

Proyecto Fin de Grado

Ingeniería de Tecnologías Industriales

Ensayo en banco de una caja de cambios

Autor: Alejandro Alberdi Acedo

Tutor: Francisco José Morales Sánchez, Francisco García Benítez

**Dpto. Ingeniería y Ciencia de los Materiales y el
Transporte**

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2019



Proyecto Fin de Grado
Ingeniería de Tecnologías Industriales

Ensayo en banco de una caja de cambios

Autor:

Alejandro Alberdi Acedo

Tutor:

Francisco José Morales Sánchez

Francisco García Benítez

Dpto. de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Proyecto Fin de Grado: Ensayo en banco de una caja de cambios

Autor: Alejandro Alberdi Acedo

Tutor: Francisco José Morales Sánchez
Francisco García Benítez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

A mi familia y amigos

A mis tutores y maestros

Agradecimientos

En primer lugar, quiero darle gracias a mi familia, especialmente a mis padres por acompañarme y apoyarme a lo largo de una carrera llena de dificultades, que culmina con la realización de este trabajo.

Gracias a mis amigos, en especial a mi compañero Ángel, que ha vivido esta experiencia durante estos años a mi lado y ha estado siempre presente en los mejores y en los peores momentos.

Gracias a los profesores que han dedicado parte su tiempo a ayudarme, gracias a Francisco García Benítez por darme la oportunidad de hacer este proyecto, que espero que sea el primer paso de una carrera dentro del campo de estudio al que siempre me he querido dedicar.

Por último, agradecer a Francisco Morales por los conocimientos transmitidos, su paciencia y cercanía mostrada en todo momento y la constante disponibilidad durante todo el curso. Ha sido un placer trabajar contigo.

Resumen

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo el análisis de datos obtenidos a partir del ensayo de un sistema de transmisión en el banco de ensayos del laboratorio, realizado mediante programación en MATLAB. Obteniendo de éste los datos necesarios para definir y analizar el comportamiento del sistema de transmisión.

Además, se definirá el protocolo de ensayo empleado, definiendo los pasos a seguir durante éste, y teniendo en cuenta así los esfuerzos máximos a los que el freno motor será sometido durante el mismo.

Abstract

The aim of this paper is data analysis of the mechanical test of a transmission system executed in the laboratory test bench with MATLAB. Thereby necessary data will be obtained to determine the transmission system.

Likewise, the used testing protocol will be determined, which will determine the steps to be taken in the process and the mechanical forces suffered by the brake during the test.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xix
1 Introducción	1
1.1 <i>Ensayo de transmisiones en banco</i>	1
1.2 <i>Elementos básicos del banco</i>	2
1.3 <i>Obtención de datos experimentales</i>	2
1.4 <i>Banco de ensayos objetivo del proyecto</i>	3
2 Fundamentos teóricos: Transmisión	6
2.1 <i>Tipos de transmisión</i>	8
2.2 <i>Curva de potencia y par motor</i>	9
2.3 <i>Transmisión mecánica</i>	10
3 Análisis de datos	11
3.1 <i>Condiciones de partida</i>	11
3.2 <i>Filtrado de señales</i>	12
3.2.1 <i>Función <i>filter</i> en Matlab</i>	14
3.2.2 <i>Señales filtradas del ensayo en el prototipo</i>	14
3.3 <i>Metodología de trabajo</i>	16
3.3.1 <i>Estudio de las señales punto a punto</i>	17
3.3.2 <i>Segmentación de las variables de ensayo</i>	19
3.4 <i>Resultados del ensayo del prototipo</i>	20
3.5 <i>Aplicación del programa al banco de ensayos del laboratorio</i>	22
3.5.1 <i>Primer ensayo: 1ª Marcha con variación de velocidad y salida libre</i>	23
3.5.2 <i>Segundo ensayo: 2ª Marcha con variación de par y velocidad</i>	26
4 Protocolo de ensayo	30
4.1 <i>Definición del protocolo elegido</i>	30
4.2 <i>Aplicación a un modelo real</i>	31
4.3 <i>Resultado del protocolo de ensayo ejemplo</i>	33
5 Conclusiones	37
6 Futuras líneas de ampliación	38
Anexo A: Manual de usuario	39
<i>Manual de usuario: Programa de análisis</i>	39
<i>Manual de usuario: Programa de protocolo de ensayo</i>	40
Referencias	43

ÍNDICE DE TABLAS

1. Comparativa de resultados definitivos frente a los obtenidos mediante el método punto a punto	22
2. Relaciones de transmisión del modelo ejemplo	31
3. Puntos que definirán la curva de par del motor ejemplo	32
4. Protocolo de ensayo ejemplo en primera marcha, 3x6	34
5. Protocolo de ensayo ejemplo en primera marcha, 6x6	34
6. Protocolo de ensayo ejemplo en segunda marcha, 6x6	35
7. Protocolo de ensayo ejemplo en tercera marcha, 6x6	35
8. Protocolo de ensayo ejemplo en cuarta marcha, 6x6	36
9. Protocolo de ensayo ejemplo en quinta marcha, 6x6	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sensor de torsión utilizado en el laboratorio de la escuela	3
Figura 2. Banco de ensayos (Motor eléctrico y torsímetro de entrada)	3
Figura 3. Banco de ensayos (Torsímetro de salida, reductora adicional y freno motor)	4
Figura 4. Banco de ensayos (Torsímetro de salida)	4
Figura 5. Curva de par motor Daewoo Matiz	6
Figura 6. Par frente a velocidad a la salida de la transmisión	7
Figura 7. Esquema de vehículo híbrido con motor eléctrico y caja mecánica	7
Figura 8. Sistema de transmisión hidrostática	8
Figura 9. Curvas de potencia y par motor del Daewoo Matiz	9
Figura 10. Ejemplo caja de cambios manual	10
Figura 11. Ejemplo caja de cambios automática	11
Figura 12. Señal de velocidad de entrada sin filtrar	12
Figura 13. Señal velocidad de entrada con filtro para velocidades menores a 30 rpm	12
Figura 14. Comparativa de velocidades angulares con filtro de puesta en marcha	13
Figura 15. Comparativa de pares con filtro de puesta en marcha	13
Figura 16. Velocidades de entrada y salida filtradas frente a no filtradas	14
Figura 17. Par de entrada con filtrado grueso	15
Figura 18. Par de entrada con filtrado fino	15
Figura 19. Par de salida con filtrado grueso	16
Figura 20. Par de salida con filtrado fino	16
Figura 21. Señal de velocidad de entrada recogida en el ensayo del prototipo	17
Figura 22. Relaciones de transmisión (punto a punto)	18
Figura 23. Rendimiento frente a velocidad de entrada (punto a punto)	18
Figura 24. Rendimiento frente a relaciones de transmisión discretizadas (punto a punto)	19
Figura 25. Segmentación del ensayo del prototipo	20
Figura 26. Relaciones de transmisión mediante segmentación	21
Figura 27. Rendimiento frente a relaciones de transmisión mediante segmentación	21
Figura 28. Rendimiento frente a velocidad de entrada mediante segmentación	21
Figura 29. Banco de ensayos previo al ensayo de prueba realizado	22
Figura 30. Segmentación del primer ensayo	23
Figura 31. Potencias del primer ensayo	24
Figura 32. Relación de transmisión del primer ensayo	24
Figura 33. Rendimiento frente a la velocidad de entrada para el segmento recogido	25
Figura 34. Rendimiento continuo del primer ensayo	25

Figura 35. Velocidades durante el ensayo	26
Figura 36. Pares durante el ensayo	26
Figura 37. Potencias durante el ensayo	27
Figura 38. Segmentación del segundo ensayo	27
Figura 39. Relaciones de transmisión en el segundo ensayo	28
Figura 40. Rendimiento frente a velocidades de entrada	28
Figura 41. Rendimiento continuo del segundo ensayo	29
Figura 42. Curva de par proporcionada por el fabricante.	31
Figura 43. Curva de par motor Daewoo 0.8, polinomio de grado 3	32
Figura 44. Curva de par motor Daewoo 0.8, polinomio de grado 4	32
Figura 45. Curva de par motor Daewoo 0.8, polinomio de grado 5	33
Figura 46. Curva de par máximo etras las distintas relaciones de transmisión	33

1 INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo el ensayo y análisis de datos de una caja de cambios en el banco de ensayos del laboratorio de la facultad. Para ello, se ha estudiado tanto la metodología y parámetros del ensayo necesarios mediante un protocolo de ensayo, como la recogida y análisis de datos de salida para el estudio del sistema mediante un programa en Matlab. A partir de este trabajo será posible definir los valores límite a los que el freno motor será sometido, teniendo en cuenta los distintos ensayos a realizar, entre los cuales se incluirán aquellos que proporcionen una mayor información. Este protocolo de ensayo permitirá plantear las distintas fases del ensayo completo con las que finalmente se analizará y definirá la caja de cambios objeto de estudio. Tras la recogida de datos el programa en Matlab permitirá filtrar las señales, calcular los distintos parámetros buscados y graficar los resultados, todo de manera automática. Obteniendo finalmente la definición completa del sistema, dando paso así a plantear las conclusiones correspondientes. La particularidad del programa reside en la capacidad de segmentación de datos, que permite realizar un ensayo completo de manera continua, en busca de una mayor facilidad operativa y porque, como el banco permite automatizar un ensayo, se podría hacer el ensayo de la transmisión de forma destendida en cada marcha.

Los principales objetivos que definen el proyecto son los siguientes:

- Programar el filtrado y análisis de las señales de salida del ensayo en vistas a definir los parámetros de la caja de cambios.
- Optimizar el procedimiento de ensayo, adaptando el programa a un ensayo genérico.
- Realizar el protocolo de ensayo correspondiente, fijando los parámetros de éste acorde al banco de ensayos del laboratorio y a la transmisión particular a ensayar.

1.1 Ensayo de transmisiones en banco

El objetivo del ensayo de un sistema de transmisión, al igual que el de cualquier otro ensayo, se basa en tener la posibilidad de probar de manera controlada el funcionamiento del sistema. Este ensayo debe permitir variar el punto de funcionamiento en un rango completo, con el fin de analizar de la forma más próxima a la realidad su comportamiento ante cualquier situación a la que puede ser destinada. Los distintos enfoques que pueden tomar estos ensayos pueden ser la durabilidad de la caja y sus prestaciones.

Por lo tanto, en cuanto al principal objetivo de este tipo de ensayos se encuentra la validación de un diseño previamente a su producción. Así se asegura en cierta medida el correcto funcionamiento de la misma a la hora de trabajar en situaciones reales, donde formará parte de un complejo sistema que en el cual sería más complicado diagnosticar, si fuera el caso, algún comportamiento anómalo no esperado en la caja.

De esta manera, el ensayo en banco de la transmisión ahorrará tiempo y reducirá a cero un posible peligro en la vía pública y para el conductor. Este banco dispondrá de un motor que permite llevar la transmisión elegida al punto de funcionamiento deseado, tanto en velocidad como en par. Además de disponer de un generador de par resistivo a la salida para la simulación de situaciones reales.

