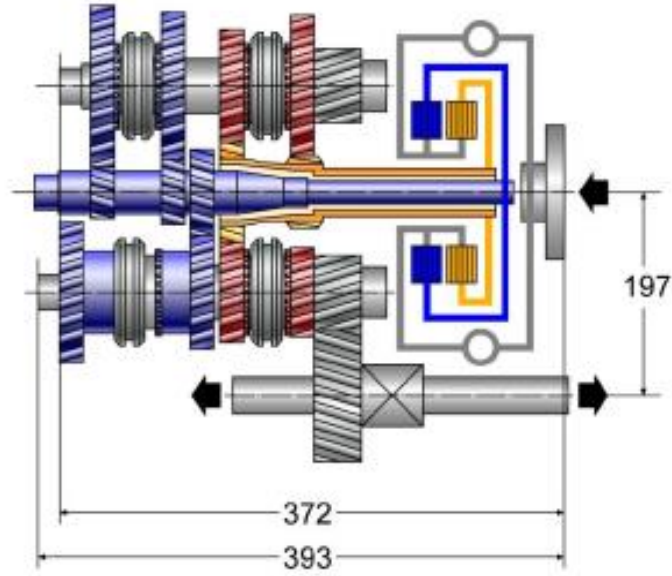


Fig. 5. Caja de cambios de doble embrague

Fuente: (Ford, 2014)

- Relación de cada marcha:

Tabla 1. Relación de cada marcha en la transmisión EDC.

Nº de marcha	Relación
1	3,58:1
2	2,05:1
3	1,32:1
4	1,10:1
5	0,97:1
6	0,91:1

Fuente: (Colonna, Luban, Campbell, & Wickham, 2012)

3.2 Embragues multidisco

Al igual que en las cajas de cambio manuales la conexión mecánica entre el cigüeñal y la caja de cambios se realiza mediante embrague, pero a diferencia de la caja manual que utiliza un solo embrague la EDC utiliza dos embragues multidisco bañados en aceite.

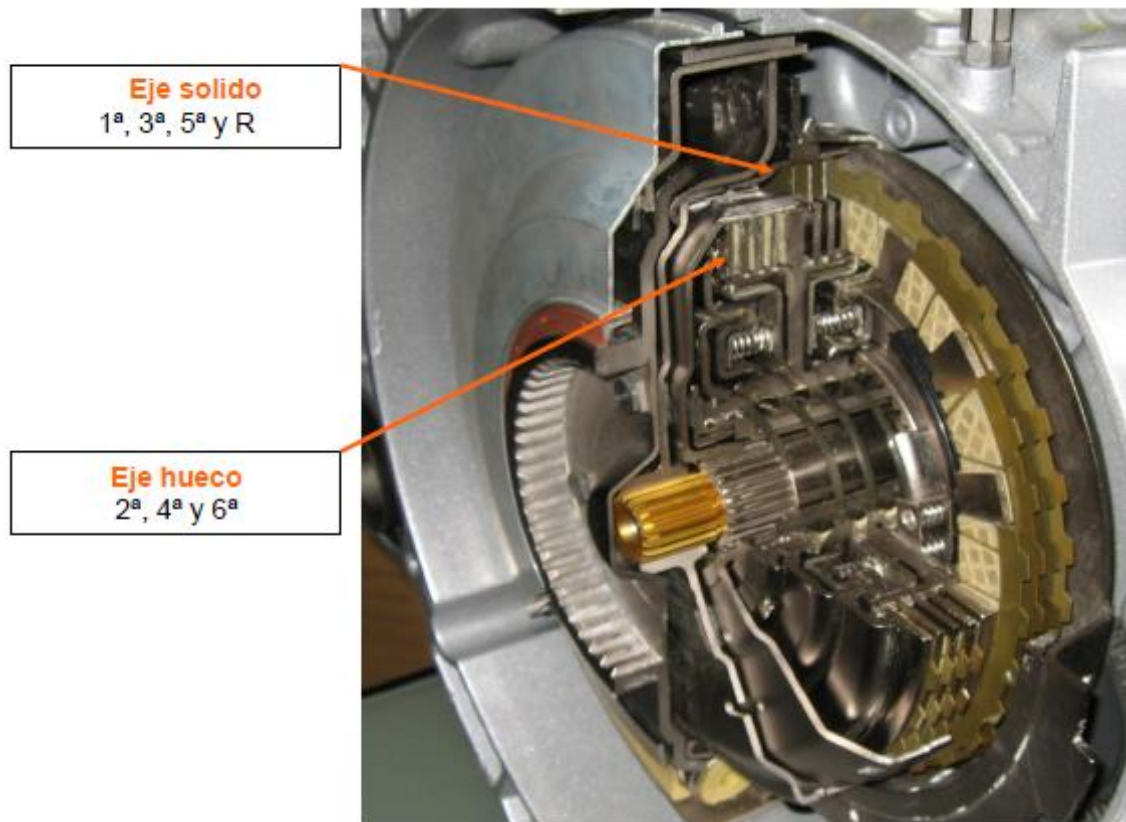


Fig. 6. Embragues multidisco

Fuente: (Ford, 2014)

El par motor llega desde el volante de inercia conectado al cigüeñal del motor hasta el cubo de entrada del doble embrague, este cubo está soldado con el disco de arrastre que es a su vez solidario con el portadisco exterior K1, lo que hace introducir el par motor en el doble embrague.

El portadiscos exteriores K1 y el portadiscos exteriores K2 van soldados con el disco de arrastre por lo que siempre que haya llegada de par motor al doble embrague estos dos portadiscos exteriores estarán girando, cuando uno de los dos embragues está cerrado (no pueden estar cerrados los dos embragues a la vez) el par es transmitido del portadiscos exterior del embrague correspondiente al portadiscos interior.

El portadiscos interiores K1 es solidario con el eje primario 1 (interior) y el portadiscos interiores K2 es solidario con el eje primario 2 (exterior).

Normalmente las marchas, primera y marcha atrás se conectan al embrague K1 (exterior) ya que al ser estas las marchas de arrancada son las que a mayores solicitaciones están sometidas por lo que interesa el embrague más grande de los dos, para qué aguante mejor estas solicitaciones, y este embrague es el K1. (Volkswagen, 2010)

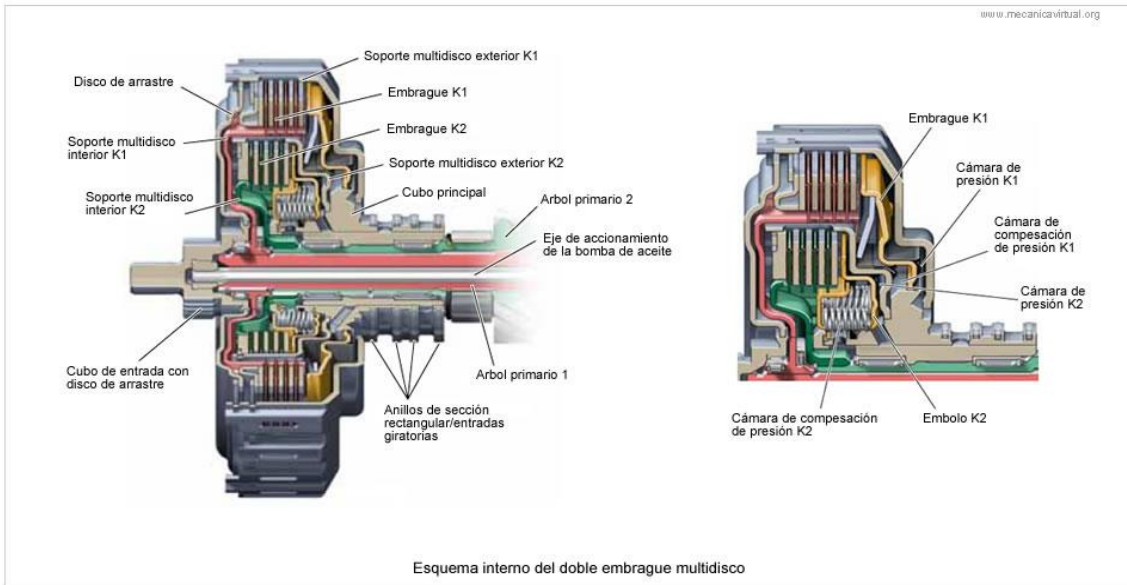


Fig. 7. Esquema embragues multidisco

Fuente: (Ramos Gil, Borge Martínez, & Rodríguez Celador, 2017)

3.3 Árboles primarios

En vez de haber un solo eje primario, como sucede en las cajas de cambios manuales o en los demás tipos de automáticas, hay dos que están separados uno del otro, el eje exterior es hueco y es en su interior donde se aloja el eje interior. El eje primario hueco es el que transmite el movimiento del motor a las marchas segunda, cuarta y sexta, por otra parte el eje interior es el que transmite el movimiento a las marchas primera, tercera, quinta y a la marcha atrás. (Volkswagen, 2010)

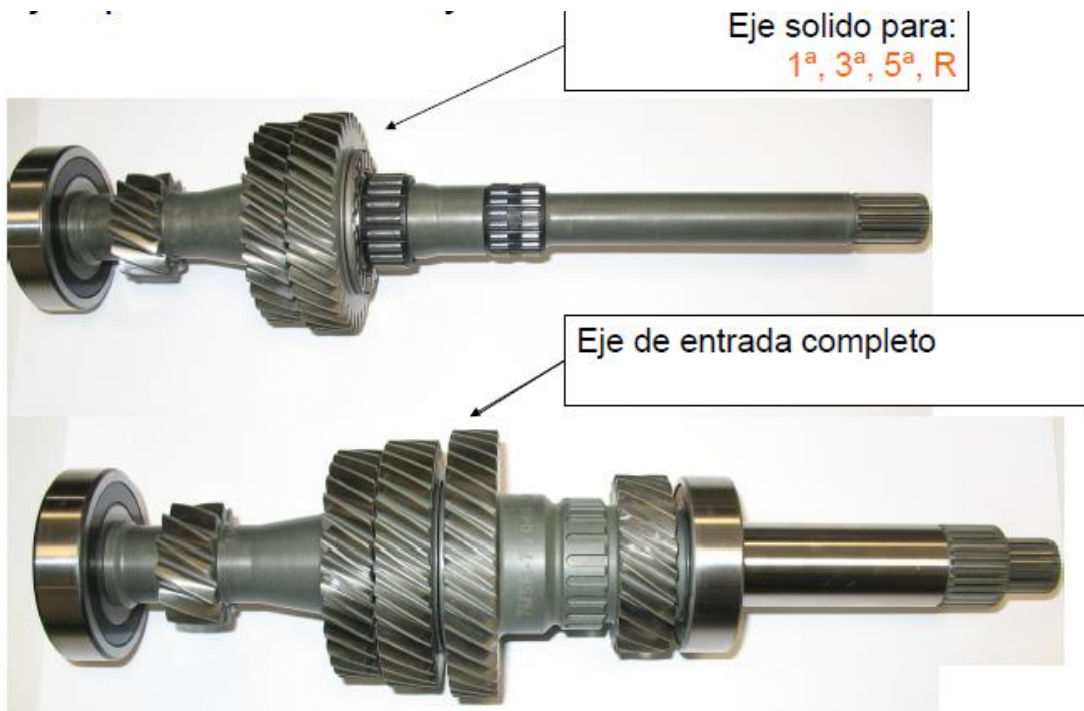


Fig. 8. Árboles primarios

Fuente: (Ford, 2014)

3.4 Árboles secundarios

El número de árboles secundarios, al igual que el de árboles primarios también es dos. Las marchas, primera y marcha atrás comparten el piñón del árbol primario, al igual que también ocurre con las marchas cuarta y sexta lo que ahorra espacio y peso.

En uno de los árboles secundarios se encuentran los piñones móviles de las marchas primera, segunda, tercera y cuarta, además del piñón de salida que transmite el movimiento hacia el diferencial a través del cual el movimiento pasa a las ruedas motrices.

En el otro de los árboles secundarios se encuentran los piñones móviles de las marchas quinta, sexta y marcha atrás y el piñón de salida que ataca al diferencial.

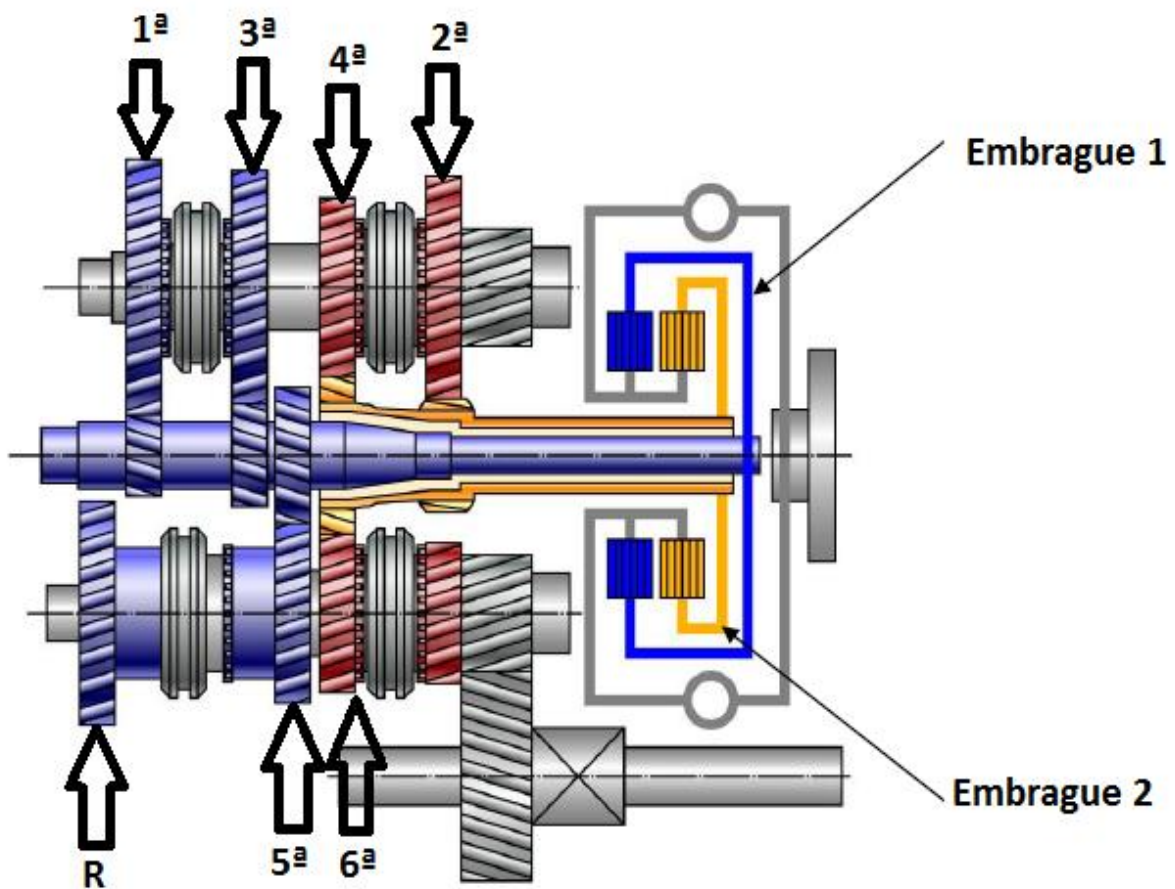


Fig. 9. Árboles secundarios

Fuente: (Ford, 2014)

Los dos árboles secundarios son los que transmiten el par al diferencial a través de una corona, la rueda de bloqueo para el aparcamiento del vehículo se incorpora al diferencial e impide el movimiento de toda la transmisión el en caso de estar accionado.

3.5 Accionamiento de las marchas

El accionamiento de las marchas, visto desde el interior de este tipo de caja de cambios, se realiza mediante la utilización de horquillas selectoras, tal y como se ejecuta en una caja de cambios manual de tipo convencional, donde cada una de las horquillas acciona dos marchas a través de dos sincronizadores.

La diferencia con respecto a las cajas manuales, donde el mando de las horquillas se realiza por medio de varillas, en la caja de cambios EDC se realiza por vía hidráulica. Estas horquillas se encuentran alojadas en bolas con un cilindro.

Para ejecutar el accionamiento, la mecatrónica aplica aceite al cilindro izquierdo, en virtud de que el cilindro derecho se encuentre sin presión, donde la horquilla se desplaza arrastrando el manguito de empuje (sincronizador) y conseguir conectar la marcha.

Cuando la marcha se conecta la presión aplicada a la horquilla se suprime, quedándose la marcha conectada porque la retiene el despulgo que lleva el dentado de mando y las muescas de encastre en la horquilla de cambio.