1.2 Elementos básicos del banco

En un banco de ensayos para cajas de cambio se debe partir de los elementos previamente mencionados: un generador de potencia a la entrada y un generador de par resistente a la salida o freno. De esta manera se podrá encontrar una extensa variedad de posibilidades en el mercado para los distintos elementos. El desarrollo de esta sección se basa en la información recogida por Castro Sánchez. J. (2010). *Diseño de un banco de pruebas*. (Trabajo de Grado). En el primero de los casos se tendrán en cuenta los siguientes tipos:

- Motor de combustión interna: utilizado en la mayoría de los vehículos. Supodría aproximar enormemente el ensayo al comportamiento real de una caja de cambios ante la respuesta de este tipo de plantas de potencia. Sin embargo, sería necesario afrontar su complejidad, coste y emisiones nocivas.
- Motor eléctrico de corriente continua: esta opción resulta interesante desde el punto de vista de su sencillez y la amplia gama de potencias que ofrece. Sin embargo, en el factor calidad-precio se encuentran actualmente mejores oportunidades en los motores de corriente alterna.
- Motor eléctrico de corriente alterna: ofrece las características requeridas, son limpios y tienen un amplio rango de funcionamiento. En este caso se optará por los motores asíncronos, ya que tienen mayor rango útil que los motores síncronos.

De la misma manera, se encuentran distintas posibilidades en la elección de un sistema de frenado a la salida, donde a continuación se numeran los más importantes:

- Freno hidráulico: frenado a partir de la presión ejercida por un fluido incompresible.
- Freno mecánico: frenado a partir de un mecanismo que genera rozamiento sobre el eje.
- Freno eléctrico: frenado a partir de un campo magnético generado que se opone al giro mecánico del eje. Este tipo de freno solventa el desgaste producido sobre las pastillas o mordazas en los frenos anteriores, ya que no existe contacto en el frenado del eje.

1.3 Obtención de datos experimentales

Para la realización del ensayo y el procesamiento de datos es necesario medir experimentalmente los pares y velocidades angulares del sistema mediante el uso de sensores de par y velocidad respectivamente. Como fuente de información en este caso se ha utilizado la web de la empresa proveedora de sensores de medida *SENSING*. Recuperado de <https://sensores-de-medida.es/medicion/sensores-y-transductores/sensores-de-par-y-torsion/>.

De esta manera, el sensor de par funciona a partir de la medición de la deformación de una estructura piezoresistiva. La deflexión genera una tensión que traduce una variación mecánica en una eléctrica. Este elemento parte de un eje instrumentado colocado entre fuente y carga de manera que reciba el par que se necesita medir. Dentro de los sensores de par dinámicos se pueden encontrar de diferentes tipos, entre ellos con o sin escobillas o anillos rozantes. A continuación, la Figura 1 muestra uno de los torsímetros utilizados en el banco de ensayos.

En el caso del sensor de velocidad se calcula la variación con respecto al tiempo de la información recogida por un sensor de posición. La adquisición de estos datos puede ser llevada a cabo mediante métodos diferentes, entre los que se pueden encontrar la adquisición magnética o la óptica. En el caso del banco de ensayos objetivo del proyecto se cuenta con la utilización de sensores de tipo óptico. Estos sensores cuentan con una fuente emisora que en el caso del laboratorio emitirá luz infraroja y un fotoreceptor que recogerá los pulsos correspondientes a esta luz. En este caso emisor y receptor se encuentran separados por un disco metálico ranurado, con el que se discretizará la recepción de la luz emitida, midiendo las variaciones de posición mediante el número de pulsos correspondientes. Este método de adquisición de datos suele ser de gran seguridad y precisión.

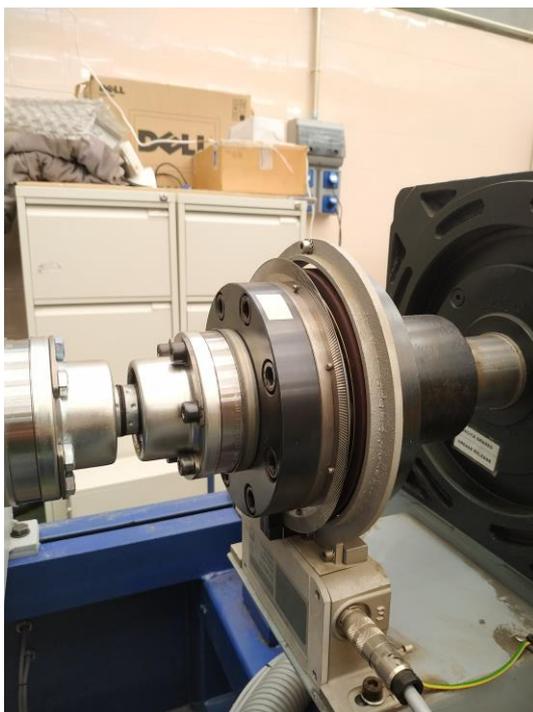


Figura 1. Sensor de torsión utilizado en el laboratorio de la escuela

1.4 Banco de ensayos objetivo del proyecto

El proyecto irá enfocado a la realización de ensayos en la caja de cambios manual adquirida recientemente en el Laboratorio de Transportes y Automóviles en la Escuela Superior de Ingeniería. La cual ha requerido una adaptación al banco de ensayos existente. A pesar de ello, el presente proyecto podría aplicarse mediante una simple adaptación al ensayo de una CVT.

El sistema empleado contará con un motor eléctrico que se encargará de suministrar la potencia mecánica que requiera el ensayo correspondiente, la recientemente adquirida transmisión manual y un freno motor a la salida, tras una última reductora, que simulará las fuerzas resistivas a la que se verá sometido el vehículo.



Figura 2. Banco de ensayos (Motor eléctrico y torsímetro de entrada)



Figura 3. Banco de ensayos (Torsímetro de salida, reductora adicional y freno motor)



Figura 4. Banco de ensayos (Torsímetro de salida)

Las especificaciones del banco de ensayos presente en el Laboratorio de Transportes y Automóviles son las siguientes. Será crucial tenerlas en cuenta a la hora de realizar el protocolo de ensayo, ya que al superar los valores máximos de la misma de podría producir algún fallo en el sistema, así como una toma de datos incorrecta.

Motor de accionamiento:

Par nominal: 425.6 Nm

Rpm máx: 6500

Rpm nominal: 3480

Torsímetro entrada:

Par: 1000 Nm

RPM máx: 12000

Torsímetro de salida:

Par: 5000 Nm

RPM máx: 8000

Reductora previa al freno motor 1.78:1.

Freno:

Par nominal: 3414 Nm

Rpm máx: 4800

Rpm nominal: 705

Más adelante se comprobará que sus especificaciones son suficientes para el ensayo del vehículo ejemplo, ya que como se podrá comprobar en ningún momento serán superados en el ensayo los valores límite de velocidad o par.

Será interesante en un futuro conocer la gama de modelos a los que pueda estar limitado este banco de ensayos y sus distintas componentes.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS: TRANSMISIÓN

Todo automóvil posee una fuente de potencia que le dota de propulsión para el movimiento, en el caso a estudiar se cuenta con un motor de combustión interna, ya sea diésel o de gasolina. Este motor tiene un rango de velocidades y par muy limitado, por lo que no sería capaz de afrontar una serie de situaciones que requieren rangos más amplios. Por lo que el sistema de transmisión de giro del motor a las ruedas necesitará de elementos intermedios que le permitan afrontar las distintas situaciones.

Por ejemplo, en la etapa de puesta en marcha, en el caso de cambios bruscos de aceleración o subida de pendientes existirán grandes fuerzas resistivas debido a las fuerzas de inercia en el vehículo o la componente debida al peso en el tercer caso, lo que podría generar un par resistente al motor superior al que éste es capaz de producir. Sin embargo, en el caso de circular por autopista en el que la inercia juega a su favor, el motor sería incapaz de alcanzar las revoluciones por minuto necesarias para circular a una velocidad que llega a alcanzar los 120 km/h debido a su reducido rango de velocidades.

Por ello, en estos casos se incluye en el vehículo el sistema de transmisión variable, capaz de adaptar ese rango de par y velocidades a las necesidades de cada situación, de manera que las distintas relaciones ofrecerán la oportunidad de producir un par y una velocidad acorde al valor de dicha relación, dado por las relaciones de dientes del tren de engranajes correspondiente, en el caso de cajas de cambio mecánicas. Así se logra reducir el rango de velocidades, aumentando el de par con marchas bajas, para solventar el primero de los casos mencionados anteriormente. Y de la misma manera, aumentar el rango de velocidades con marchas mayores, reduciendo el de par en el caso de circular por autopista.

En el ejemplo a estudiar, que más adelante se tomará como referencia para desarrollar el protocolo de ensayos utilizado, se puede observar la diferencia de rangos obtenidos en la curva de par frente a los obtenidos tras la caja de cambios para cada relación de transmisión. El modelo tomado como ejemplo será un Daewoo Matiz 0.8 que, una vez obtenida la curva de par, se modelarán las gráficas para las distintas relaciones a partir del programa de Matlab desarrollado en el proyecto.

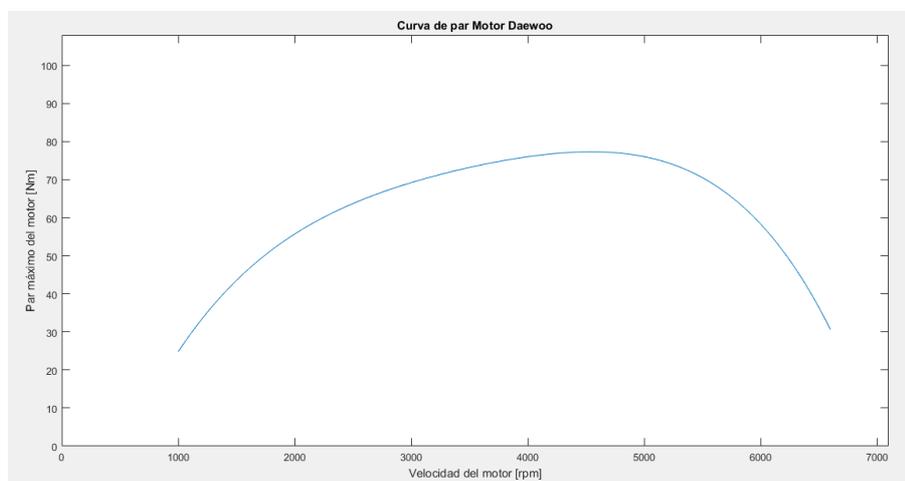


Figura 5. Curva de par motor Daewoo Matiz

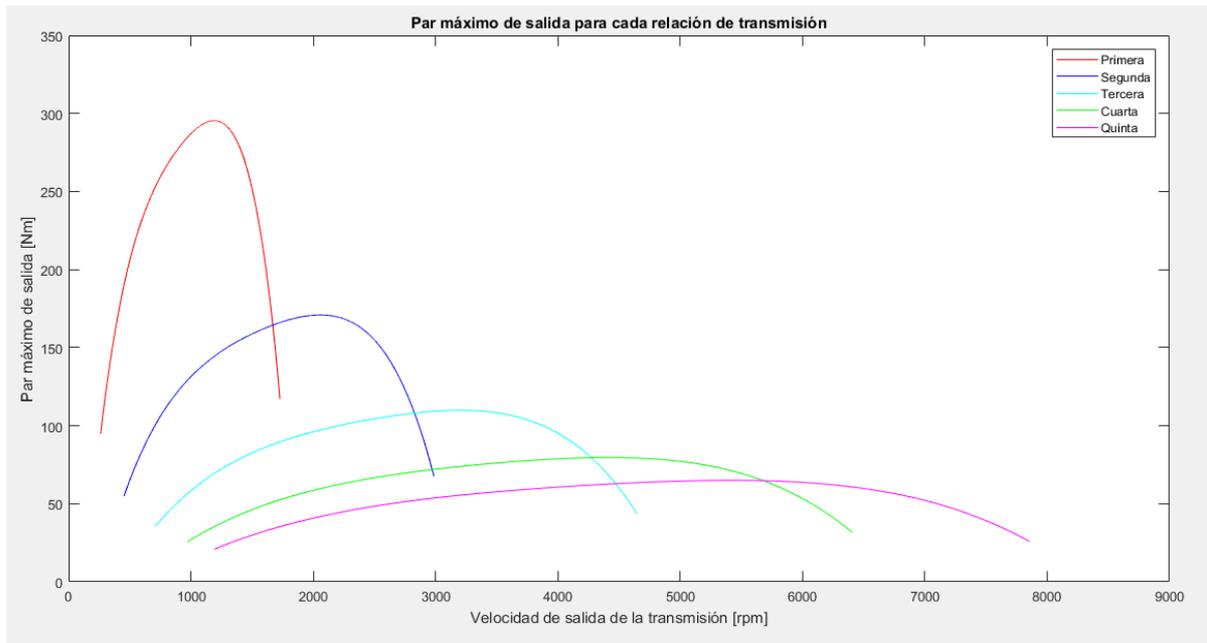


Figura 6. Par frente a velocidad a la salida de la transmisión

En las Figuras 5 y 6 se puede observar cómo el motor por sí solo no es capaz de superar 6600 rpm ni pares superiores a 80 Nm, mientras que gracias a las relaciones de transmisión será capaz de alcanzar casi 8000 rpm en velocidad y pares de 300 Nm en la primera marcha. Es necesario tener en cuenta que esta casuística se aplica principalmente a motores de combustión interna, ya que ofrecen rangos de par y velocidad cortos. Sin embargo, en el caso de motores eléctricos (Pintado, 1994), se pueden encontrar motores con rangos de velocidades y par suficientemente amplios para transmitir el movimiento a las ruedas sin necesidad de introducir una caja de cambios mecánica como elemento intermedio.

En este sentido es posible encontrar una casuística amplia, que permite alcanzar los objetivos establecidos mediante las distintas combinaciones de los elementos mencionados, así como de muchos otros. Por ejemplo, en la Figura 7 se muestra un esquema básico utilizado en ciertos vehículos híbridos, que parte de combinar elementos tales como dos motores, uno de combustión interna y otro eléctrico, y una caja de relaciones a la salida. Sin conocer detalles se puede suponer esta última sencilla, ya que el motor eléctrico tiene un rango de velocidades y pares fácil de adaptar a las distintas situaciones.

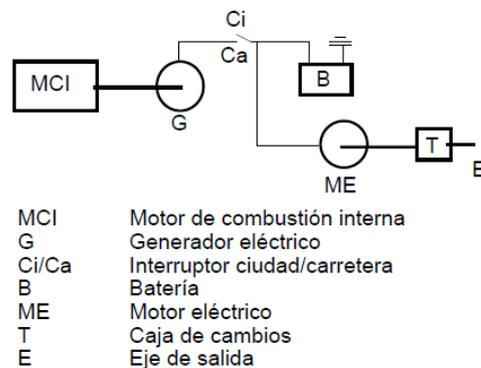


Figura 7. Esquema de vehículo híbrido con motor eléctrico y caja mecánica
Pintado Sanjuán, P. (1994). *Un curso de automoción*. Universidad de Sevilla

Se podrían resumir las funciones del sistema de transmisión de un automóvil en los siguientes puntos:

- Permitir acoplar y desacoplar el giro de las ruedas con respecto al giro del motor.
- Poner en marcha el vehículo, así como convertir el par y la velocidad mediante las distintas relaciones de transmisión para adaptarse a las distintas situaciones de funcionamiento.
- Repartir el par entre las distintas ruedas motrices y permitir que éstas giren a distinta velocidad.

Estas funciones vienen dadas por las distintas componentes que conforman el sistema que, en un caso típico de transmisión mecánica, podrían ser embrague, caja de cambios y grupo cónico-diferencial. Dependiendo de sus componentes y sistema de funcionamiento los sistemas de transmisión se pueden clasificar en:

- Mecánica.
- Hidráulica, ya sea hidrostática o hidrodinámica.
- Eléctrica y electromagnética.

A continuación, se definirán brevemente cada uno de los tipos de transmisión que se pueden encontrar. La información recogida en este capítulo se ha obtenido de la literatura (Pintado, 1994).

2.1 Tipos de transmisión

En primer lugar, se encuentra la transmisión **hidrostática**, cuyo principio de funcionamiento está basado en la utilización de un fluido a alta presión y baja velocidad. En ella, una bomba volumétrica impulsa el fluido hacia un motor hidráulico y mediante la variación de presión será capaz desde desacoplar el giro de las ruedas mediante vacío hasta aumentar la relación de transmisión de forma continua. Este tipo de transmisiones cuentan con un número infinito de relaciones, es denominada transmisión continuamente variable o CVT. La transmisión hidrostática es utilizada en vehículos muy pesados donde es necesario repartir la potencia entre un número elevado de ejes para mejorar la tracción en la medida de lo posible.

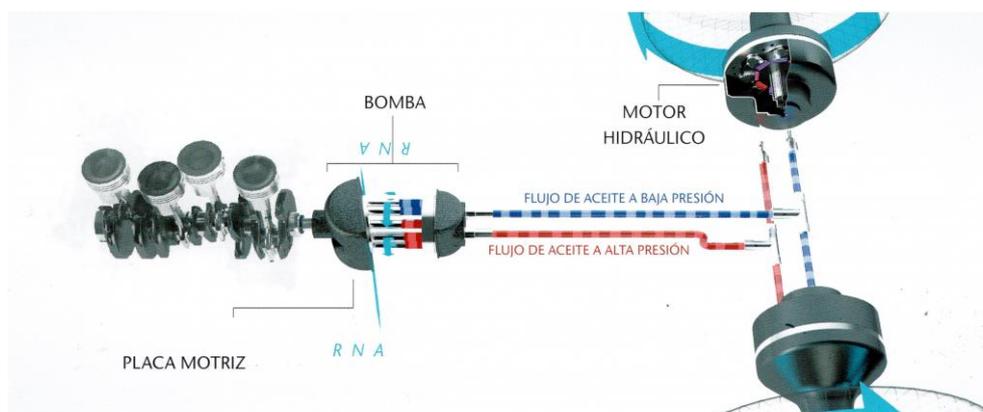


Figura 8. Sistema de transmisión hidrostática

Tecnodelsa (2015). Recuperado de <https://www.tecnodelsa.com/transmision-hidrostatica-o-transmision-con-convertidor-de-par/>

En el caso de la transmisión **hidrodinámica** el funcionamiento parte de la utilización de un fluido. Sin embargo, en este caso una bomba radial impulsa el fluido a alta velocidad hacia una turbina. Este acoplamiento también permite una variación de la relación según las condiciones de funcionamiento, no obstante, necesita ser acompañada por una caja de cambios mecánica que le permita variaciones importantes en la relación de transmisión.

En vehículos cuya transmisión es meramente **eléctrica** no será necesario incluir elementos intermedios que permitan variar la relación de giro, ya que los rangos de velocidad que ofrecen los motores eléctricos son suficientes para abarcar las distintas situaciones. Por ello, en estos casos el movimiento se transmite directamente de motores eléctricos a las ruedas y la potencia suministrada dependerá de los niveles de intensidad aplicados al mismo.

En el caso de interés en el presente proyecto se opta por la denominada transmisión **mecánica**, que consta de discos de fricción y trenes de engranajes para lograr los objetivos previamente listados. Si es el caso de una transmisión automática, se utilizan acoplamientos hidráulicos o convertidores de par, y cajas de trenes epicicloidales.

2.2 Curva de potencia y par motor

Esta curva de par corresponde a la mostrada en la Figura 5. Ésta representa los valores máximos de par que es capaz de generar el motor para una velocidad determinada. (Pintado, 1994) En el caso de los motores que siguen un ciclo Otto, estos valores máximos se alcanzan con la mariposa de admisión completamente abierta, mientras que en motores Diésel se logran con los inyectores de combustible en la posición de máximo desplazamiento. La principal diferencia entre estos tipos de motores será el sistema de encendido en la fase de expansión del cilindro, que en el primer caso será mediante una chispa eléctrica mientras que en el caso Diésel la explosión se producirá a partir de las condiciones de presión y temperatura alcanzadas en la compresión.

De la misma manera en la Figura 5 es posible representar la potencia máxima desarrollada por el motor sobre la curva de par, mediante la simple operación de multiplicar el par en cada punto por la velocidad en el mismo. Para el modelo de ejemplo sería la siguiente.

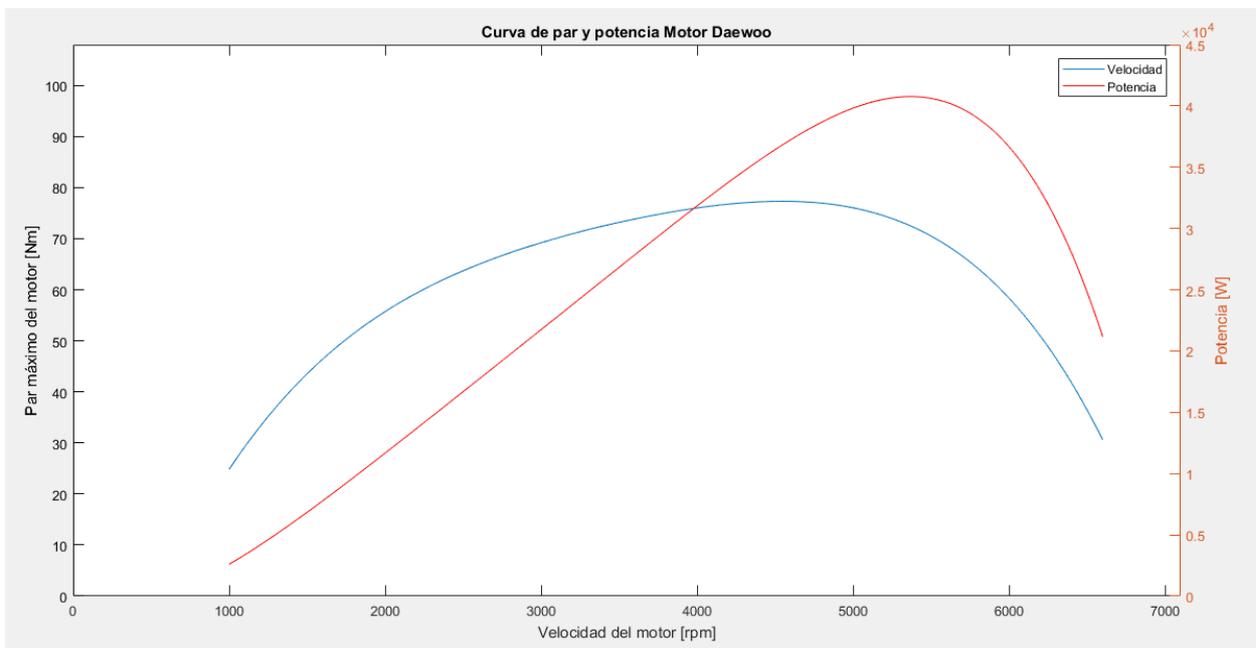


Figura 9. Curvas de potencia y par motor del Daewoo Matiz

El caso ideal sería aquel en el que la potencia suministrada por el motor fuera constante e independiente de la velocidad angular ofrecida, para hacer frente a las distintas fuerzas resistivas de cada situación. Este comportamiento es logrado en gran medida por los motores de vapor y ciertos motores eléctricos. Sin embargo, existen condicionantes tales como el peso o la eficiencia que limitan el uso de este tipo de fuentes de potencia.