Un elemento de encastre, ubicado en la carcasa del cambio, se encarga de mantener la horquilla en posición neutra cuando no se necesita la función de esta. Además cada una de las horquillas está equipada con un imán permanente, lo que permite que el sensor de recorrido en la Mecatrónica pueda detectarla posición exacta de cada una de las horquillas. (Volkswagen, 2010)

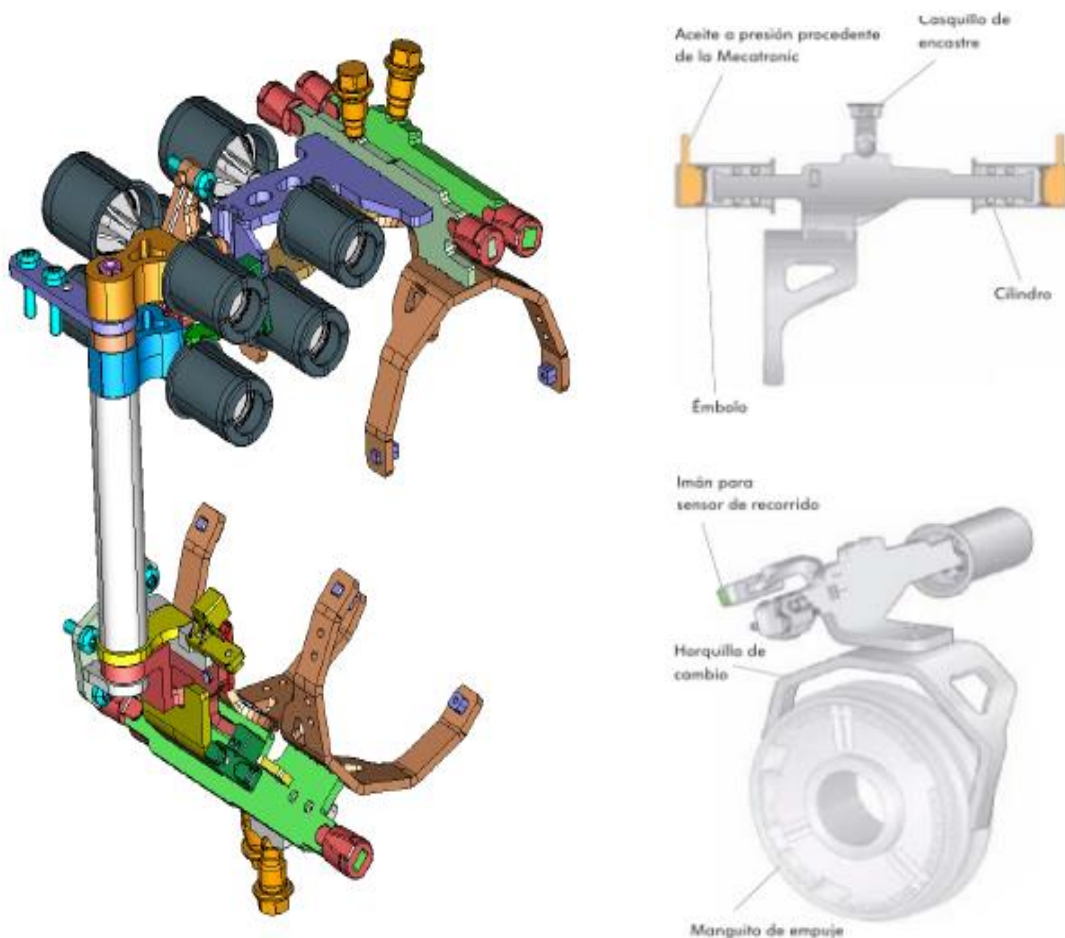


Fig. 10. Accionamiento de marchas

Fuente: (Ford, 2014; Volkswagen, 2010)

3.6 *Funcionamiento*

Dependiendo de si el motor está acelerando o desacelerando se engrana una marcha u otra, por ejemplo cuando arrancamos se activa la primera marcha y ya está engranada la segunda marcha para que cuando el módulo mecatrónico decida que es necesario una marcha más se active electrónicamente cerrando el embrague K2 y abriendo el embrague K1, a su vez pasa a engranarse la tercera marcha en el embrague K1 para cuando sea necesario activarla y así sucesivamente con todas las marchas. En cambio si el motor está frenando la marcha que se engrana es una inferior a la que está activada, pongamos el ejemplo que vamos en quinta marcha y estamos bajando la velocidad, tenemos engranada la cuarta marcha para que cuando el motor baje de velocidad, electrónicamente se abra el embrague K1 y se cierre el embrague K2 activando la cuarta marcha, a su vez pasa a engranarse la tercera marcha en el embrague K1 para cuando sea necesario activarla y así sucesivamente con todas las marchas hasta que se detenga el vehículo. (Volkswagen, 2010)

4 CONTINUOUSLY VARIABLE TRANSMISSION (CVT)

Para el presente trabajo la transmisión continuamente variable que se va a utilizar es la de Nissan también conocida comercialmente como Xtronic CVT.

Sus particularidades son las siguientes: (Nissan, 2012)

- Tiene infinitas relaciones de marcha.
- Hay dos poleas, una conductora y otra conducida.
- Las poleas están unidas mediante una correa.
- La variación del diámetro de las poleas se acciona hidráulicamente.

4.1 Características mecánicas

- Para vehículos de cilindrada de 1,5 litros.
- Modo de conducción automática sin posibilidad de un accionamiento manual.
- Relaciones de marcha:

Tabla 2. Relación de marchas en la transmisión CVT

Marcha	Relación de marcha
Marcha más corta	2,561:1
Marcha más larga	0,427:1
Marcha atrás	2,689:1

Fuente: (Nissan, 2003)

4.2 Embrague hidráulico

Su funcionamiento se basa en la transformación de energía mecánica en energía hidráulica y la posterior transformación de esta energía en energía mecánica de nuevo.

Sus elementos mecánicos son una bomba centrífuga también conocida como impulsor y una turbina.

El impulsor está conectado mecánicamente al cigüeñal del motor, por lo que siempre que el motor está funcionando la bomba centrífuga está girando. El impulsor tiene unos alabes en contacto con un fluido por lo que cuando gira en el fluido se forma un remolino. La turbina también tiene alabes y está en contacto con el mismo fluido, por lo que, cuando se forma el remolino en el fluido este movimiento se transmite a la turbina y la hace girar. La turbina está conectada mecánicamente a la entrada de la caja de cambios por lo que el par será transmitido a esta.

Si el vehículo está detenido el motor gira al ralentí, es decir, lentamente y el par que pasa de la bomba a la turbina a través del fluido es insuficiente para mover el peso del coche por lo que el vehículo permanecerá en reposo. Cuando el motor se acelera gira más rápido por lo que el par transmitido hasta las ruedas motrices del vehículo será lo suficientemente grande como para vencer el par resistente y este comenzará a moverse.

Este tipo de embrague hace que la transmisión de par sea progresiva del motor a las ruedas lo que provoca que aunque se dé un acelerón al motor las ruedas aumentarán su velocidad de forma no tan rápida.

No se puede hacer uso de este tipo de embragues en cajas de cambio manuales ya que siempre que esta arrancado el motor hay transmisión de par hasta la caja y no es posible el cambio de marcha. Como ventaja de este tipo de embrague no hay desgaste debido a la utilización de un fluido y no a la existencia de contacto físico. Como inconveniente puede ocurrir un sobrecalentamiento y una pérdida de rendimiento. (Aliaga Bereziartua et al., n.d.)

4.3 Poleas

Tanto la polea conductora como la polea conducida están formadas por dos conos que comparten eje, el eje de ambas es paralelo y tiene una posición fija no variando nunca la distancia entre el centro de las poleas.

Lo que varía es la distancia entre los dos conos de cada polea separando o juntando ambos hidráulicamente lo que provoca variar la desmultiplicación. (Aamco, 2015)

4.4 Correa

Su función es transmitir el giro de la polea conductora a la polea conducida.

Es inextensible para asegurar que la desmultiplicación está directamente relacionada con la posición de los conos de cada polea.

Su material de fabricación es acero de alta calidad y está compuesta por láminas de transversales que son las que se encuentran en contacto con las poleas y por láminas longitudinales cuya función es mantener unidas a las transversales y soportar la tensión entre las poleas. (Aamco, 2015; Nissan, 2012)

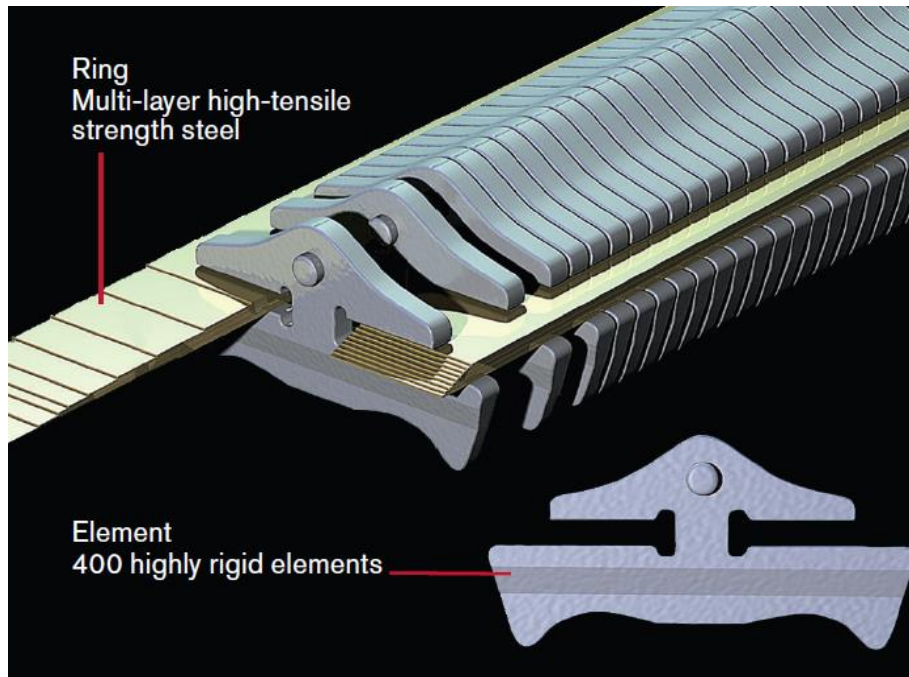


Fig. 11. Correa CVT

Fuente: (Nissan, 2012)

4.5 Accionamiento hidráulico

Este accionamiento es comandado electrónicamente por la ECU.

Su función es el de aplicar presión hidráulica a un circuito que provoca que uno de los conos de una polea se acerque al otro cono de la misma polea, en el caso de que la presión hidráulica del circuito sea liberada, debido a la fuerza de separación que ejerce la correa, provocada por su tensión, un cono de la polea se separará del otro.

Cada polea tiene su circuito hidráulico por lo que variando la presión de cada uno se puede establecer diferente relación de diámetro de ambas, variando así la desmultiplicación. (Retana Jiménez, 2007)

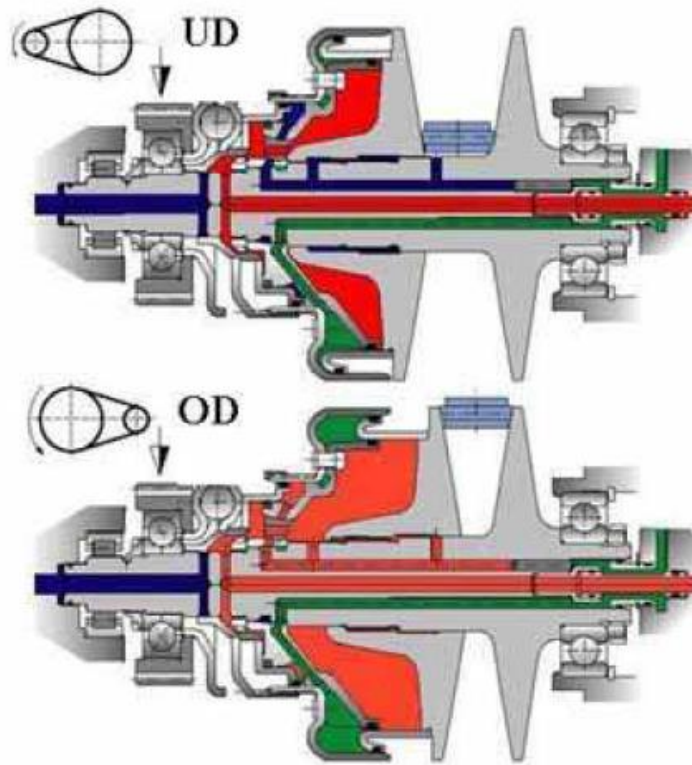


Fig. 12 Accionamiento hidráulico CVT

Fuente: (Retana Jiménez, 2007)

4.6 Funcionamiento

Permiten variar la relación de transmisión de forma progresiva sin tener que dar saltos en esta relación como ocurre en las cajas de cambio con marchas fijas.

Si se selecciona la posición N en el selector de marchas el par que pasará del motor a la caja de cambios no será suficiente para mover el peso del vehículo.

Si se selecciona la posición D el par empezará a pasar a la caja de cambios, al principio la polea conductora tendrá los conos separados por lo que el diámetro por el que pasa la correa será el diámetro más pequeño, por el contrario la polea conducida tendrá los conos más juntos por lo que el diámetro por el que pasa la correa será el diámetro más grande. A medida que se va aumentando la velocidad los circuitos hidráulicos empiezan a actuar variando la posición de los conos de las dos poleas, los conos de la polea conductora empezaran a juntarse aumentando el diámetro mientras que en la polea conducida los conos se empezaran a juntar disminuyendo el diámetro por el que pasa la correa. De esta manera al aumentar la velocidad la ECU decide cómo tiene que actuar el circuito hidráulico variando la posición de los conos y a su vez de los diámetros seleccionando la desmultiplicación necesaria para que cada situación de conducción tenga el régimen motor de mayor rendimiento posible. La ECU no solo tiene en cuenta subidas de velocidad para seleccionar las posiciones de las poleas, también actúa cuando suceden disminuciones de velocidad, variación de pendientes...

Hay que tener en cuenta que la correa es inextensible por lo que cuando el diámetro de una polea aumenta el de la otra tiene que disminuir y viceversa debido a que los ejes de ambas poleas tienen posiciones paralelas y su distancia no varía. (Guisasola, n.d.; Nissan, 2012)

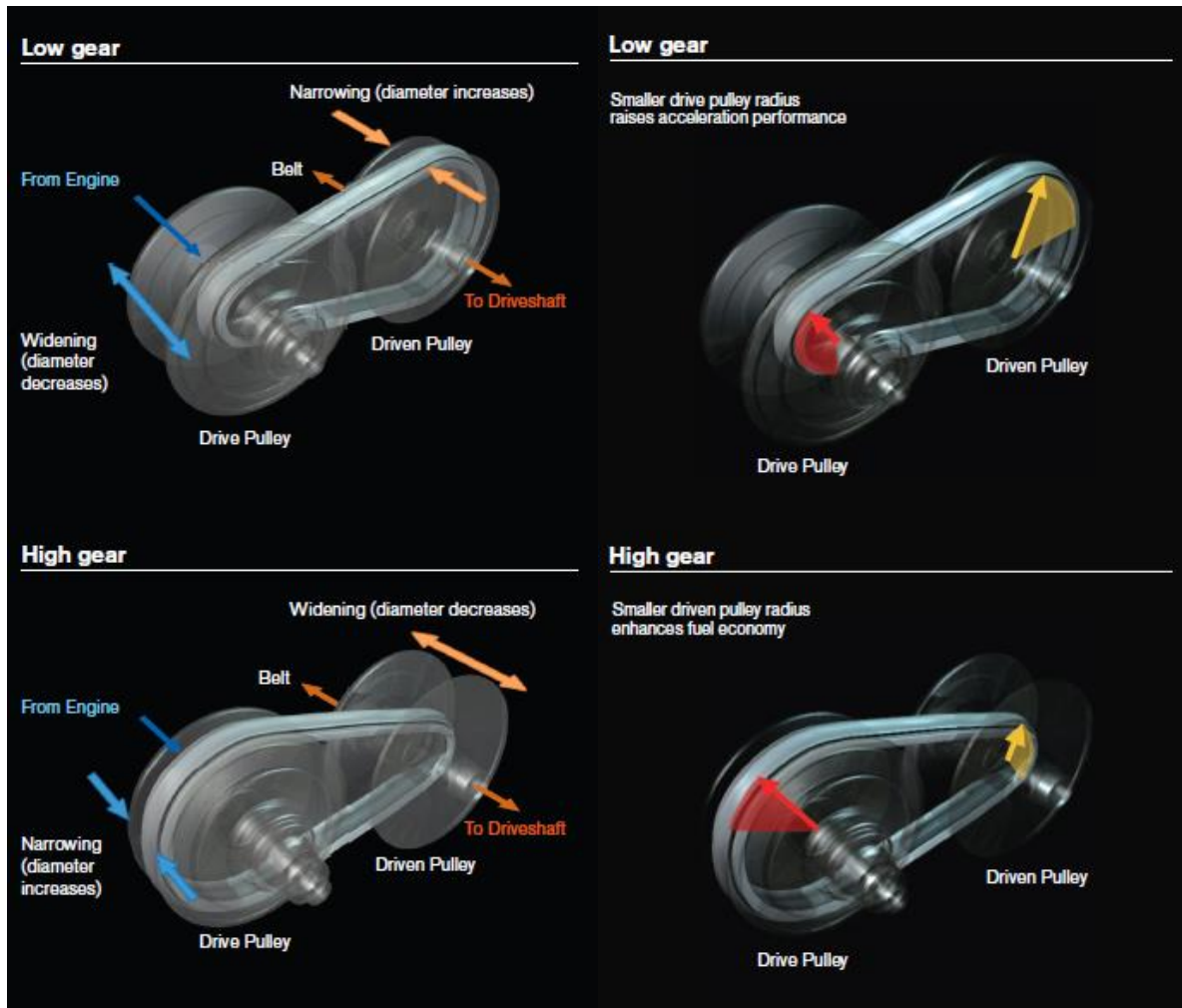


Fig. 13. Funcionamiento CVT

Fuente: (Nissan, 2012)

5 VEHÍCULO UTILIZADO

El vehículo utilizado para la realización de la simulación a través de AVL CRUISE es un Renault Megane Berlina Zen Energy 1.5 dCi.