En el caso de motores de combustión interna, se obtienen potencias y pares dependientes de la velocidad, ya que entran en juego pérdidas debidas a ciertos factores mecánicos como pueden ser rozamientos o la misma inercia del aire en los colectores de admisión. Por ello, como es posible ver en ejemplo desarrollado, se dispondrá de un pequeño rango de velocidades en la cual la potencia suministrada será óptima (en el caso ejemplo se podría hablar de un rango entre 4000 y 6000 rpm).

Como se comentó previamente, este intervalo de velocidades no será suficiente como solución viable para poner en marcha el vehículo y llevarlo a altas velocidades, por lo que será necesario incluir un elemento intermedio que amplíe ese rango útil. Aquí entra en juego la denominada “caja de cambios”, que permite cambiar la relación de giro ampliando el rango de acción como es posible observar en la Figura 6.

2.3. Transmisión mecánica

En el presente proyecto estará enfocado a este tipo de sistemas de transmisión, cuyo componente principal será un sistema de engranajes. En el caso de transmisiones manuales estará formado por trenes de engranajes simples y en el caso de transmisiones automáticas de engranajes de tipo planetario. Ambas tipologías de cajas de cambio disponen de una serie de relaciones de transmisión discretas, por lo que se puede tener en cuenta que ambos tipos entran en el marco de estudio del proyecto.

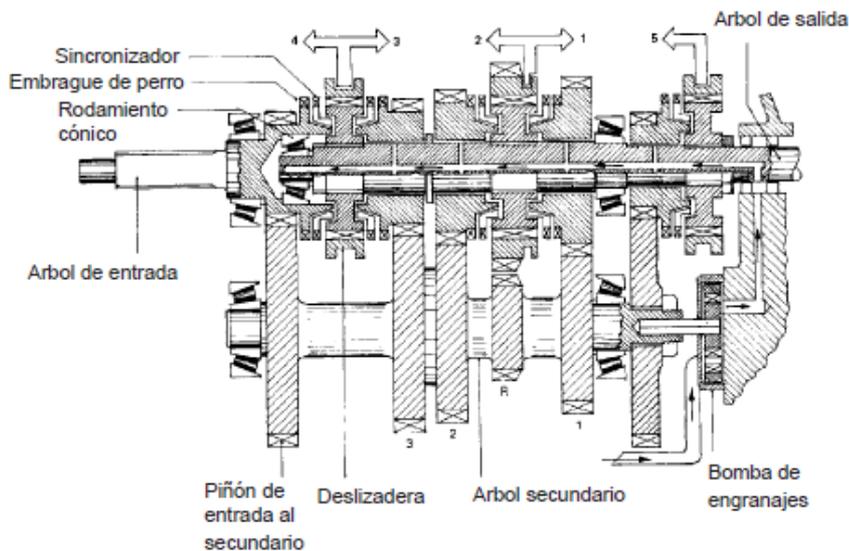


Figura 10. Ejemplo caja de cambios manual

(Pintado, 1994)

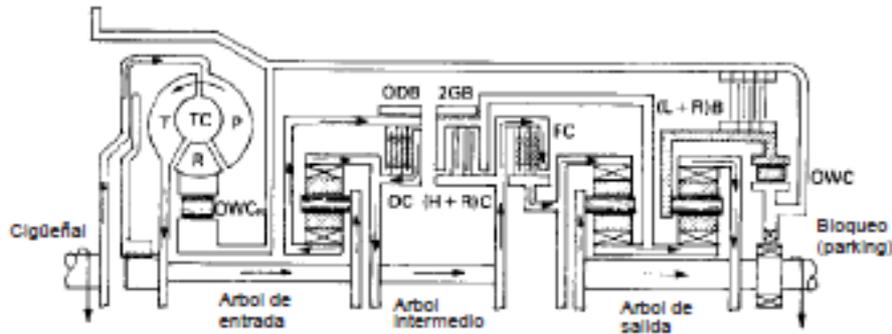


Figura 11. Ejemplo caja de cambios automática

(Pintado, 1994)

En las cajas de cambio mecánicas se cumplirá la casuística explicada anteriormente y tanto en el caso manual como en el automático la función será la misma, adaptar el par y velocidad de salida del motor a la situación real que sea necesario afrontar.

El número de relaciones de transmisión que es posible encontrar en estos sistemas ha ido variando a lo largo de los años de acuerdo al avance de la técnica y las necesidades de los automóviles modernos. Mientras en la década de 1940 un coche medio disponía de una caja manual de 3 velocidades, actualmente alcanzan a tener 6 velocidades con facilidad. (Daniels, 2005)

El caso de la quinta o sexta relación, que suelen ser en muchos casos multiplicadoras (ya que la velocidad de salida de la caja será mayor a la de entrada), se introdujo con el objetivo de reducir el consumo, ya que estas relaciones permiten ir a altas velocidades sin tener que exigirle al motor su máxima potencia. Por ello será necesario tener en cuenta de aquí en adelante que la máxima velocidad del vehículo no se alcanza necesariamente en la marcha más larga, pero sí servirán para conseguir una conducción estable a alta velocidad, sin necesidad de llevar el motor al límite. Más adelante, cuando se establezca el protocolo de ensayo, no será necesario tener en cuenta el punto de velocidad máxima debido a que se define un protocolo completo en el que se recorrerán todos los rangos posibles de velocidades de la transmisión a analizar.

3 ANÁLISIS DE DATOS

Son muchas las ventajas que ofrece Matlab para el análisis de datos, ya que permite trabajar con las señales desarrolladas en vectores, siguiendo su comportamiento en todo momento.

Partiendo de los datos obtenidos en los distintos sensores, estarán definidas las cuatro señales principales. Estas señales serán velocidades angulares y pares a la entrada y salida de la caja de cambios. Entre ellas serán parámetros independientes y modificables en el ensayo la velocidad de entrada del motor y el par resistente a la salida de la transmisión, que vendrá dado por la acción del freno motor. A partir de éstas cuatro variables será posible calcular potencias, relaciones de transmisión y rendimientos reales de la transmisión objeto de estudio.

Estos tres nuevos parámetros serán de ayuda para definir la caja de cambios, con la posibilidad de estructurar la información mediante distintas combinaciones, como pueden ser conocer el rendimiento para cada relación de transmisión o los valores máximos de potencia desarrollados.

$$\text{Relación de transmisión} = \frac{\text{velocidad de salida [rpm]}}{\text{velocidad de entrada [rpm]}}$$

Es importante tener en cuenta qué velocidad será tomada como referencia en el numerador y el denominador, en el caso desarrollado se ha realizado el estudio tomando la velocidad de salida en el numerador, tal como viene expresado en la ecuación.

$$\text{Potencia [W]} = \text{velocidad angular [rad * s}^{-1}] * \text{Par [N * m}^{-1}]$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Potencia de salida [W]}}{\text{Potencia de entrada [W]}}$$

3.1 Condiciones de partida

Para la realización del trabajo, que en gran medida supone el desarrollo del programa informático, se han tomado como ejemplo las señales recogidas en el ensayo de un prototipo de transmisión en el laboratorio. Una vez desarrollado el software y definido el protocolo de ensayos, éste fue probado con una caja de cambios comercial. Trabajar con estos datos permite analizar los distintos problemas que es posible encontrar en la realización del código, desde el filtrado de las señales hasta las distintas tolerancias que se deben suponer para segmentar el ensayo en sus diferentes fases. Se parte de la base de tener unos datos de calidad mejorable con un gran efecto de ruido, por lo que adaptar el programa a éste supondrá tratar los datos de un ensayo real con mayor seguridad y precisión.

La muestra de señales del ejemplo incluye la puesta en marcha del prototipo y el paso entre dos relaciones de transmisión a velocidades distintas, con un par resistente prácticamente nulo, pero suficiente para analizar los cambios producidos tanto a la entrada como a la salida del sistema.

Se tendrán en cuenta estos valores obtenidos con el prototipo debido a que, a pesar de no ser aplicables a un sistema de transmisión real de un automóvil, serán de utilidad a la hora de desarrollar el código de Matlab ya que el mismo procedimiento es aplicable a las diferentes escalas de valores.

3.2 Filtrado de señales

El primer paso para poder trabajar con las señales muestreadas será el filtrado de ruidos indeseados que llevarán al programa desarrollado al error en los procesos de cálculo y análisis, ya que tomaría valores falsos del ensayo real. Este ruido producido se debe principalmente a interferencias en las señales muestreadas.

Además, previo al filtrado de las señales obtenidas se han filtrado los valores del ensayo para velocidades de entrada menores a 30 rpm, de esta manera se omite el intervalo de arranque del motor e inicio de revoluciones que puede llegar a presentar un mayor número de irregularidades sin llegar a proporcionar información útil para el desarrollo del proyecto. Este filtrado se podrá observar en las Figuras 12 y 13, donde se ha representado la velocidad de entrada previa y posterior a dicho filtro.