5.1 *Características del vehículo* (Km77, 2017)

- Prestaciones y consumos homologados:
 - Velocidad máxima (km/h): 187
 - Aceleración 0-100 km/h (s): 11,3
 - Consumo urbano (l/100 km): 4
 - Consumo extraurbano (l/100 km): 3,5
 - Consumo medio (l/100 km): 3,7
 - Emisiones de CO₂ (g/km): 95
 - Normativa de emisiones: Euro 6
- Dimensiones, peso y capacidades:
 - Tipo de carrocería: Turismo
 - Número de puertas: 5
 - Largo / Ancho / Alto (mm): 4359 / 1814 / 1447
 - Batalla / Vía delantera – trasera (mm): 2669 / 1591 - 1586
 - Peso (kg): 1386
 - Tipo de depósito: 47 litros de gasóleo
 - Volúmenes de maletero:
 - Volumen con una fila de asientos disponible (litros): 1247
 - Volumen mínimo con dos filas de asientos disponibles (litros): 384
 - Número de plazas / Distribución de asientos: 5 / 2 + 3
- Motor de combustión:
 - Combustible: Gasóleo
 - Potencia máxima CV – kW / rpm: 110 – 81 / 4000
 - Par máximo Nm / rpm: 260 / 1750
 - Situación: Delantero transversal
 - Número de cilindros: 4 – En línea
 - Material del bloque / culata: Hierro / Aluminio
 - Diámetro x Carrera (mm): 76 x 80,5
 - Cilindrada (cm³): 1461
 - Relación de compresión: 15,5 a 1

- Distribución: 2 válvulas por cilindro. Un árbol de levas en la culata
- Alimentación: Inyección directa por Common Rail. Turbo de geometría variable e intercooler.
- Automatismo de parada y arranque del motor (“Stop/Start”): Si
- Transmisión
 - Tracción: Delantera
 - Caja de cambios: Automática de 6 velocidades (EDC)
- Chasis
 - Suspensión delantera (estructura/muelle): Tipo McPherson / Resorte helicoidal
 - Suspensión trasera (estructura/muelle): Rueda tirada con elemento torsional / Resorte helicoidal
 - Barra estabilizadora (delante/detrás): Si / No
 - Frenos delanteros: Disco ventilado de 280 mm
 - Frenos traseros: Disco de 260 mm
 - Dirección:
 - Tipo: Cremallera de asistencia eléctrica
 - Asistencia en función de la velocidad: No
 - Desmultiplicación en función de la velocidad: No
 - Desmultiplicación no lineal: No
 - Dirección a las cuatro ruedas: No
 - Diámetro de giro entre bordillos (m): 11,2
 - Diámetro de giro entre paredes (m): 11,8
 - Vueltas de volantes entre topes: 2,9
 - Neumáticos delanteros: 205/55 R16
 - Neumáticos traseros: 205/55 R16
 - Llantas delanteras (“): 16
 - Llantas traseras (“): 16

6 MODELADO EN AVL CRUISE

Para la simulación del vehículo mediante Cruise se han construido dos modelos con las características conocidas del vehículo utilizado, uno de los modelos posee caja de cambios EDC y el otro CVT. Los datos del vehículo que se desconocen se han dejado por defecto los que poseen los demás modelos existentes en Cruise, estos últimos son los que aparecen en este capítulo en negrita.

6.1 Modelado del vehículo

6.1.1 Motor de combustión interna

- Engine

Engine Type: Diesel Charger: TC with Intercooler Engine Displacement: 1461 cm³
 Engine Working Temperature: 80°C Number of Cylinders: 4 Number of Strokes: 4
 Idle Speed: 850 1/min Maximum Speed: 5000 1/min **Inertia Moment: 0,143 kg·m²**
 Response Time 0,1s Fuel Type: Diesel Heating Value: 43100 KJ/Kg
 Fuel Density: 0,84 kg/l Specific Carbon Content: 0,86

- Full Load Characteristic

Los parámetros de los curva Potencia-Régimen se han obtenido de la curva real del motor.

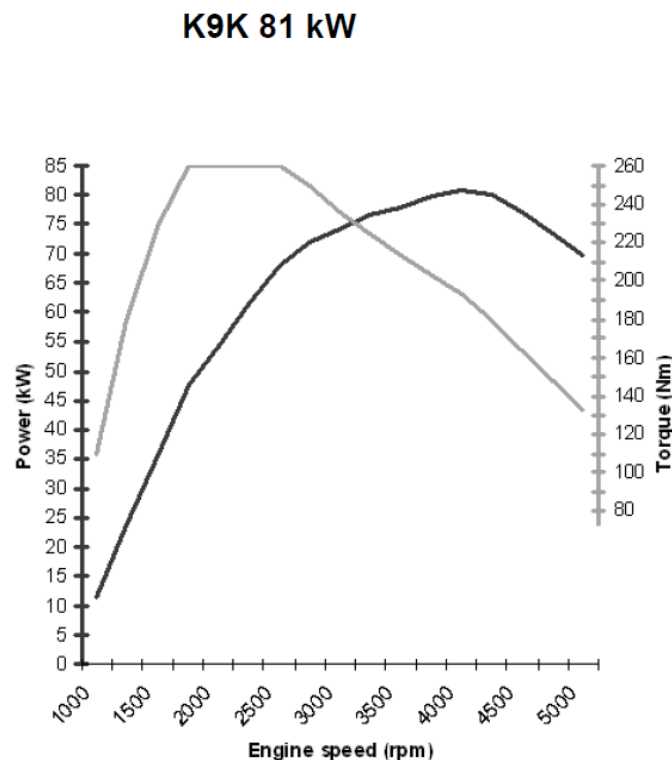


Fig. 14. Curva de par y potencia del motor 1.5 dCi Renault

Fuente: (Powertrain, n.d.)

Los siguientes mapas introducidos en el modelo se han tomado de vehículos ya construidos en CRUISE de características similares al utilizado en este trabajo.