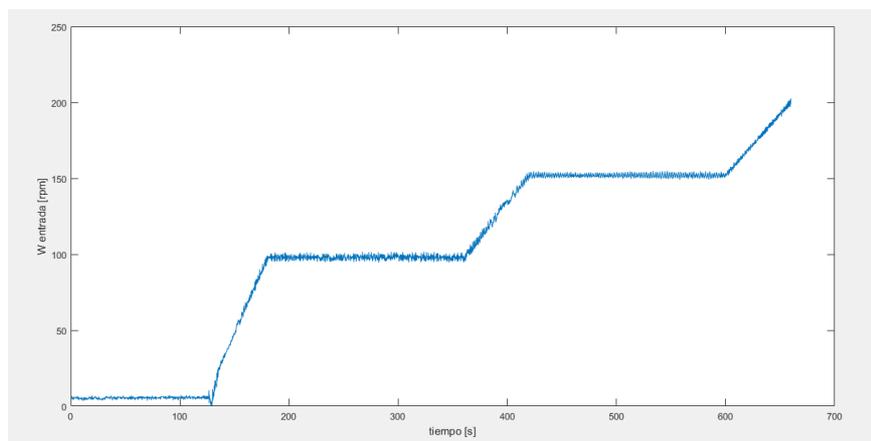


Figura 12. Señal de velocidad de entrada sin filtrar

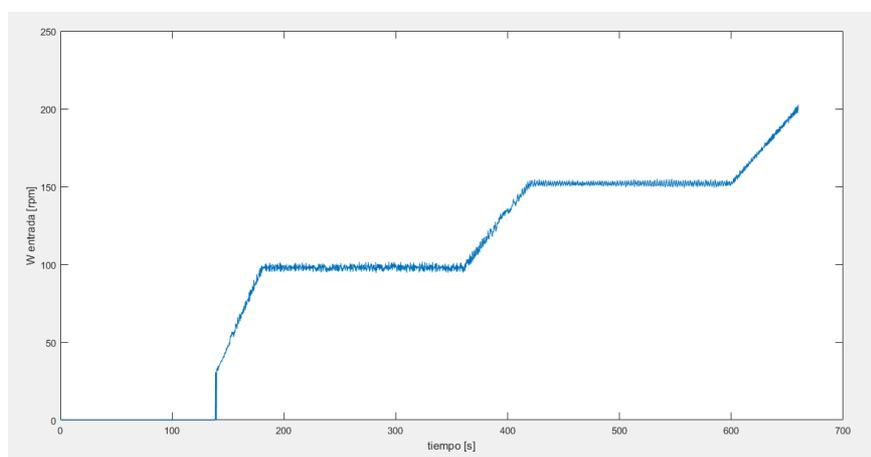


Figura 13. Señal velocidad de entrada con filtro para velocidades menores a 30 rpm

Por lo tanto, ese mismo intervalo de tiempo será igual a cero en las otras tres variables. Debido a que, como se mencionó previamente, es un intervalo que no aporta información útil y en la que, como se puede observar, existen irregularidades que pueden condicionar al programa de análisis. A continuación, se muestra el resultado de este filtro en las cuatro variables representativas del caso ejemplo en las Figuras 14 y 15.

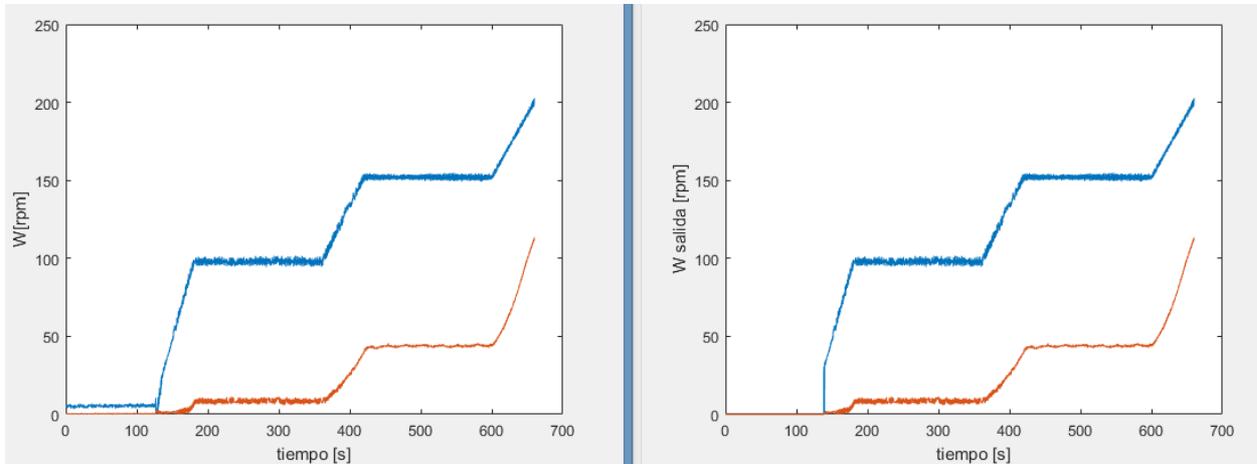


Figura 14. Comparativa de velocidades angulares con filtro de puesta en marcha

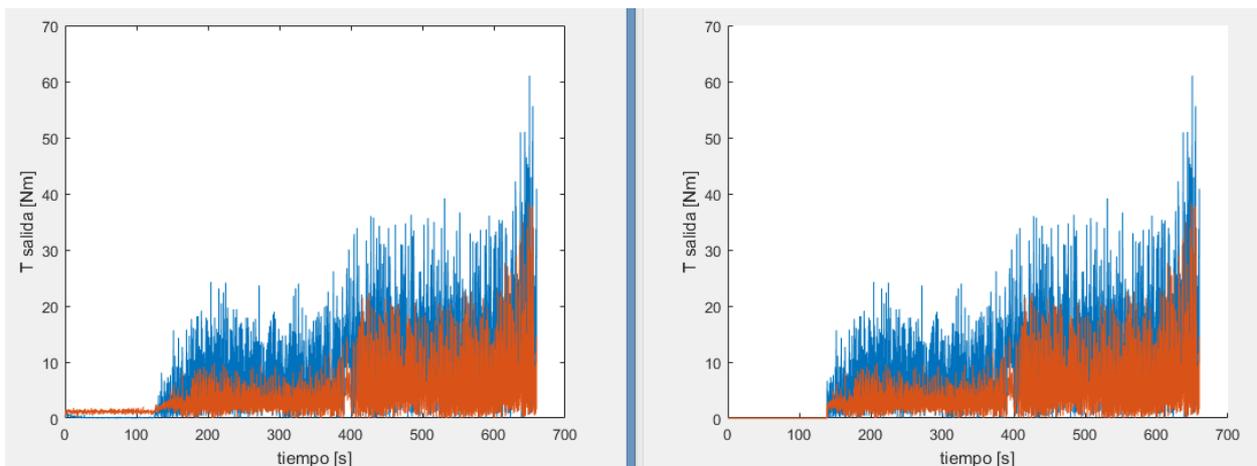


Figura 15. Comparativa de pares con filtro de puesta en marcha

A continuación, será introducido el filtro necesario para suavizar las señales recogidas de manera que sea posible trabajar con ellas sin dar pie a errores indeseados. Con el filtrado digital se busca eliminar las frecuencias no deseadas de las señales. En este caso se emplea la función `filter` de Matlab, que define un filtro de media móvil que permitirá de manera sencilla suavizar el ruido indeseado. Un filtro de media móvil desliza una ventana de muestreo a lo largo de los vectores de datos, calculando los promedios de los valores contenidos en cada ventana.

3.2.1 Función *filter* en Matlab

La función *filter* en Matlab establece un filtro simple de media móvil que toma una señal de entrada x y devuelve una señal de salida y filtrada mediante una función de transferencia racional definida por los coeficientes del numerador y el denominador b y a respectivamente. Esta información ha sido obtenida a partir de la web de MathWorks. Recuperado de <https://es.mathworks.com/help/matlab/ref/filter.html>.

La sintaxis empleada en esta función es la siguiente.

$$y = \text{filter}(b, a, x)$$

La función de transferencia que define la relación entrada-salida del filtro en este caso es la siguiente.

$$Y(z) = \frac{b(1) + b(2)z^{-1} + \dots + b(n_b + 1)z^{-n_b}}{1 + a(2)z^{-1} + \dots + a(n_a + 1)z^{-n_a}} X(z)$$

Los coeficientes a y b permiten definir la suavidad deseada del filtrado, dándole continuidad a la señal sin llegar a distorsionar negativamente la muestra real.

3.2.2 Señales filtradas del ensayo en el prototipo

A continuación, se muestra el filtrado de las señales tomadas por los sensores, que inicialmente se caracterizan por el ruido (de manera excesiva en el caso de los pares de entrada y salida), mientras que observando estas señales filtradas será posible diferenciar con claridad el comportamiento que siguen, obteniendo así una información de mayor calidad.

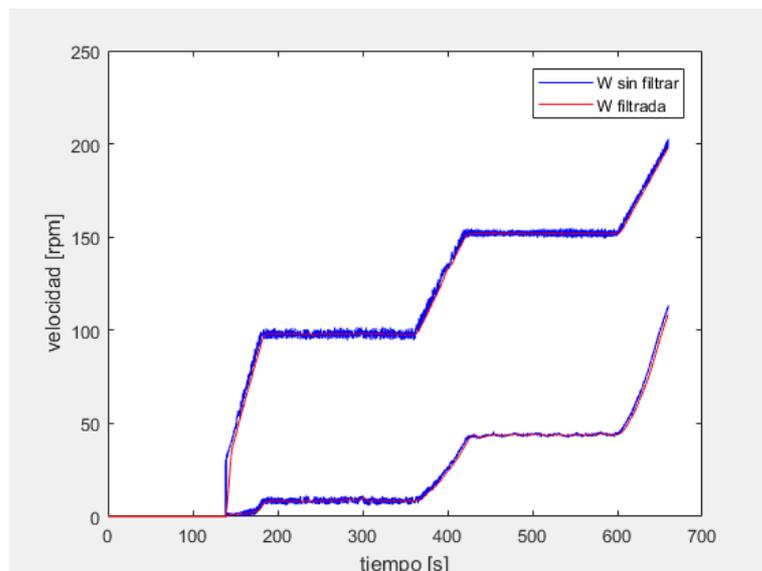


Figura 16. Velocidades de entrada y salida filtradas frente a no filtradas

Además, el filtro utilizado permite, como se comentó previamente, variar la suavidad de éste mediante los coeficientes de la ecuación de transferencia a y b . Estos coeficientes aplicados a un filtro de media móvil de un vector, como es el caso por tratar, vendrán dados por el valor unidad en el caso de los coeficientes del denominador a . Mientras que los coeficientes del numerador b vendrán dados por un vector de longitud variable que sigue una relación dependiente de un coeficiente llamado *timew* para el filtro de velocidades y

$timeT$ para el filtro de pares. Esta relación no es otra que $b = ones(1, timew) / timew$ para el caso del filtro de velocidad y $b = ones(1, timeT) / timeT$ para el filtro de par. Así se obtiene un vector de coeficientes de longitud definida por teclado y de valores menores para mayores longitudes del vector.

Este vector de coeficientes marcará la diferencia en el filtro aplicado, ya que mientras $timew$ y $timeT$ reciban valores mayores, mayor será la suavidad del filtrado. Esta posibilidad se muestra a continuación en las Figuras de la 17 a la 20 mediante el filtrado de las señales de los pares de entrada y salida obtenidos para distintos valores de los coeficientes.

En el caso de las Figuras 17 y 19 se observan los resultados obtenidos con un filtrado del par de entrada y salida respectivamente, en los cuales se le ha asignado a $timeT$ un valor de 50. En cambio, en las Figuras 18 y 20, donde se obtiene un filtrado más fino, se le ha asignado a la variable $timeT$ un valor de 300. Estos valores se han obtenido por tanteo, ya que dependerán en parte de la escala de ruido que se tenga en las señales recogidas inicialmente.

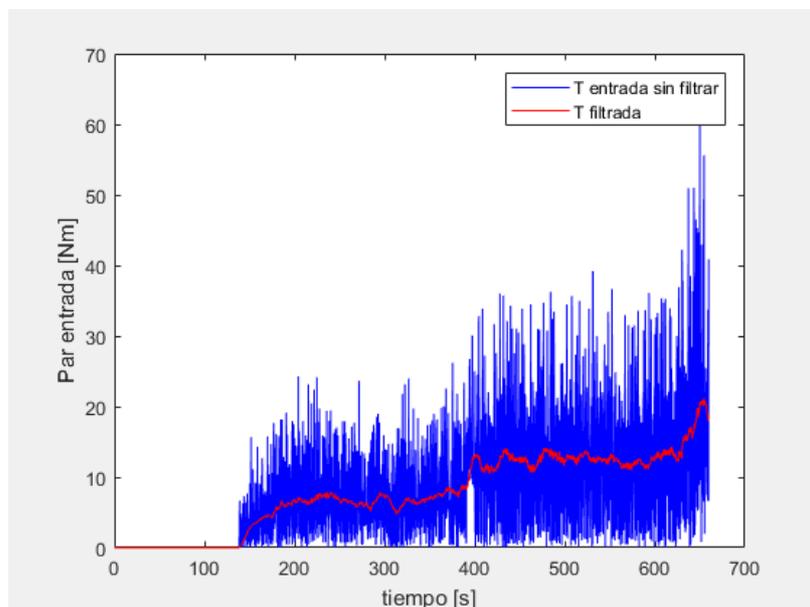


Figura 17. Par de entrada con filtrado grueso

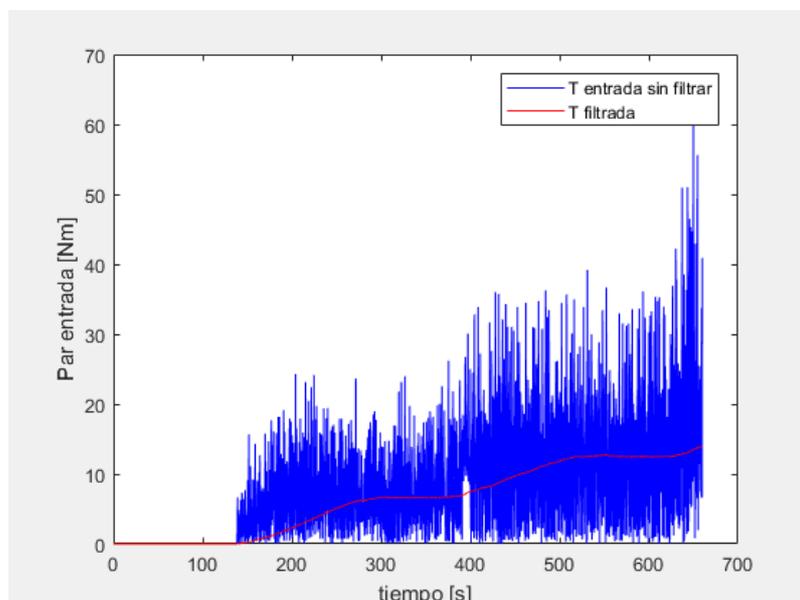


Figura 18. Par de entrada con filtrado fino

Es posible comprobar la influencia de estos coeficientes en el filtrado, reduciendo el ruido hasta ser capaz de eliminarlo. Es importante mencionar que no se debe afinar el filtro más de lo necesario, ya que son necesarias unas señales suaves pero siempre lo más ajustadas posibles a la realidad, y el filtrado las puede distorsionar.

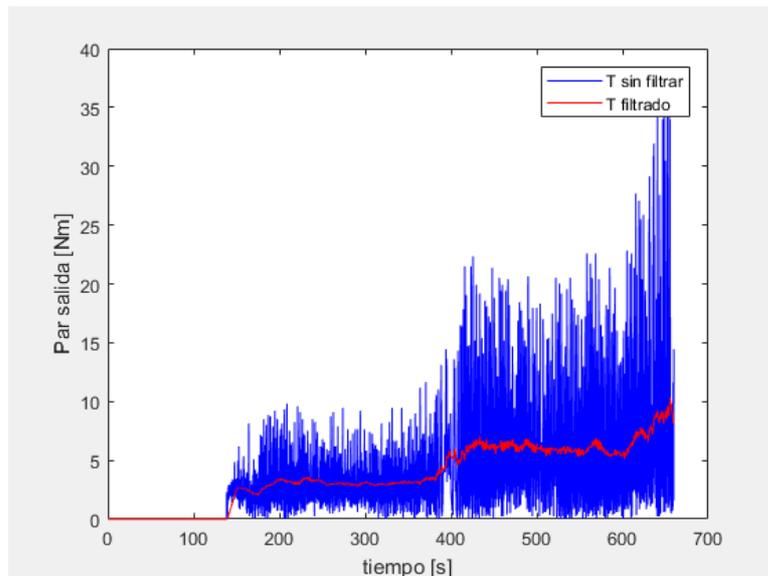


Figura 19. Par de salida con filtrado grueso

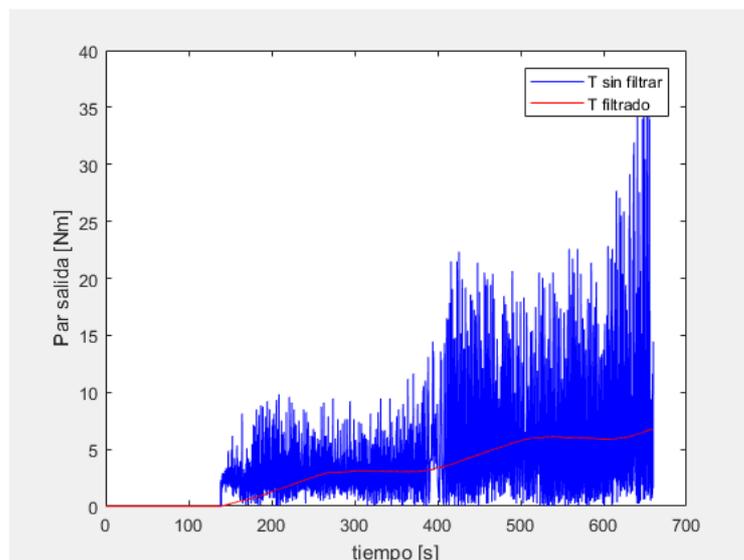


Figura 20. Par de salida con filtrado fino

3.3 Metodología de trabajo

Una vez recogidas las distintas señales en vectores se ha podido analizar el comportamiento del sistema a partir del cálculo de aquellos parámetros que finalmente se encargarán de definir la caja de cambios. Para ello, se ha buscado la manera más eficiente de trabajar, con el objetivo de obtener el mejor ajuste posible a los datos reales.

Es necesario tener en cuenta que en el ensayo a realizar se les asignarán ciertos valores a las variables independientes (velocidad de entrada y par resistente a la salida), de manera que el sistema sufrirá un estado transitorio hasta estabilizarse en esos valores. Por lo tanto, el programa de análisis tendrá que hacer frente a esas variaciones, teniendo en cuenta que únicamente son de interés aquellos intervalos constantes en los que, dados unos valores fijos de entrada y salida, se podrá conocer realmente el funcionamiento del sistema para dicha combinación de la caja de cambios en cuestión.

El ensayo realizado en el prototipo sobre el cual se ha trabajado consiste en la puesta en marcha del sistema (en la cual se eliminan los valores recogidos por los sensores mediante la omisión de valores para una velocidad menor a 30 rpm como se explicó previamente), una primera velocidad de entrada para una primera relación de transmisión en la caja y el cambio a una segunda velocidad con una segunda relación de transmisión. Este es el fragmento de un ensayo completo, suficiente para tener una base sólida sobre la que trabajar. Es posible observar este cambio de velocidades en la Figura 21, que muestra los valores recogidos por el sensor de velocidad de entrada en el ensayo del prototipo.

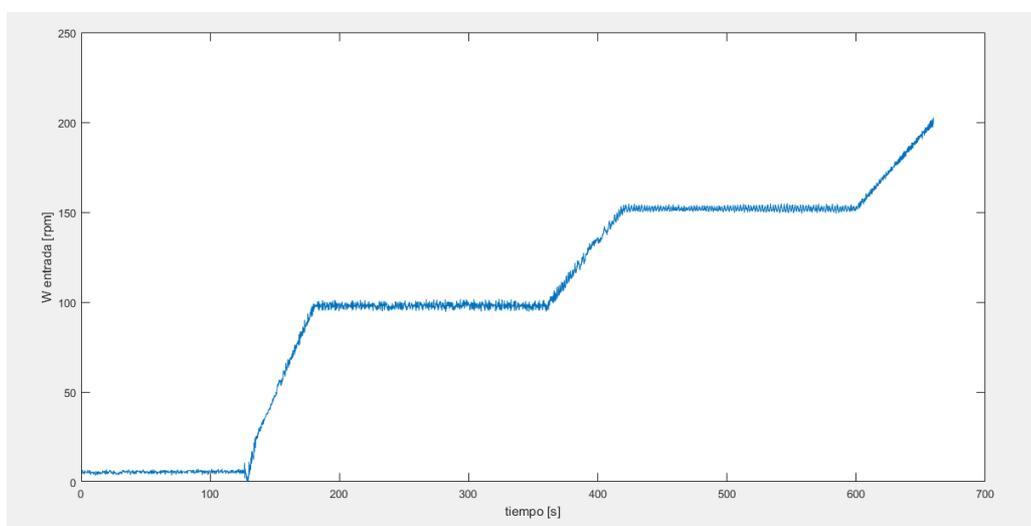


Figura 21. Señal de velocidad de entrada recogida en el ensayo del prototipo

3.3.1 Estudio de las señales punto a punto

Inicialmente se optó por el tratamiento de las señales recogidas por los sensores y filtradas por el programa de manera continua, calculando relaciones, potencias y rendimiento mediante el producto punto a punto de vectores. De esta manera se obtienen estas variables en forma de vectores y solo se necesitaría recorrerlos mediante bucles en busca de las zonas estables que se desean estudiar.

Sin embargo, teniendo en cuenta que el interés del proyecto se centra en relaciones de transmisión y rendimientos puntuales para unas condiciones de entrada fijadas previamente, se llega a la conclusión de asumir como innecesario el análisis de estas señales de manera continua.

Además, el código del programa necesario para tratar los grandes vectores punto a punto en busca de las zonas estables se vuelve cada vez más complejo y se llega a un código delicado ante la calidad de la muestra de datos tomada y que fácilmente origina desviaciones de los valores reales. Esto se debe a que será necesario tener muy controlada la suavidad del filtro y las tolerancias necesarias para la comparación de las cadenas de valores, para evitar errores producidos por imperfecciones y ruido.

A continuación, se podrán observar los resultados obtenidos mediante esta metodología.