- Fuel Consumption Map

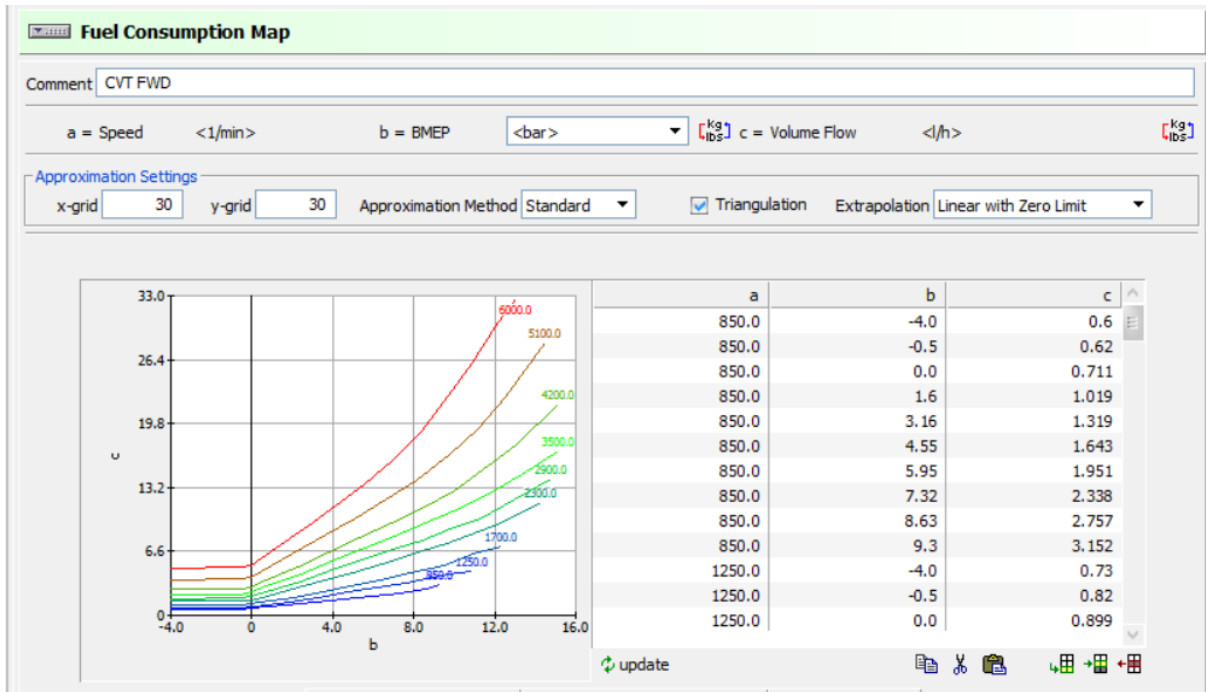


Fig. 15. Mapa de consumo de combustible del motor

- Nox Emission Map

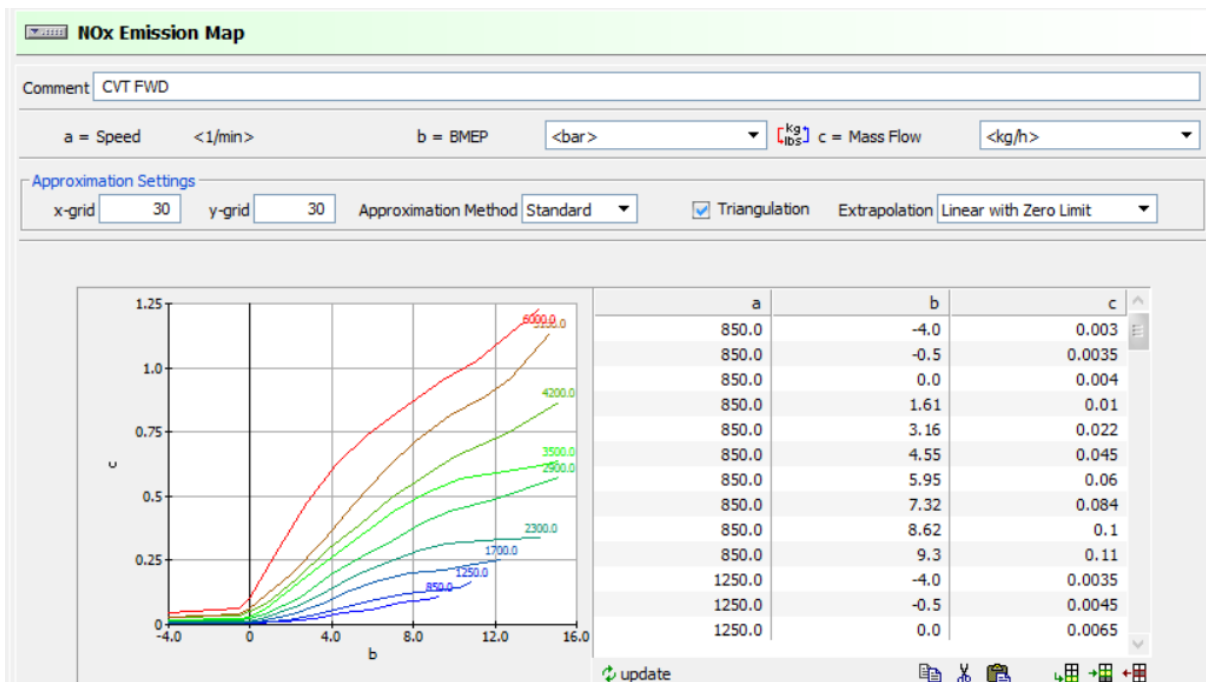


Fig. 16. Mapa de emisiones de NOx del motor

- CO Emission Map

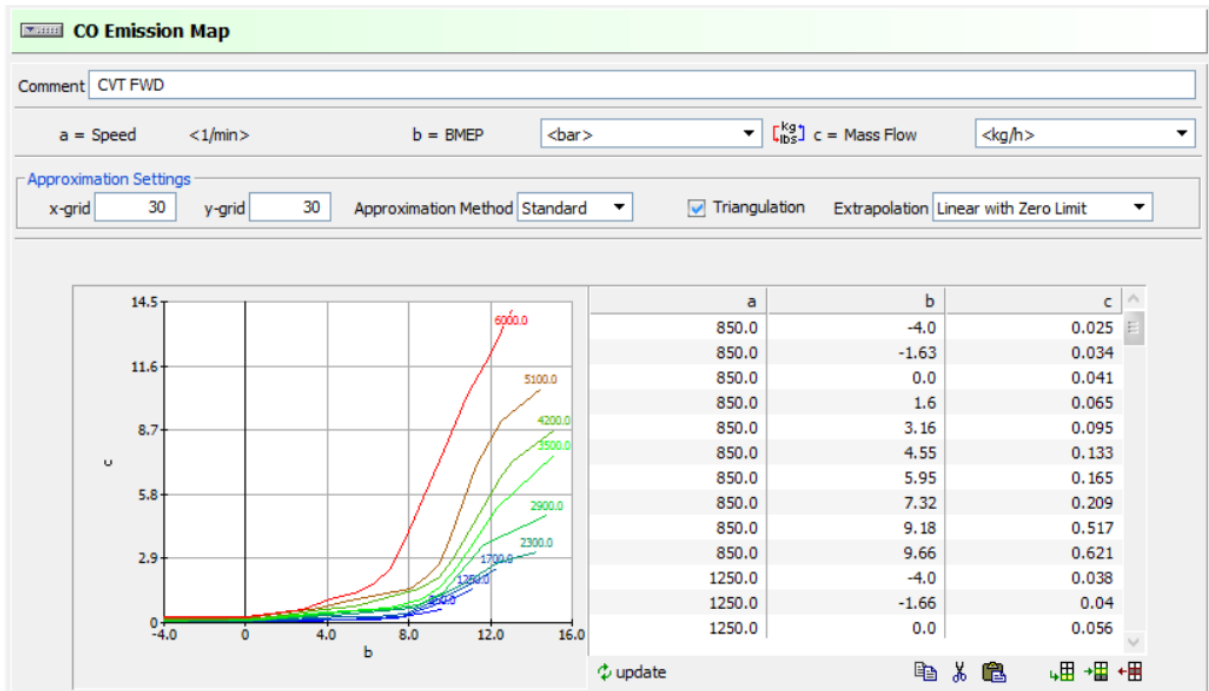


Fig. 17. Mapa de emisiones de CO del motor

- HC Emission Map

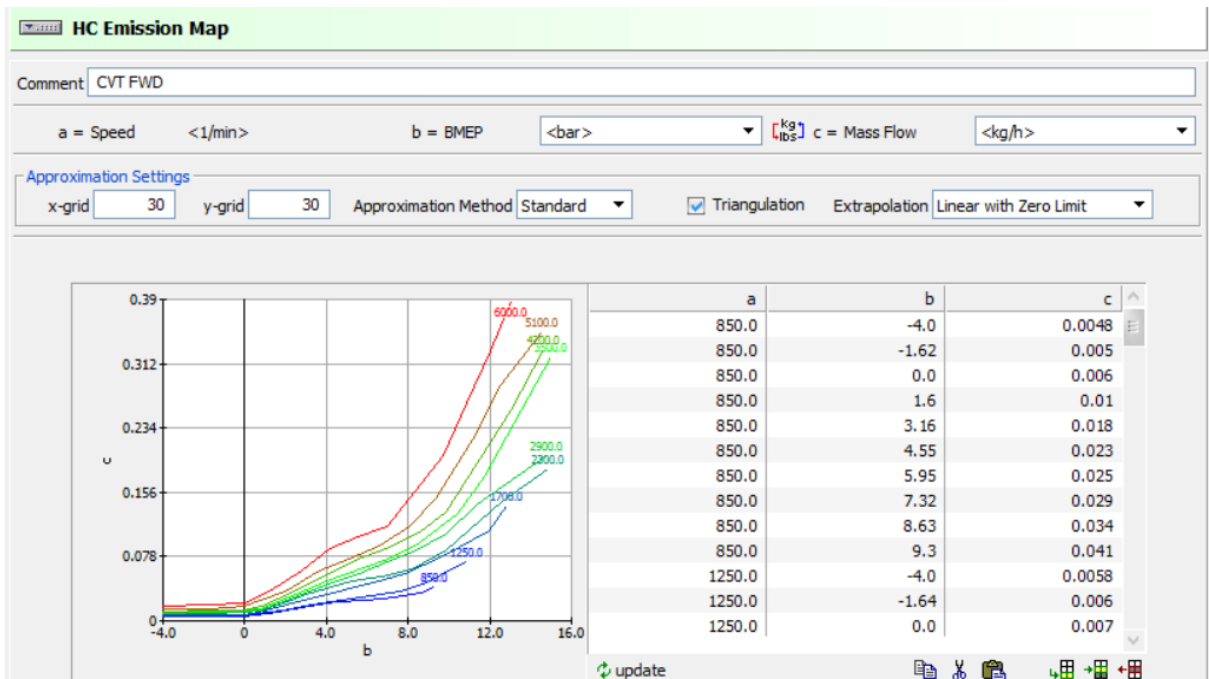


Fig. 18. Mapa de emisiones de HC del motor

6.1.2 Embragues Odd y Even (EDC)

Inertia Moment In: 0,0015 kg·m²

Inertia Moment Out: 0,0015 kg·m²

Maximum Torque: 450 Nm

6.1.3 Embrague hidráulico (CVT)

Inertia Moment of Pump with Oil: 0,016 kg·m²

Inertia Moment of Turbine Oil: 0,011 kg·m²

Max. Torque lock-up Clutch 450 Nm

Input Mode: Torque Conversion

6.1.4 EDC Gear Box Program

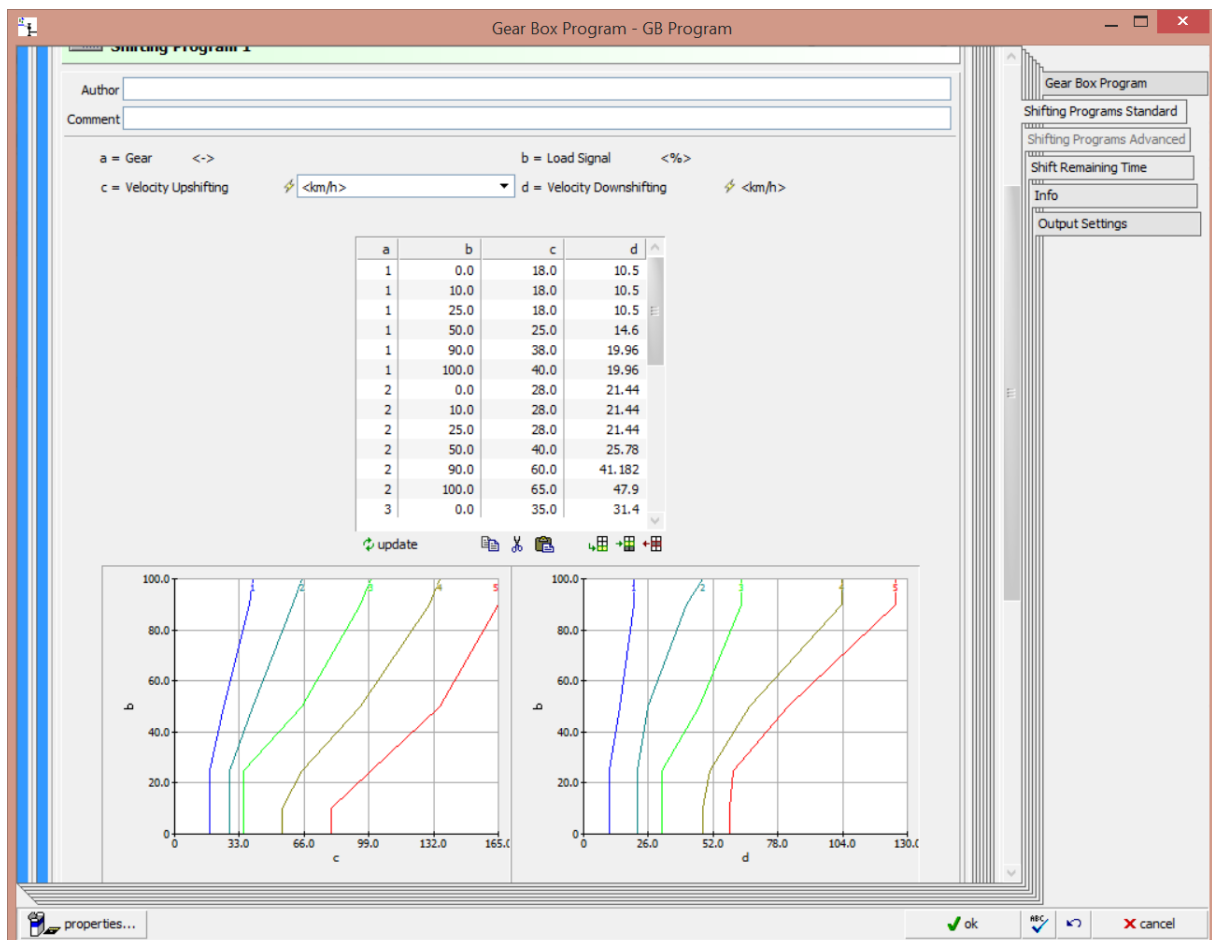


Fig. 19. Programa de cambio de marcha de la caja EDC

6.1.5 CVT Control

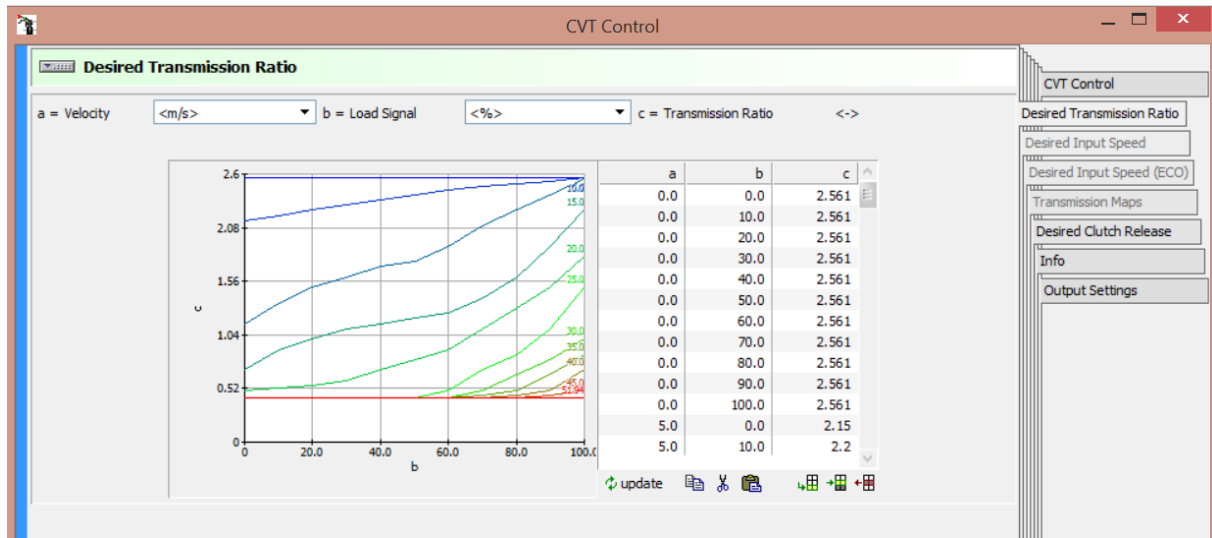


Fig. 20. Programa de cambio de la relación de transmisión en CVT

6.1.6 Diferencial

Differential Lock: Unlock

Torque Split Factor: 1,0

Inertia Moment In: 0,015 kg·m²

Inertia Moment Out 1: 0,015 kg·m²

Inertia Moment Out 2: 0,015 kg·m²

6.1.7 Frenos delanteros y traseros

• Delanteros

Brake Piston Surface: 2960mm²

Specific Brake Factor: 1,0

Efficiency: 0,99

Friction Coefficient: 0,25

Effective Friction Radius: 180mm

Inertia Moment: 0,02 Kg·m²

• Traseros

Brake Piston Surface: 2600mm²

Specific Brake Factor: 1,0

Efficiency: 0,99

Friction Coefficient: 0,25

Effective Friction Radius: 130mm

Inertia Moment: 0,015 Kg·m²

6.1.8 Ruedas delanteras y traseras

Inertia Moment: 0,51 Kg·m²

Reference Wheel Load: 2500 N

Circumference: 2050mm

Friction Coefficient of Tire: 0,95

Wheel Load Correction Coefficient: 0,02

Static and Dynamic Rolling Radius: 326,268mm

6.1.9 Cockpit

Shift mode: Automatic Forward: 6 Reverse: 1
Maximum Brake Force: 100 N Brake Light Switch Threshold: 1,0% N° Retarder Steps: 0

6.1.10 Monitor

Con él se pueden observar las señales procedentes del grupo motopropulsor con el objetivo de realizar una comparación de estas señales con datos conocidos y corroborar que la simulación se está realizando correctamente. Las señales seleccionadas han sido las siguientes: (Martínez Rodríguez, 2016)

- Input 0: Vehicle Acceleration en m/s²
- Input 1: Vehicle Velocity en km/h
- Input 2: Vehicle Distance: m
- Input 3: Engine Load Signal
- Input 4: Engine Speed en 1/min

6.1.11 Esquema final EDC

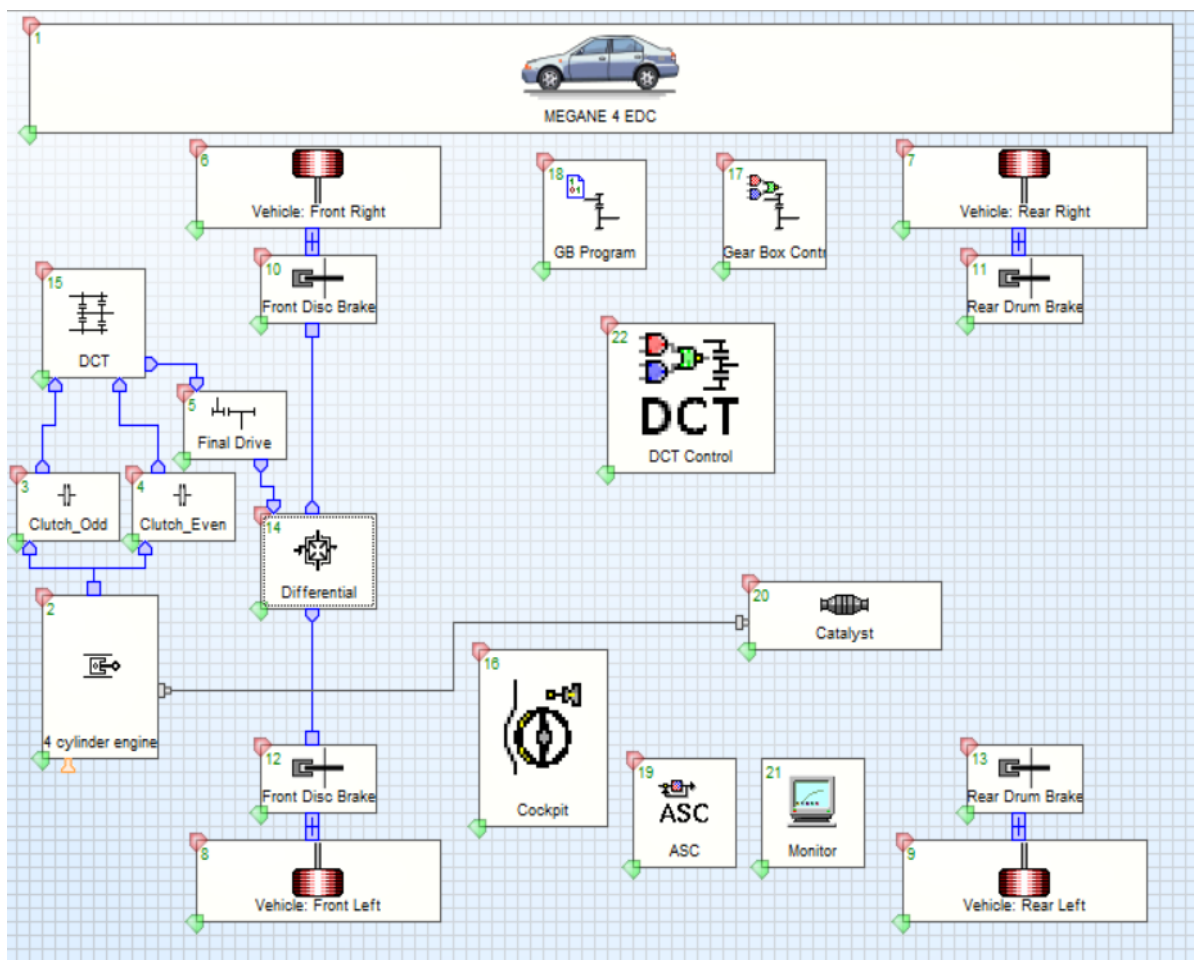


Fig. 21. Esquema vehículo con EDC en CRUISE

6.1.12 Esquema final CVT

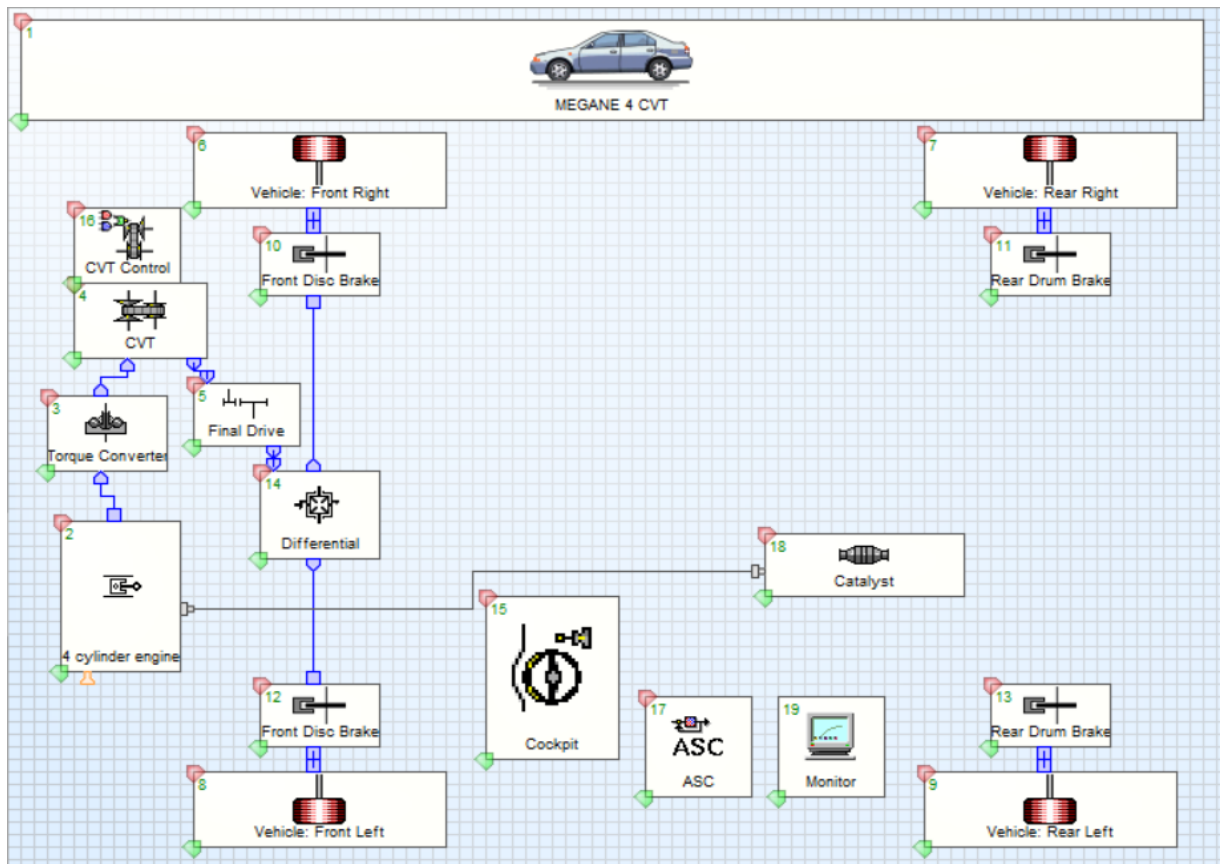


Fig. 22. Esquema vehículo con CVT en CRUISE

6.2 Modelado del recorrido

Para introducir en CRUISE las condiciones que va a recorrer el vehículo hay que hacerlo a través de la carpeta llamada Task Folder que está incluida dentro del directorio Project. El software nos pide introducir: (Suárez Sanz, 2016)

6.2.1 Weighting Factors

Distingue entre si la masa utilizada para la simulación es una masa fija o debe calcularse teniendo en cuenta la variación de las inercias a lo largo del experimento. Para el estudio que se quiere hacer en el presente trabajo esta opción ha sido desactivada.