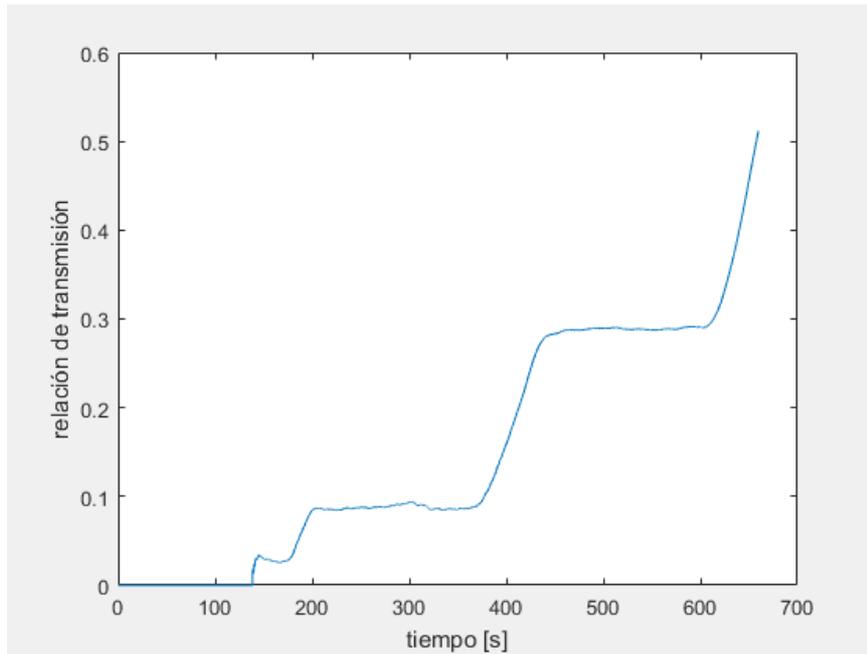


Figura 22. Relaciones de transmisión (punto a punto)

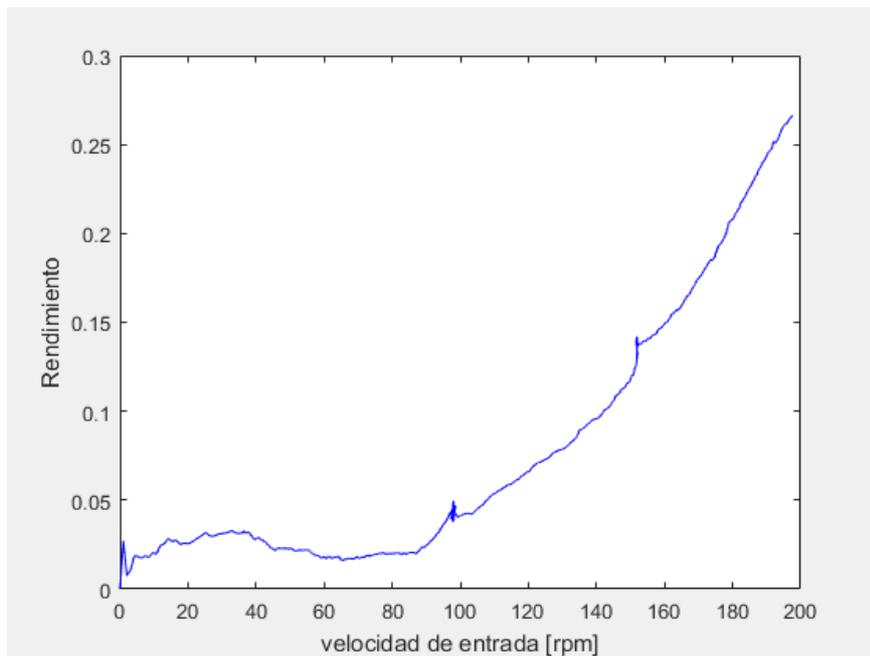


Figura 23. Rendimiento frente a velocidad de entrada (punto a punto)

En busca de discretizar los resultados para una obtención de información más lógica se intentó recorrer las señales en busca de las zonas estables que resultan de interés. De esta manera se obtienen los valores de rendimiento aproximados para las distintas zonas estables que representan cada relación de transmisión, como es posible observar ver en la Figura 24. Sin embargo, el código se vuelve cada vez más arduo y poco eficiente, además de ser delicado frente a pequeñas variaciones.

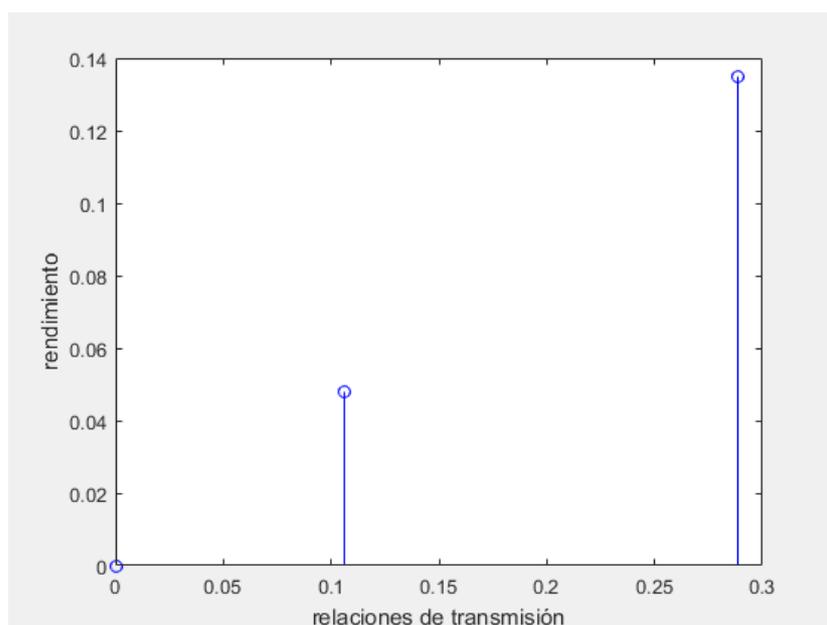


Figura 24. Rendimiento frente a relaciones de transmisión discretizadas (punto a punto)

Los resultados obtenidos con este procedimiento no son fiables y mostrarán desviaciones frente a los resultados reales como se mostrará a continuación, debido a que se obtiene un rendimiento continuo y que prácticamente no se estabiliza ante las condiciones de entrada. Esto se debe al hecho de superponer las pequeñas variaciones presentadas por las señales utilizadas para su cálculo.

Además, tras superar el problema de calcular las relaciones de transmisión punto a punto, se llega a la conclusión de no poder darle un valor fijo de rendimiento a cada relación, ya que no se tiene una referencia en la gráfica continua de rendimientos que permita conocer cuál es el valor real en ese instante, para esa relación de transmisión y esas velocidades y pares de entrada y salida.

3.3.2 Segmentación de las variables de ensayo

A continuación, se desarrolla el punto principal del trabajo, donde se obtiene un método fiable, generalizado, de menor complejidad a nivel de código y que permite realizar un ensayo continuo sin necesidad de poner en marcha y parar constantemente el motor.

Como se explicó previamente, el ensayo a realizar partirá de un motor puesto en marcha y la medición de las cuatro variables mencionadas anteriormente: velocidades y pares de entrada y salida. A partir de ahí según el protocolo de ensayo establecido se indicará una velocidad de entrada para una relación de transmisión deseada y un par resistente a la salida que simulará las fuerzas resistentes a las que se verá sometido el automóvil en cuestión.

Para cada combinación introducida, las cuatro variables de entrada al programa (pares y velocidades de entrada y salida), sufrirán un estado transitorio hasta estabilizarse. En ese intervalo estable previo a la siguiente combinación de parámetros se encuentra la información deseada, que, para hacerla aun más fiable, será tratada a partir de un promedio de los valores obtenidos en dicho intervalo para cada variable. Conocidos esos valores medios será posible calcular de una forma fiable las variables que definirán la máquina (potencia, relación de transmisión y rendimiento), de manera puntual para dicha combinación.

Por lo tanto, la clave reside en la segmentación del ensayo, reconociendo los intervalos en los que las cuatro variables son estables, para realizar el estudio correspondiente e ir almacenando los resultados obtenidos para todas las combinaciones deseadas de manera continua. A continuación, se muestra en la Figura 25 esta división para el ensayo de ejemplo.

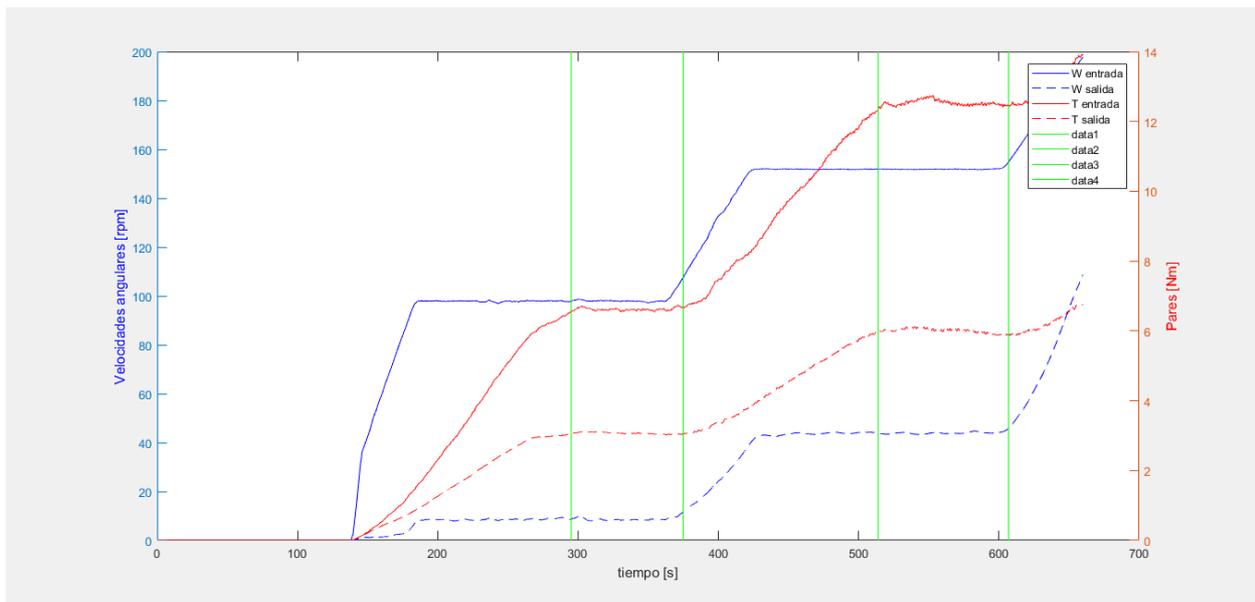


Figura 25. Segmentación del ensayo del prototipo

En ésta es posible observar cómo se omite tanto el intervalo inicial, en el que a pesar de tener valores constantes no proporciona información, como los intervalos transitorios entre dos estados consecutivos. El programa tomará de manera automática tantos intervalos como variaciones sean introducidas en el ensayo, devolviendo los parámetros característicos de cada uno de ellos.

La gran ventaja que proporciona esta metodología es la posibilidad de realizar un ensayo continuo, tomando tantos intervalos de ensayo como sean necesarios ante cualquier modificación en los parámetros de entrada, esto se podrá comprobar más adelante en la aplicación del programa de análisis al banco de ensayos real del Laboratorio de Transportes y Automóviles de la facultad. De esta manera se reduce con respecto al método punto a punto de manera sustancial la dificultad operacional del análisis de datos. Además, permite visualizar los datos con mayor claridad y ofrece la posibilidad de compararlos.

3.4 Resultados del ensayo del prototipo

Una vez aplicada la segmentación del ensayo será posible obtener los datos que definen la caja de cambios en cuestión. En este caso, al igual que con la metodología punto a punto, se ha optado por calcular para cada intervalo y mediante promedios de valores las distintas relaciones de transmisión alcanzadas, los rendimientos para cada una de ellas y el rendimiento de la transmisión para las distintas velocidades alcanzadas.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos y la comparación de los mismos con el método punto a punto, en el que como se puede observar, existe una pequeña variación debida a los errores comentados anteriormente.