6.2.2 Course

En este apartado lo que es necesario introducir son las condiciones que va a haber durante el ensayo, están condiciones son las siguientes: coeficientes de fricción, altitud, temperatura y humedad ambiental, límite de velocidad, densidad y presión del aire y velocidad del viento.

En el caso de este trabajo como lo que se pretende es hacer la comparación entre los dos modelos construidos, en este apartado lo que se ha hecho es no variar las condiciones, es decir, dejarlas como vienen predefinidas para que no influyan en la diferencia de resultados en los dos experimentos.

6.2.3 Profile

Es donde se introduce el perfil que tiene que seguir el vehículo en el experimento lanzado. Para este trabajo lo que se va a utilizar son dos tipos de recorrido predefinidos ya en el programa, el primero de ellos consiste en la máxima aceleración que puede desarrollar el vehículo hasta alcanzar su velocidad máxima. El segundo de los casos lo que se introduce es un ciclo predefinido, en este caso el WLTC que es el que se utiliza actualmente en la homologación de emisiones.

El ciclo WLTC sustituye al anterior NEDC y las principales características de este nuevo ciclo es que dura un tiempo de 30 minutos, se recorre una distancia de 23,262 km, se divide en cuatro tramos de baja, media, alta y muy alta velocidad, la velocidad media es de 46,5 km/h y la velocidad máxima de 130 km/h y las mediciones de CO₂ se realizan a una temperatura de 30° C. (Nicolas, 2013)

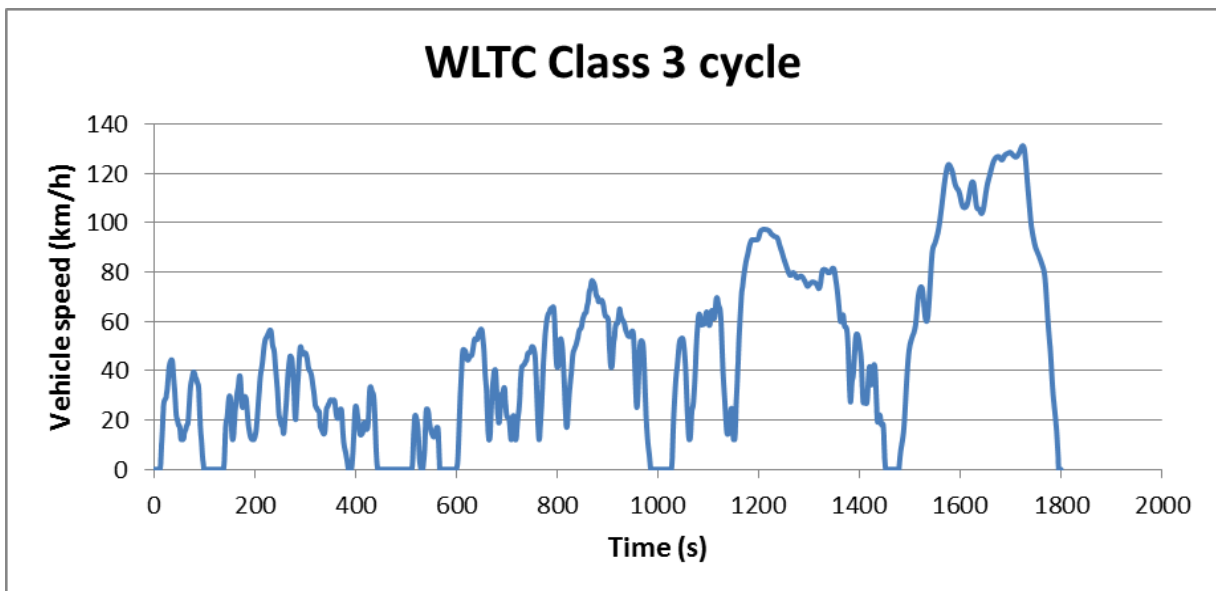


Fig. 23. Ciclo WLTC

Fuente: (Nicolas, 2013)

6.2.4 Driver

En este apartado lo que se introduce es el comportamiento del conductor del vehículo, es decir, diferentes parámetros como fuerza sobre los pedales, velocidad de salida del motor, tiempo de cambio de marcha en el caso de caja manual...

En el caso de este trabajo como lo que se desea es la comparación de los dos modelos construidos lo que se ha hecho es mantener los ajustes estándar de conducción normal con lo que se pretende que no introduzca una variación entre los dos modelos.

7 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS MISMOS

A partir de las dos simulaciones lanzadas a partir del software lo que se pretende es analizar los resultados de los dos modelos haciendo una comparación de ambos.

Para esta comparación CRUISE ofrece un gran número de resultados para cada experimento mediante una serie de gráficas o tablas, para el interés de este trabajo no se va a analizar y comparar los valores obtenidos en todas y cada una de las gráficas ya que muchas de ellas no son de interés en este campo que se trata. Con el objetivo de obtener una comparación más sencilla y visual se ha optado por exportar los datos de CRUISE a EXCEL para así, tras graficar, poder observar en una misma figura los resultados para el mismo parámetro de los dos modelos de coches construidos enfrentándose al mismo experimento en las mismas condiciones.

Primero se va a hacer la comparación de los resultados obtenidos de la prueba de aceleración de ambos vehículos y más tarde se verán los resultados de la aplicación del ciclo WLTC.

7.1 Prueba de aceleración

Para este experimento se configura la prueba para que el vehículo este siempre con el pedal de acelerador accionado a fondo y la caja de cambios tenga siempre una relación de máxima aceleración con lo que se consigue que el vehículo alcance su máxima velocidad en el mínimo tiempo posible.

7.1.1 Velocidad del vehículo

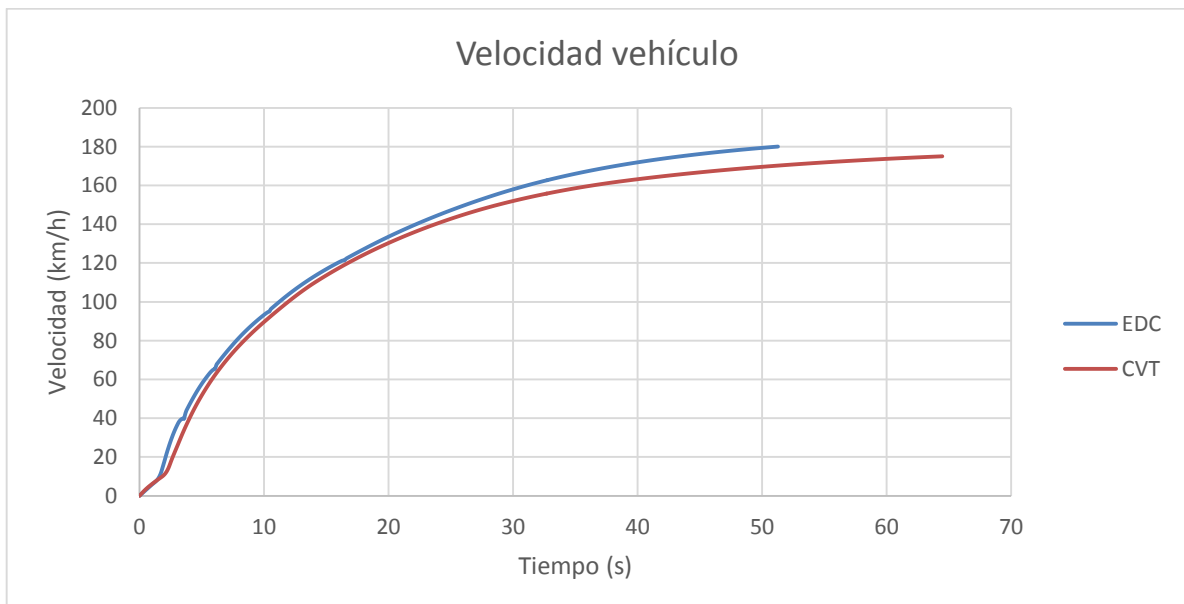


Fig. 24. Velocidad del vehículo en la prueba de aceleración

El vehículo con la caja de cambios CVT tarda 11,25 segundos en alcanzar la velocidad de 100 km/h mientras que el que tiene EDC tarda en alcanzar esta velocidad 11,95 segundos, sin embargo a la hora de alcanzar la máxima velocidad del vehículo el que tiene EDC tarda 51,28 segundos y alcanza 180 km/h mientras que el que tiene CVT tarda 64,47 y alcanza 176 km/h. Esta diferencia de velocidades

máximas entre los dos vehículos se debe a que los dos tienen relaciones de transmisión diferentes y a su vez como se verá más adelante a que los motores no están girando a la misma velocidad. La combinación de la diferente velocidad de giro del motor con la diferente relación de transmisión da como resultado una velocidad de las ruedas motrices diferente.

7.1.2 Aceleración del vehículo

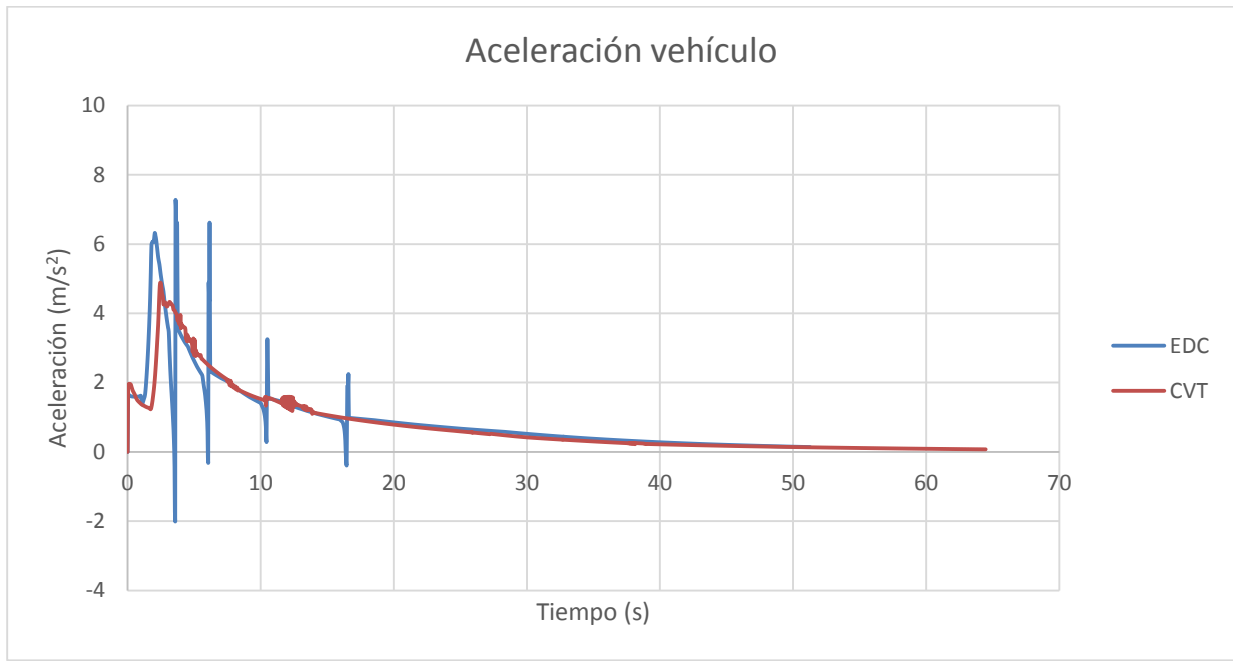


Fig. 25. Aceleración del vehículo en la prueba de aceleración

En esta gráfica se puede observar como cambia la aceleración entre los dos tipos de transmisión, en la EDC cada marcha alcanza una mayor aceleración mientras que la pierde por completo durante un breve instante de tiempo cuando hay un cambio de marcha, por otro lado la CVT alcanza aceleraciones menores pero siempre está acelerando, es decir, no hay nunca una pérdida de aceleración en el vehículo.

7.1.3 Potencia entregada por el vehículo

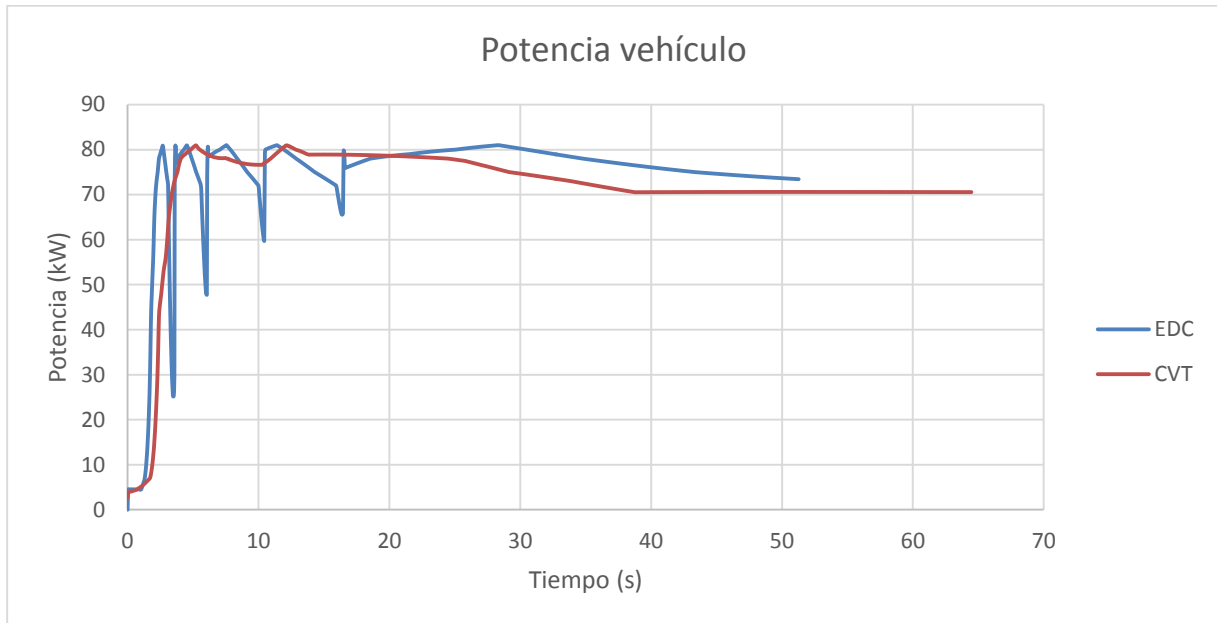


Fig. 26. Potencia del vehículo en la prueba de aceleración

En esta gráfica se puede observar como en un vehículo con caja de cambios CVT se tarda un tiempo en alcanzar una potencia máxima pero una vez que se alcanza esta se mantiene más o menos constante sin grandes variaciones, mientras que en el caso de la EDC la potencia máxima se alcanza antes pero siempre que hay un cambio de marchas esta potencia se baja considerablemente para posteriormente volver a subir hasta la potencia máxima.

7.1.4 Velocidad de giro del motor

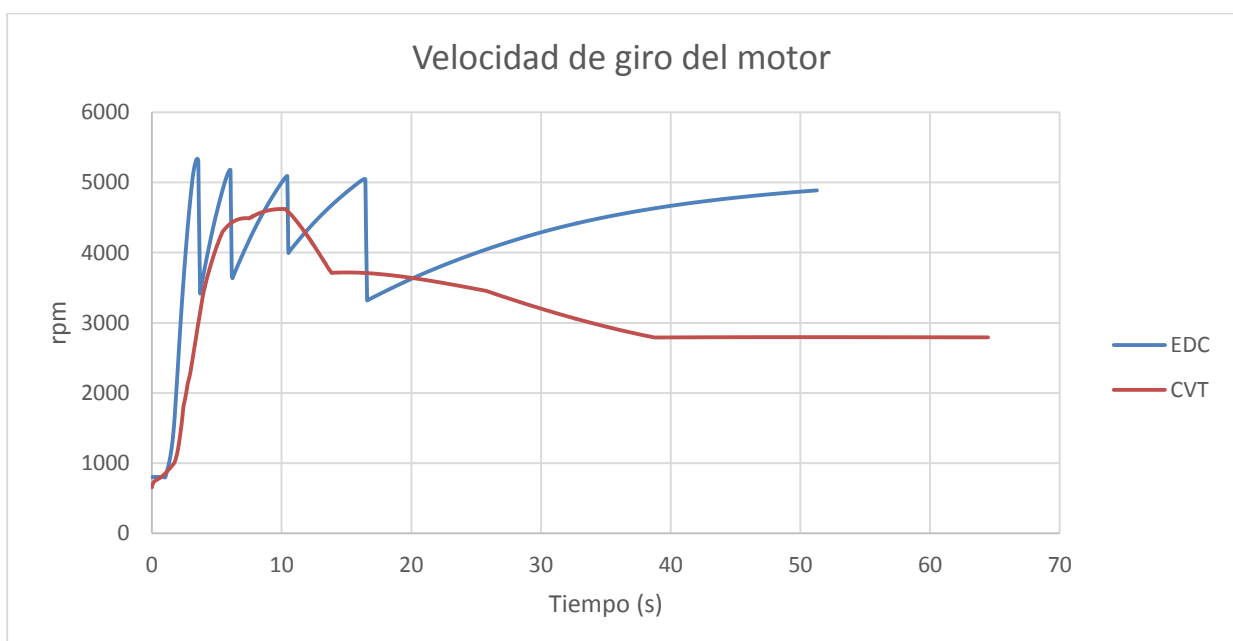


Fig. 27. Velocidad de giro del motor en la prueba de aceleración

Se puede ver como en la transmisión CVT el motor del vehículo alcanza una velocidad de giro máxima para posteriormente disminuir hasta una velocidad de giro constante que ya no sufre variaciones, por otro lado la transmisión EDC alcanza la velocidad de giro máxima en cada marcha para posteriormente cambiar de marcha y disminuir esta velocidad para seguir acelerando y subiendo las revoluciones. La CVT no necesita subir tanto de revoluciones el motor para llegar a velocidades máximas debido a su diferente relación de transmisión.

7.1.5 Ratio de transmisión del vehículo

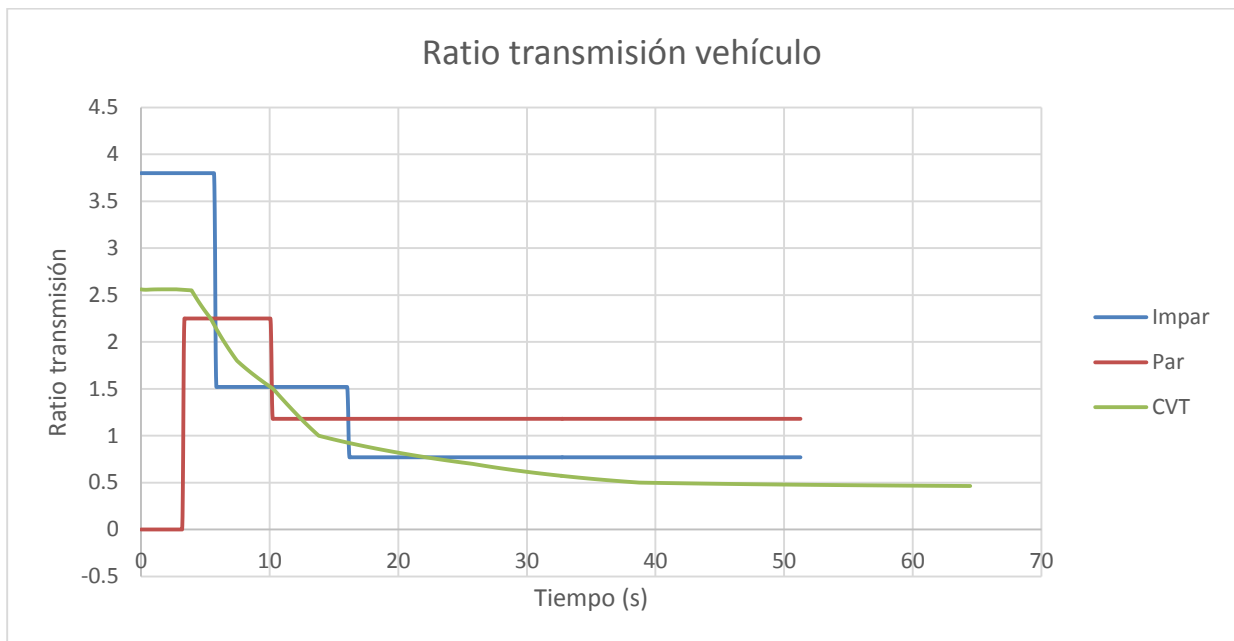


Fig. 28. Ratio de transmisión en la prueba de aceleración

En esta gráfica se observa como la primera marcha de la EDC tiene un ratio de transmisión más grande que el mayor ratio de transmisión de la CVT. En este caso el ratio de transmisión de la sexta marcha de la EDC no está representado debido a que en la prueba de máxima aceleración esta marcha no se utiliza ya que es una velocidad que únicamente se utiliza para ahorrar combustible y no para obtener mayor aceleración o mayor velocidad. También se puede ver como la EDC tiene saltos de relación de transmisión entre las marchas pares e impares mientras que la CVT tiene un cambio continuo de su relación de transmisión.

7.2 Ciclo WLTC

Para este experimento se configura la velocidad del vehículo para que este siga un ciclo preestablecido y posteriormente poder comparar los resultados obtenidos.

7.2.1 Velocidad del vehículo

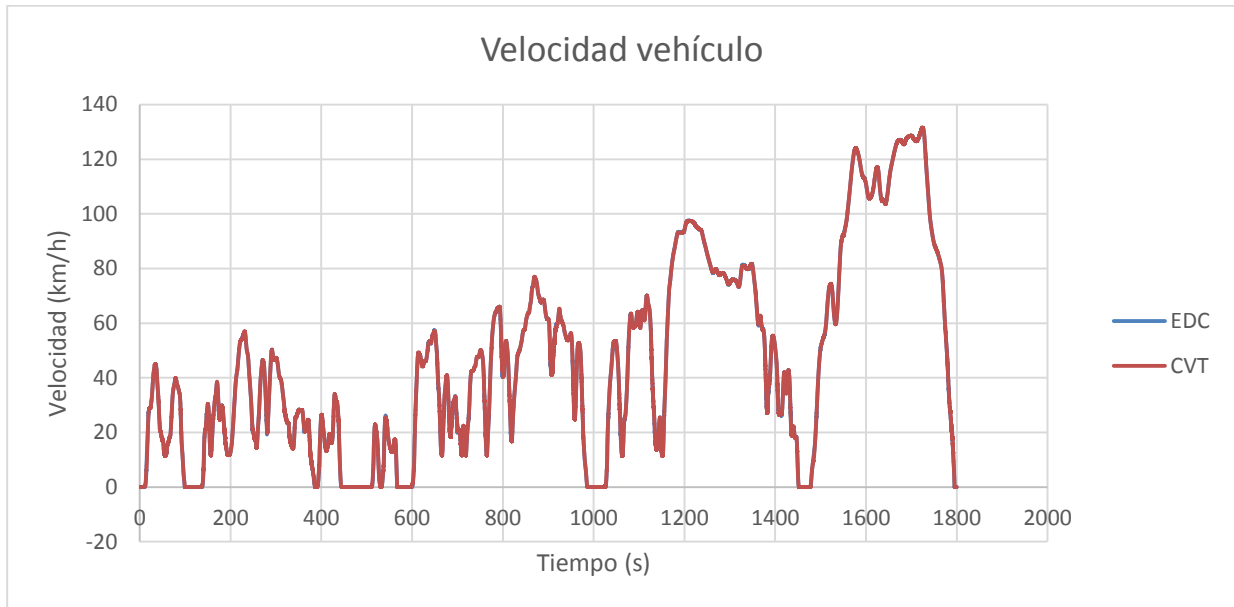


Fig. 29. Velocidad del vehículo en el ciclo WLTC

Se puede ver como ambos vehículos tienen la misma gráfica, una encima de otra, esto se debe a que están configurados para seguir la velocidad que establece el ciclo WLTC, por lo que esta gráfica no es más que la comprobación de que ambos vehículos han seguido el ciclo correctamente.

7.2.2 Consumo de combustible instantáneo del vehículo

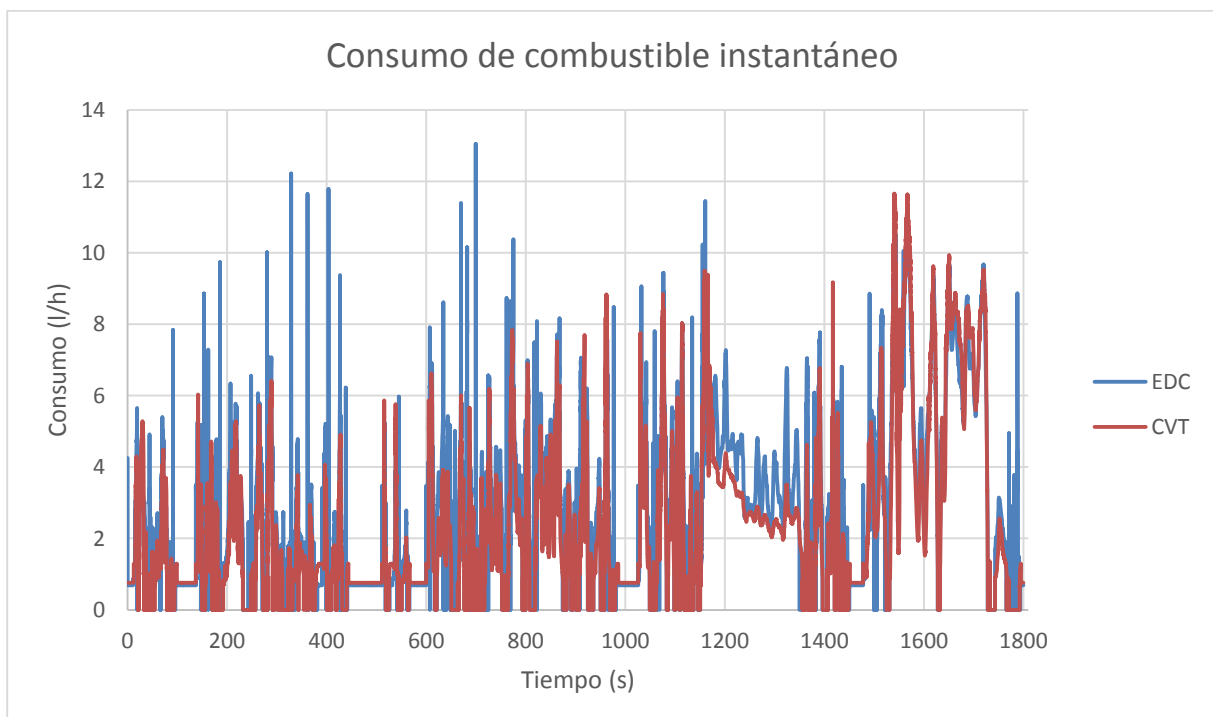


Fig. 30. Consumo de combustible instantáneo en el ciclo WLTC

Se puede observar como en la parte urbana del ciclo en consumo de combustible instantáneo del vehículo equipado con a transmisión EDC es mayor que el equipado con CVT, sin embargo, cuando el ciclo llega a la parte extraurbana los consumos de ambos tipos de transmisión son muy similares llegando incluso la CVT a tener consumos ligeramente mayores que la EDC. En las zonas del ciclo donde el vehículo se encuentra en reposo el consumo es ligeramente mayor en el vehículo con CVT, esto se debe a que el convertidor hidraulico de par esta constantemente transmitiendo par, no así como el vehículo con EDC que al desactivar los embragues no se transmite nada de par.

7.2.3 Consumo de combustible acumulado del vehículo

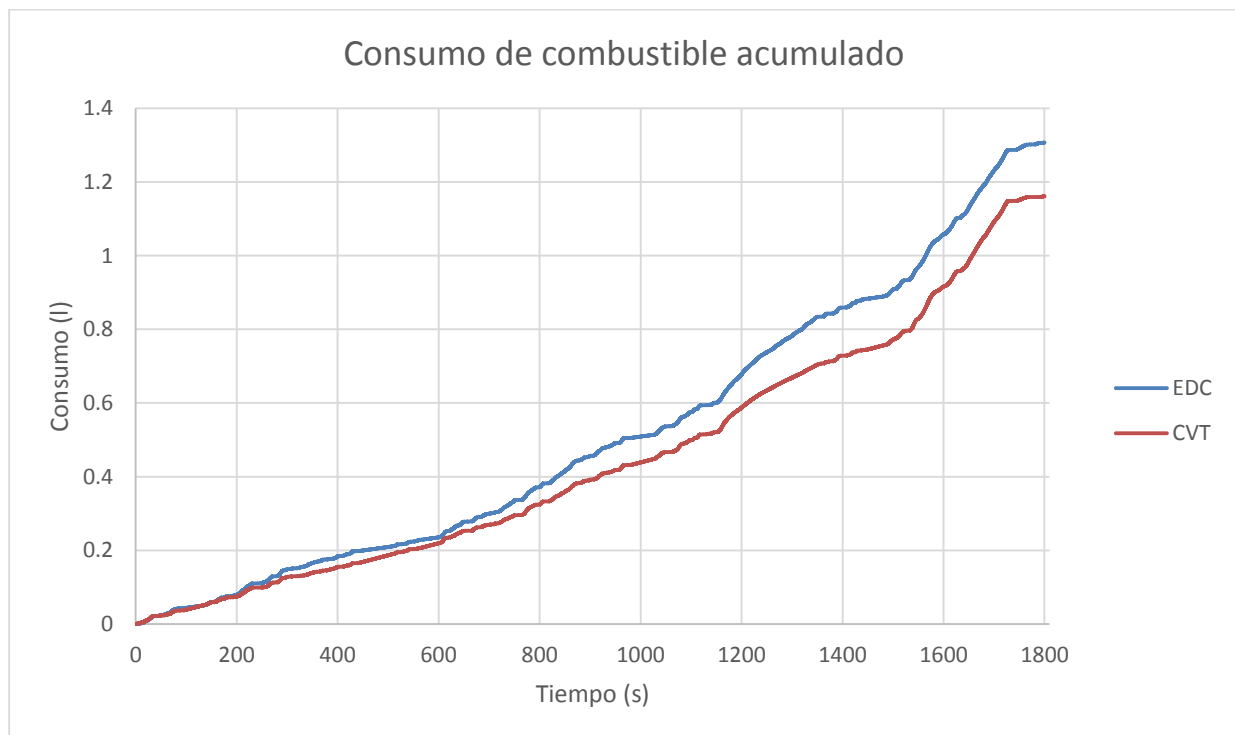


Fig. 31. Consumo de combustible acumulado en el ciclo WLTC

El vehículo con la transmisión EDC tiene un consumo de combustible total de todo el ciclo de 1,31 litros, lo que equivale a un consumo de 5,67 l/100km, mientras que el vehículo con la transmisión CVT ha tenido un consumo total de 1,16 litros, lo que equivale a un consumo de 4,98 l/100km.

7.2.4 Potencia entregada por el vehículo

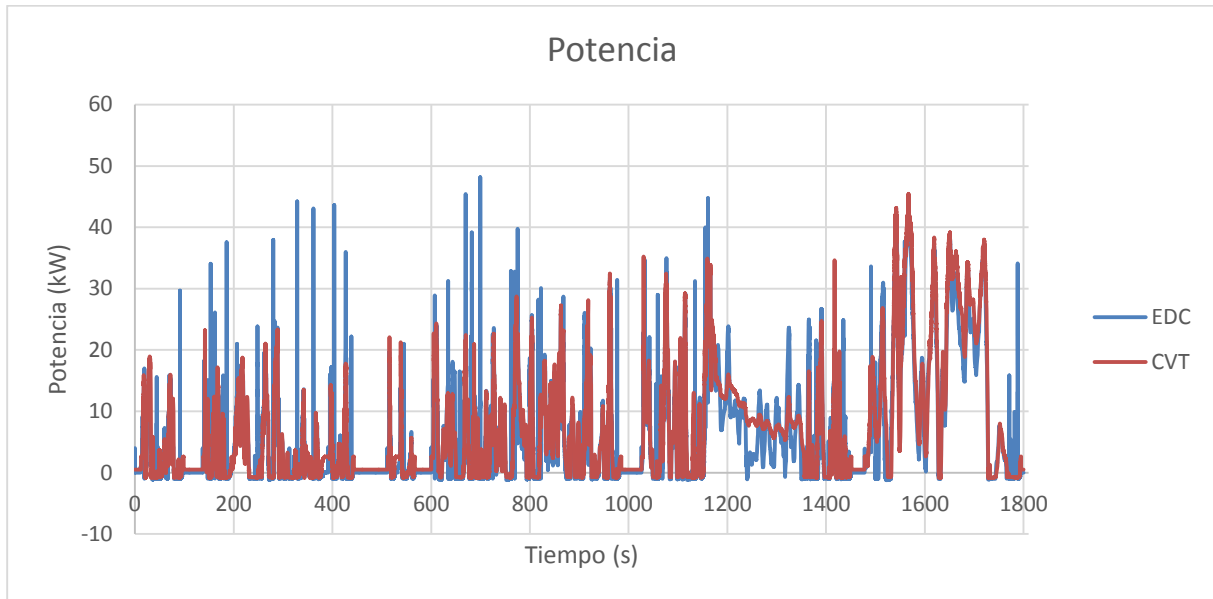


Fig. 32. Potencia entregada por el vehículo en el ciclo WLTC

En la parte urbana el vehículo equipado con la caja EDC entrega una potencia mayor mientras que en la parte extraurbana ambas potencia practicamente se igualan, llegando incluso a entregar ligeramente más potencia el vehículo con CVT. En las zonas donde el vehículo se encuentra parado el vehículo con EDC no entrega potencia mientras que el equipado con CVT su potencia es mínima pero no nula debido al consumo del embrague hidráulico.

7.2.5 Par entregado por el vehículo

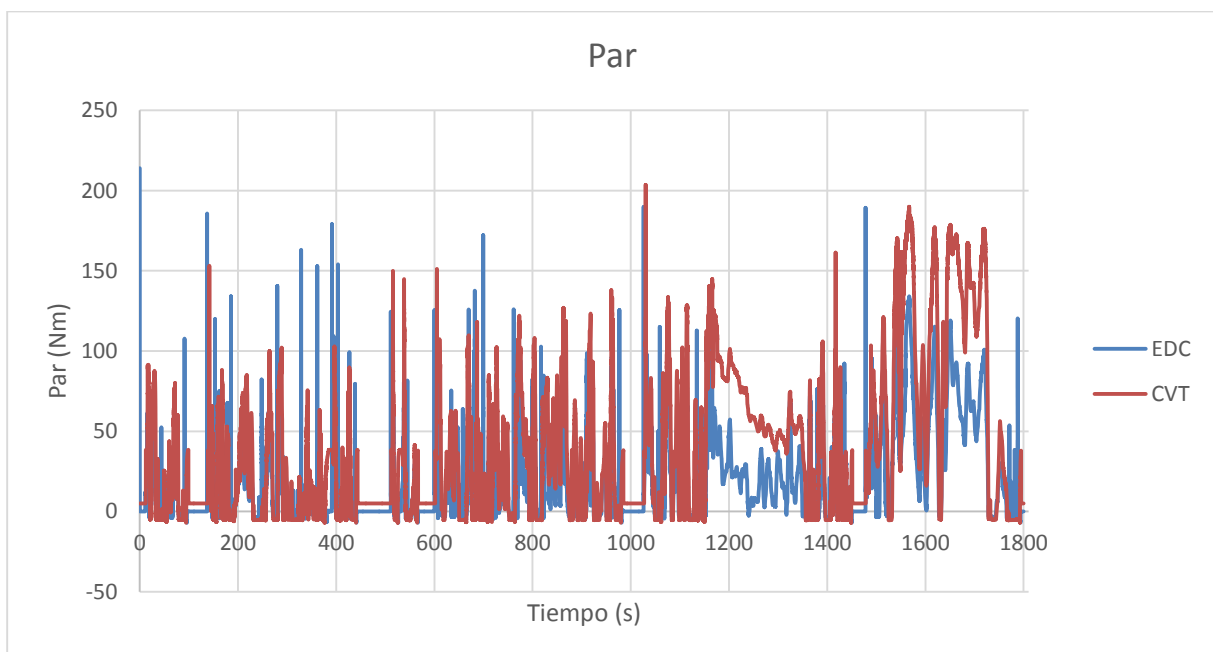


Fig. 33. Par entregado por el vehículo en el ciclo WLTC

En la parte urbana el par entregado por el vehículo con la caja EDC es mayor que la que entrega el vehículo con la caja CVT, cuando el ciclo pasa a la parte extraurbana este apartado se invierte y es el vehículo equipado con CVT el que entrega mayor par. Cuando el vehículo tiene velocidad nula el motor solo tiene que entregar par para vencer las pérdidas mecánicas esta es la razón por la cual el par entregado en el vehículo con CVT es mayor ya que tiene mayores pérdidas debido a que el embrague hidráulico siempre transmite cierto par.

7.2.6 Velocidad de giro del motor

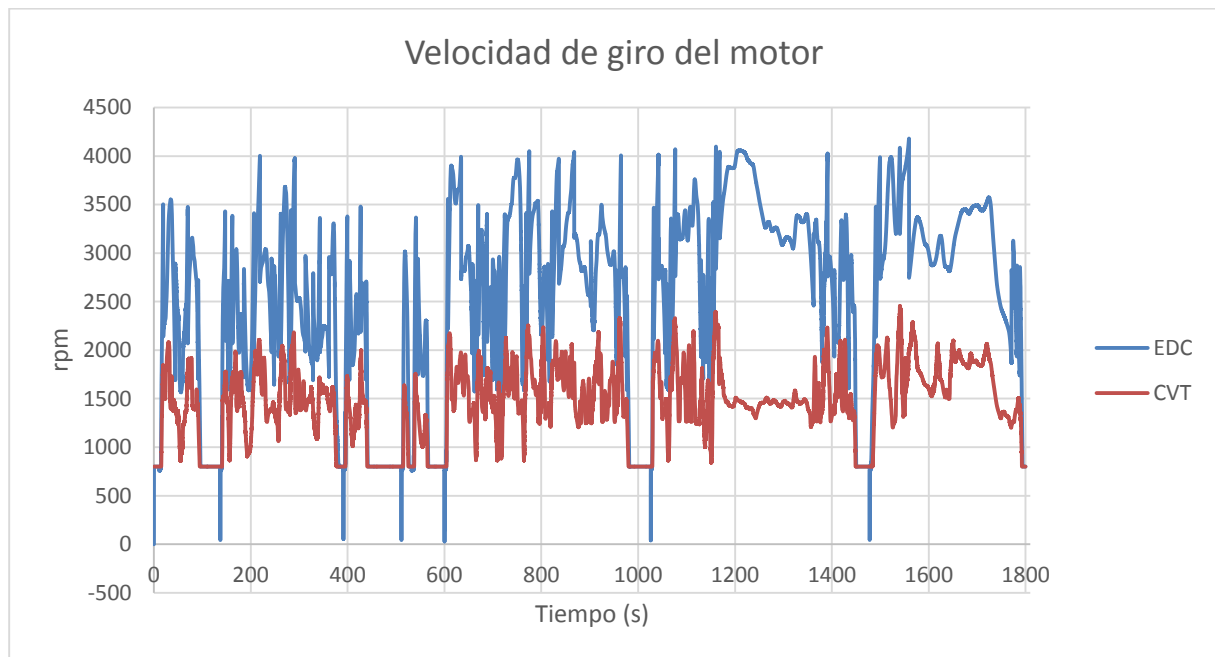


Fig. 34. Velocidad de giro del motor en el ciclo WLTC

El motor del vehículo con la transmisión EDC tiene unas variaciones de velocidad mucho mayores que el otro vehículo, esto se debe a que esta constantemente alcanzando altas revoluciones para cambiar de marcha y caer de revoluciones, sin embargo, en el vehículo con transmisión CVT la velocidad del motor es mucho más constante con una variación pequeña, esto se debe a que no hay cambio de marchas, sino un cambio en el ratio de transmisión continuo. Ambos vehículos tienen el mismo motor por lo que cuando el vehículo se encuentra en reposo la velocidad de giro será la velocidad de ralentí del motor que en el caso utilizado es de 800 rpm.

7.2.7 Emisiones instantáneas de NOx del motor

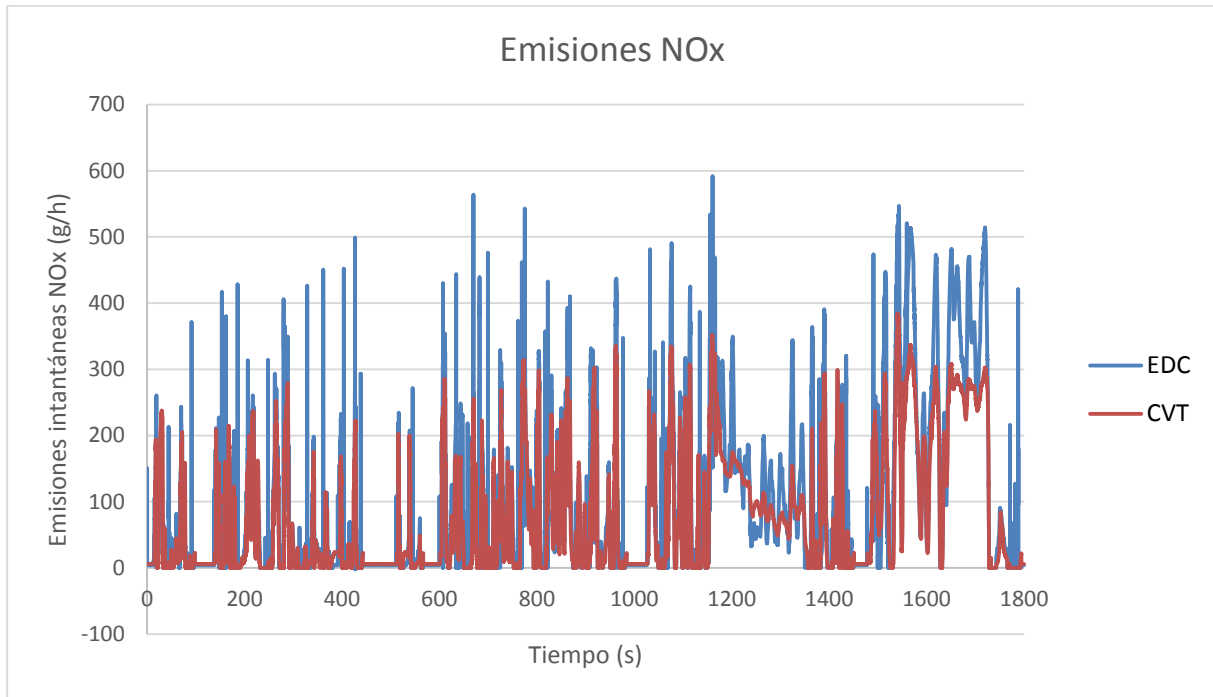


Fig. 35. Emisiones instantáneas de NOx del motor en el ciclo WLTC

Se puede observar como en todo el ciclo, tanto en la parte urbana como en la parte extraurbana las emisiones de NOx del vehículo equipado con la caja de cambios EDC son mayores que las que tiene el vehículo con la CVT.

7.2.8 Emisiones instantáneas de CO del motor

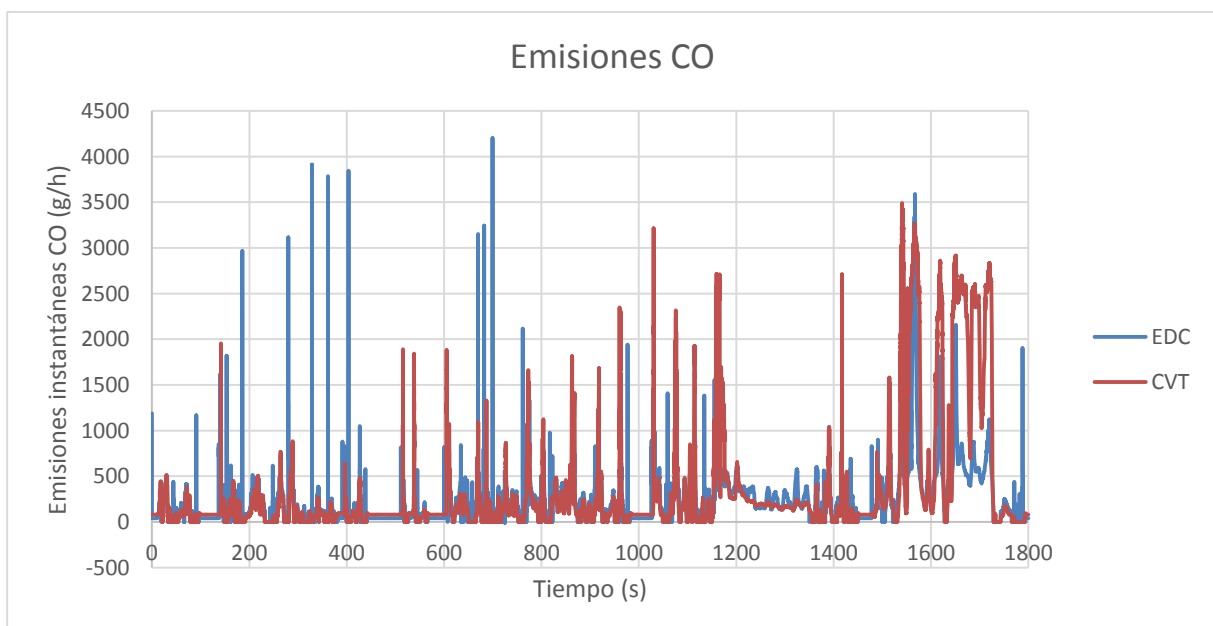


Fig. 36. Emisiones instantáneas de CO del motor en el ciclo WLTC

Se puede ver en el gráfico como en la parte urbana del ciclo ambos vehículos alternan zonas en las que uno tiene más emisiones y otras zonas en la que el otro es el que emite más, sin embargo, al pasar a la parte extraurbana tiene más emisiones de CO el vehículo con la CVT.

7.2.9 Emisiones instantáneas de HC del motor

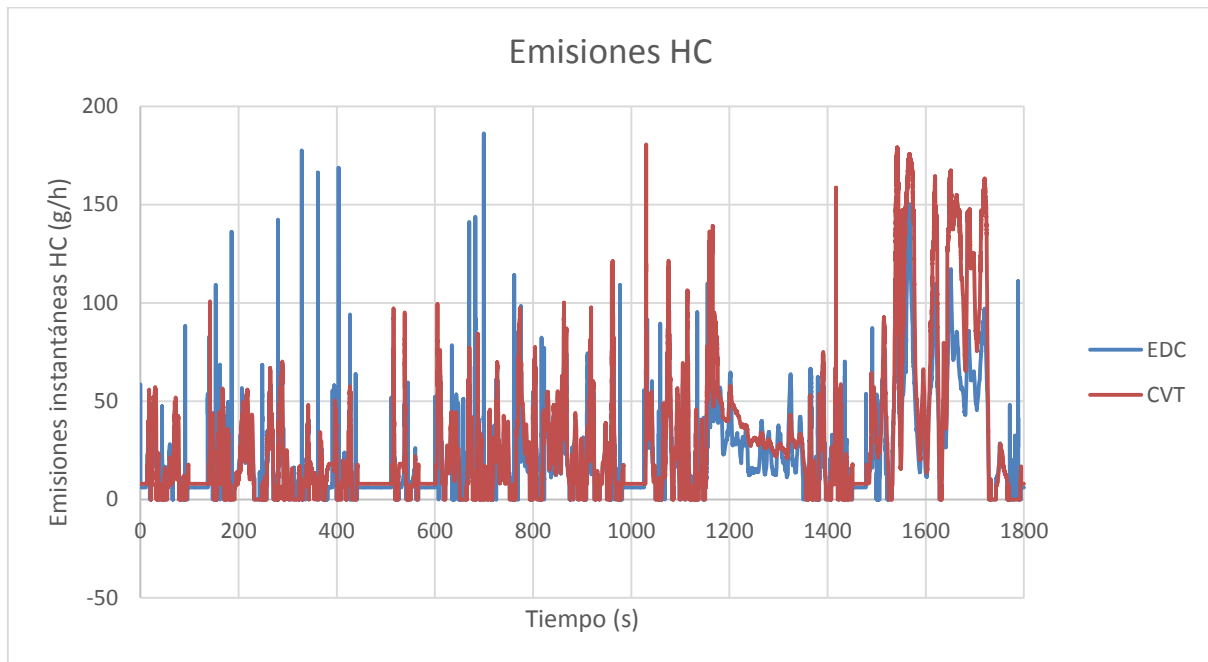


Fig. 37. Emisiones instantáneas de HC del motor en el ciclo WLTC

Se puede ver como en la parte urbana ambos vehículos intercalan zonas de mayores emisiones instantáneas de HC uno que otro, en cambio al pasar a la zona extraurbana es el vehículo equipado con la CVT el que más emite.

7.2.10 Emisiones acumuladas de NOx del motor

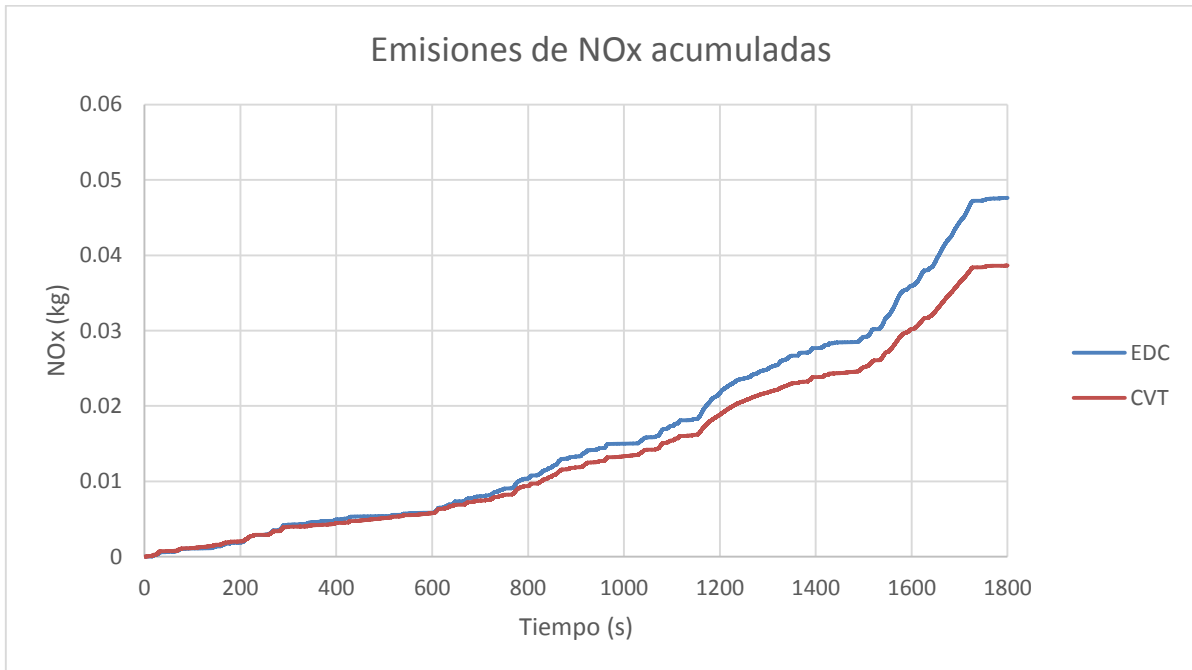


Fig. 38. Emisiones acumuladas de NOx del motor en el ciclo WLTC

La emisión de NOx del vehículo con EDC siempre está por encima del que tiene CVT, el primero emite en total $4,762 \cdot 10^{-2}$ kg de NOx lo que equivale a 2,046 g de NOx/km, el vehículo con CVT emite en total $3,865 \cdot 10^{-2}$ kg de NOx lo que equivale a 1,660 g de NOx/km.

7.2.11 Emisiones acumuladas de CO del motor

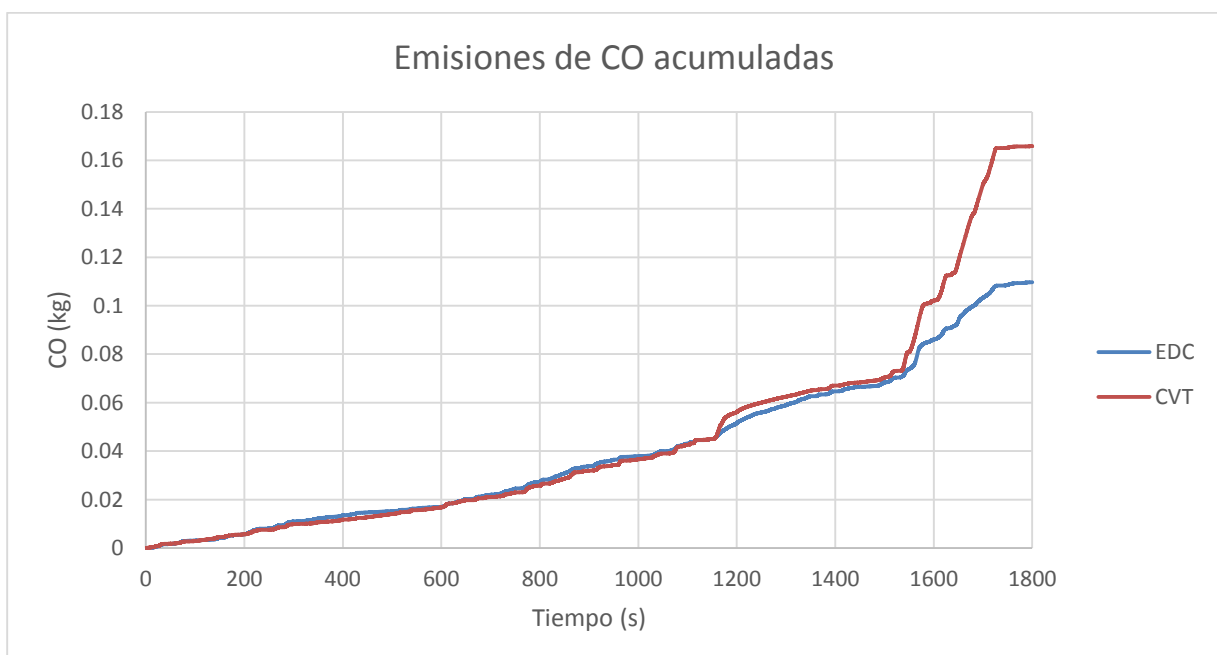


Fig. 39. Emisiones acumuladas de CO del motor en el ciclo WLTC

Las emisiones de CO de ambos vehículos son similares hasta que llega a la parte extraurbana donde el vehículo con CVT emite más que el otro. El vehículo con EDC emite durante todo el ciclo un total de 0,1097 kg de CO, lo que equivale a una emisión de 4,712 g de CO/km, el equipado con CVT emite durante todo el ciclo 0,1659 kg de CO, lo que equivale a una emisión de 7,127 g de CO/100 km.

7.2.12 Emisiones acumuladas de HC del motor

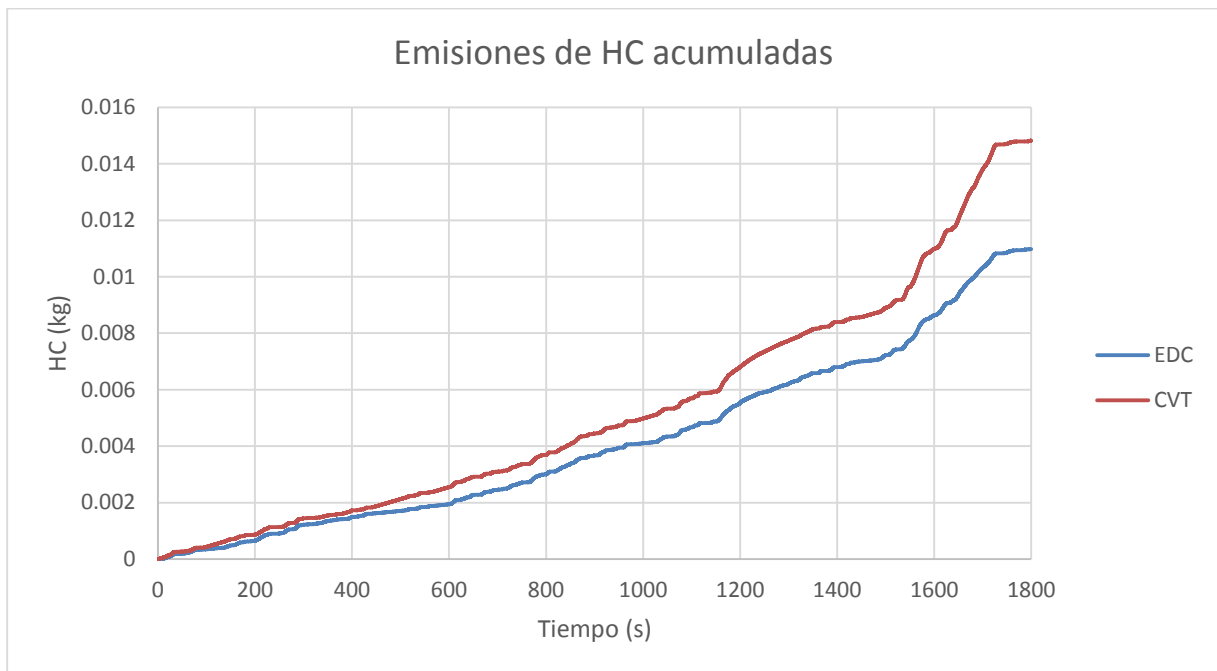


Fig. 40. Emisiones acumuladas de HC del motor en el ciclo WLTC

Las emisiones de HC del vehículo con CVT son durante todo el ciclo mayores que las del vehículo con la EDC. El vehículo con EDC emite en total $1,098 \cdot 10^{-2}$ kg de HC durante el ciclo, lo que equivale a 0,4717 g de HC/km, el vehículo con CVT emite en total $1,482 \cdot 10^{-2}$ kg de HC durante el ciclo, lo que equivale a 0,6366 g de HC/km.

8 CONCLUSIONES

8.1 Conclusiones.

Analizando todos los resultados obtenidos a través del software utilizado para la simulación de los dos vehículos se puede concluir que este programa permite hacer una comparación entre dos tipos de transmisiones automáticas utilizadas en el mismo vehículo para ver las diferencias que introduce en un automóvil un cambio de este calibre. La utilización de esta herramienta de simulación puede suponer en el desarrollo de un vehículo un gran ahorro de costes y de tiempo ya que permite una primera aproximación en la que no es necesario ni la construcción ni la experimentación mediante modelos físicos reales de vehículos.

Aunque es verdad que AVL CRUISE se basa en modelos y los resultados obtenidos de diferentes parámetros como consumos o emisiones contaminantes no tienen que ser valores totalmente reales, estos modelos pueden ser continuamente mejorados y después de varias iteraciones se pueden obtener valores de ellos que representen la realidad o se aproximen mucho a ella y conseguir resultados de la simulación prácticamente iguales a los obtenidos con un vehículo real. Por esta razón aunque CRUISE es una muy buena herramienta para la simulación en ciertas etapas del diseño o para las comparaciones del tipo a la que se han hecho en este trabajo, este software no puede sustituir completamente los ensayos sobre automóviles físicos que es a través de los cuales se obtienen datos reales y totalmente fiables a no ser que se trabaje con modelos totalmente probados y que representen el comportamiento del vehículo en las diferentes condiciones que se pretenden simular.

8.2 Principales aportaciones del autor del TFM

A partir de este trabajo se ha desarrollado una metodología a partir de la cual se puede comparar mediante CRUISE un mismo vehículo con las mismas características pero con dos tipos de transmisiones diferentes, esta misma metodología se puede utilizar tanto para cajas de cambio manuales como para cajas de cambio automáticas o para un mismo tipo introduciendo cambios en los ratios de transmisión de cada marcha para poder ver como esto afecta al comportamiento del vehículo, a su aceleración, consumo, emisiones, etc.

Se ha aprendido a utilizar un nuevo software como es AVL CRUISE del que no se tenía ningún conocimiento previo a la realización de este trabajo y que supone una potente herramienta para la simulación de vehículos. Para el aprendizaje de su funcionamiento se han utilizado tanto el manual del propio programa como otros trabajos previos en lo que se ha utilizado CRUISE, sin embargo, gran parte del conocimiento adquirido ha sido posible gracias a la utilización autodidacta y al ensayo-error de cada dato a introducir.

Se ha plasmado cómo funcionan dos tipos diferentes de cajas de cambio automáticas lo que puede ser de utilidad para futuras personas que quieran trabajar más en profundidad sobre este tipo de transmisiones, en este apartado ha sido de gran ayuda los conocimientos adquiridos en el Máster de Ingeniería de Automoción y la investigación propia a través de otros trabajos o diferentes artículos.

Una vez realizado todo este trabajo, tanto vehículos construidos, pruebas de aceleración, ciclos utilizados, transmisiones automáticas, simulaciones de los diferentes experimentos, cálculos realizados y resultados obtenidos queda todo a disposición de la Universidad de Valladolid para su análisis o uso en futuros trabajos con este programa.

8.3 Sugerencias para trabajos futuros

Las utilidades del software AVL CRUISE son muy grandes por lo que en cuanto a posibles trabajos futuros hay infinidad que se podrían realizar a partir de este programa.

Utilizando como guía este trabajo una interesante ampliación sería comparar los dos tipos de transmisiones que se han estudiado con todos los demás tipos de cajas de cambio automáticas que existen en el mercado, así como también se podría realizar la comparación con diferentes cajas de cambios manuales de diferentes fabricantes.

Otra trabajo futuro interesante sería el de someter los dos modelos de vehículo construido a la circulación dentro de un circuito de carreras o de un circuito urbano para tratar de obtener resultados de qué tipo de caja de cambios haría el vehículo más rápido en una competición.

Otra de las posibilidades que da CRUISE es la construcción de modelos híbridos y eléctricos ahora que la mayoría de los fabricantes están apostando por estos tipos de sistemas de propulsión sería interesante su estudio en las diferentes situaciones de circulación y su comparación con los vehículos con motor de combustión interna alternativos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aamco. (2015). *JF010 / 11E CVT Manual*.
- Aliaga Bereziartua, I., Anso Otaegi, I., Lasala García, J. de, & Manso García, E. (n.d.). *Transportes: Cajas de cambio automáticas*.
- Alzallú Soriano, J. A. (2016a). *Introducción a las cajas de cambio manuales en los automóviles*, 98–103.
- Alzallú Soriano, J. A. (2016b). *Tipos de cajas de cambio automáticas*. Publicaciones Didacticas.
- Colonna, W., Luban, P., Campbell, G., & Wickham, C. (2012). *6DCT450/470 Getrag Transmission*.
- Ford. (2014). *6 DCT 450*.
- Getrag. (2007). *Large FWD Dual-Clutch Transmission 6DCT451*.
- Guisasola, Í. (n.d.). *Estudio de una CVT*.
- Km77. (2017). Renault Mégane Berlina Zen Energy dCi 81 kW (110 CV) (2015) _ Precio y ficha técnica -km77. <https://www.km77.com/coches/renault/megane/2016/berlina/zen/megane-berlina-zen-energy-dci-110-edc/datos>, página consultada entre octubre y diciembre 2017.
- Martínez Rodríguez, J. (2016). *Optimización de las relaciones de transmisión de un vehículo de competición utilizando el software AVL CRUISE*, Trabajo Fin de Máster, Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Valladolid.
- Nicolas, R. (2013). The different driving cycles. <http://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/>, página consultada entre octubre 2017 y diciembre 2018.
- Nissan. (2003). *Xtronic cvt*.
- Nissan. (2012). *Xtronic CVT. Technology Overview*.
- Powertrain, R. (n.d.). *K9K 1.5 dCi*. Renault.
- Ramos Gil, P., Borge Martínez, F., & Rodríguez Celador, J. (2017). *Cajas de cambio robotizadas de doble embrague*. Trabajo de la asignatura Seguridad Activa. Máster en Ingeniería de Automoción, UVA, Valladolid.
- Retana Jiménez, I. (2007). *Transferencia tecnológica sobre las nuevas tecnologías aplicadas en las cajas de velocidades utilizadas en los vehículos livianos*, Instituto Nacional de Aprendizaje.
- Suárez Sanz, M. (2016). *Simulación de comportamiento vehicular con AVL CRUISE*, Trabajo Fin de Máster, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid.
- Volkswagen. (2010). *Cambio automático DSG 02E*.