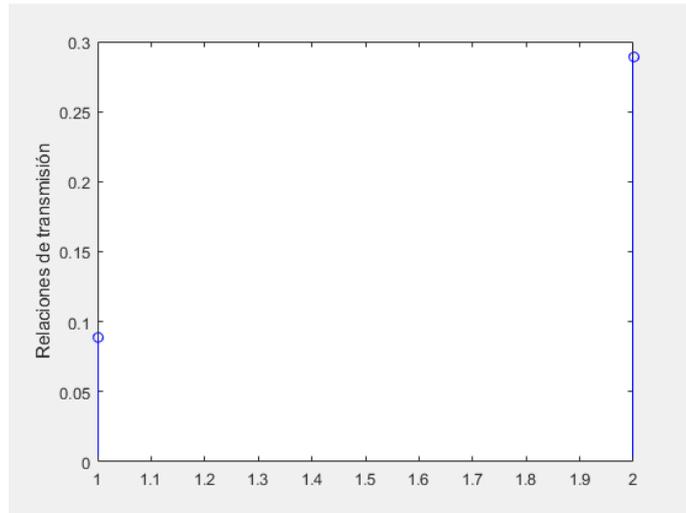


Figura 26. Relações de transmissão mediante segmentación

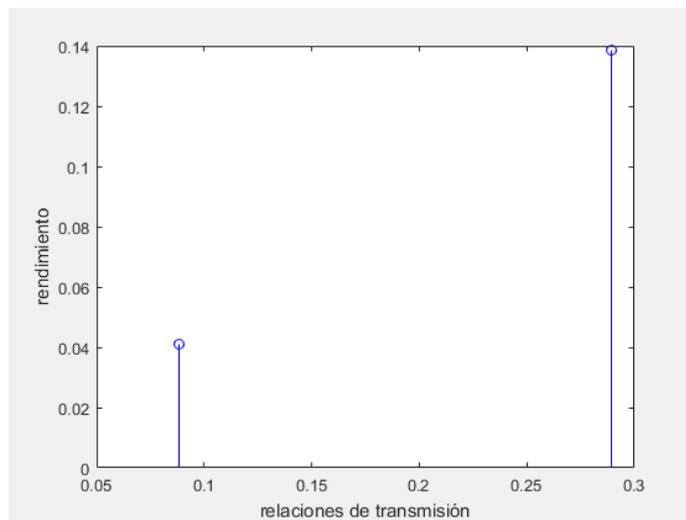


Figura 27. Rendimiento frente a relaciones de transmisión mediante segmentación

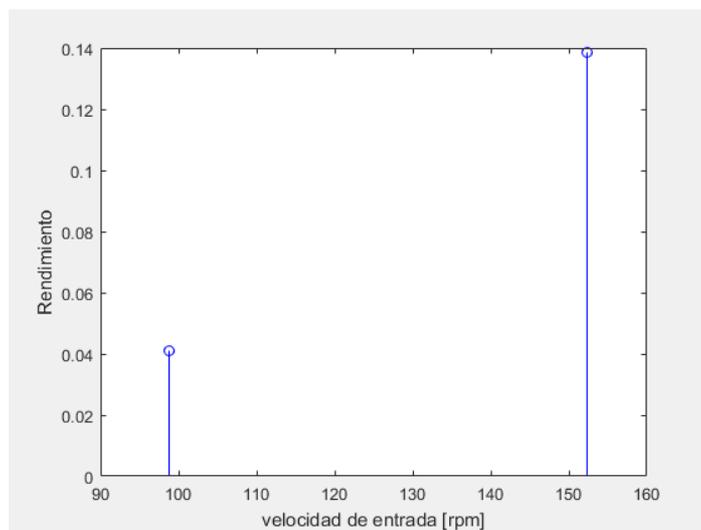


Figura 28. Rendimiento frente a velocidad de entrada mediante segmentación

Aunque el ejemplo no sea de especial utilidad a nivel mecánico es posible ver a esa escala pequeñas diferencias en los resultados mediante ambos métodos (segmentación y punto a punto). Se podrá comprobar que a escala real esos errores serán considerables, estableciendo como metodología final la segmentación del ensayo por su fiabilidad, flexibilidad y claridad de información.

Para hacer visibles las diferencias en los resultados se representan los mismos en una tabla para las dos metodologías empleadas.

Marcha seleccionada	Relación de transmisión	Rendimiento
1ª (punto a punto)	0.11	0.05
1ª (segmentación)	0.08	0.04
2ª (punto a punto)	0.29	0.135
2ª (segmentación)	0.29	0.14

1. Comparativa de resultados definitivos frente a los obtenidos mediante el método punto a punto

3.5 Aplicación del programa al banco de ensayos del laboratorio

A continuación, se van a analizar los resultados obtenidos en la aplicación del código de análisis a la caja de cambios manual instalada en el laboratorio recientemente. Para los ensayos realizados no se ha seguido un protocolo predefinido, simplemente procede a testear el programa frente al caso real. De esta manera se ha podido analizar el código en busca de posibles puntos débiles y adaptar el mismo al presente caso de estudio.



Figura 29. Banco de ensayos previo al ensayo de prueba realizado

Para el estudio de estos ensayos realizados es necesario tener en cuenta algunas consideraciones, ya que al tratarse de una simple prueba no se siguió el protocolo de ensayo debidamente. En primer lugar, se debe tener en cuenta que sería necesaria una puesta en marcha del motor previa a los ensayos, de esta manera el sistema se calentará y se estabilizará para esas condiciones, ya que al no hacerlo se ha tomado el riesgo de sufrir esa transición debida a la temperatura y otros factores durante el ensayo. En segundo lugar, se tendrá en cuenta que los sensores empleados no están debidamente calibrados, lo que falseará los datos recogidos en cierta medida y llevará al programa de análisis a calcular rendimientos mayores que la unidad, por ejemplo. Finalmente, para mayor seguridad al aplicar el programa es necesario dejar un tiempo mínimo al incluir variaciones en los parámetros durante el ensayo, de esta manera el sistema tendrá tiempo a estabilizarse y dar con mayor precisión el valor real en un uso prolongado del vehículo para dichas condiciones. Como dato adicional es importante mencionar que sí fue necesaria en el sistema la puesta en marcha de ventiladores en el motor y freno para evitar el sobrecalentamiento.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en dos ensayos realizados, el primero de ellos fue una pequeña prueba en primera marcha, con un cambio de velocidades, mientras que al segundo ensayo se le dio una mayor complejidad, con un mayor número de variaciones en los parámetros del sistema, comprobando la eficacia del programa ante distintas combinaciones.

3.5.1 Primer ensayo: 1ª Marcha con variación de velocidad y salida libre

Para este ensayo se ha preparado el sistema de transmisión metiendo la primera relación con la palanca de cambios antes de la puesta en marcha. Seguidamente se incluye una velocidad de entrada al sistema de 500 rpm, se deja un tiempo para alcanzar el régimen permanente y tras alcanzarlo se incluye una segunda velocidad de 1000 rpm. Es importante mencionar que esta primera prueba fue un ensayo libre, es decir, no fue utilizado el freno motor a la salida. A continuación, se pueden observar las señales recogidas una vez filtradas y la segmentación realizada por el programa, mostrada en la Figura 30.

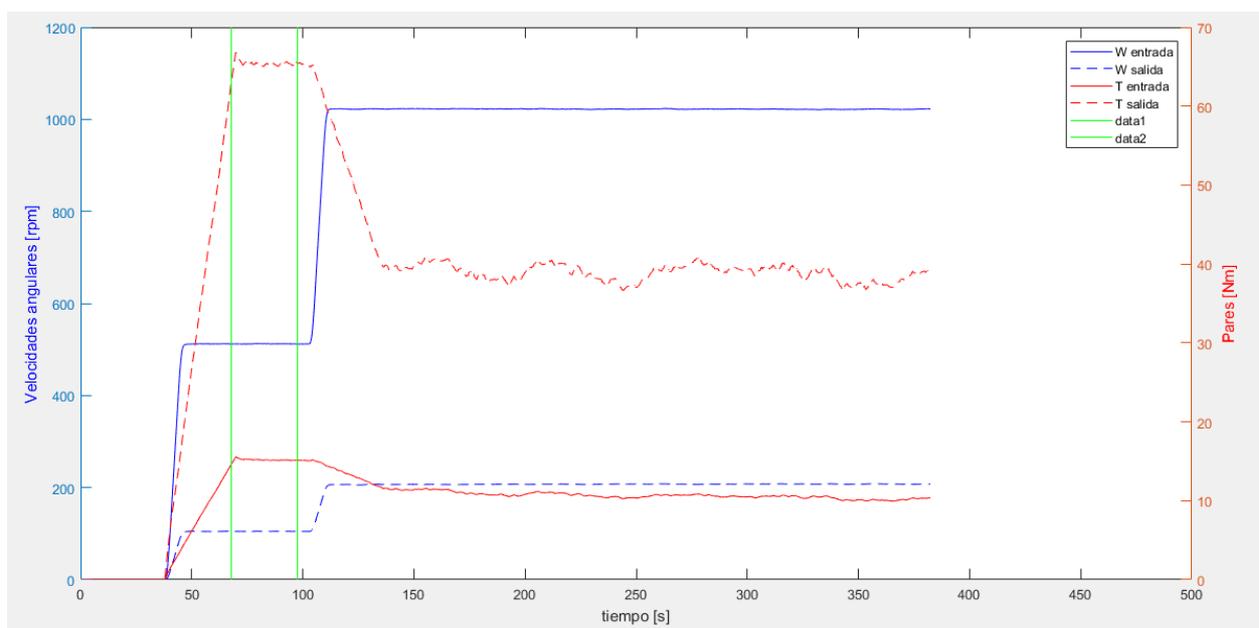


Figura 30. Segmentación del primer ensayo

En la segmentación del ensayo es posible observar como el segundo estado no es recogido por el programa debido a que no está cerrado, es decir, en los ensayos siempre el último paso a realizar será el frenado

completo del sistema, reduciendo la velocidad de entrada a cero. En este caso, aunque fue reducida dicha velocidad a cero, se dejó de grabar el ensayo antes de hacerlo, por lo que no contempla esta transición final. Esto viene especificado en el protocolo de ensayo definido más adelante, ya que por una parte en el banco es necesario hacer nula la velocidad para cambiar de marcha, debido a que no se cuenta con un embrague. Además, para que el programa de análisis reconozca el intervalo y segmente el ensayo adecuadamente de cara a realizar el análisis, es necesario que todos los segmentos tengan un fin con una variación en los parámetros que sea reconocida por el programa.

Como se explica en el manual de usuario en el anexo A, para la aplicación del programa de análisis al ensayo correspondiente solo será necesario especificar la suavidad deseada de los filtros, que dependerá del ruido recogido por los sensores utilizados. Además, para ensayos con escalas diferentes, como por ejemplo el estudio del prototipo y el ensayo de la transmisión real en el laboratorio o el caso de un ensayo libre frente a uno con grandes variaciones de par, se tendrán que adaptar las tolerancias de segmentación a la escala del ensayo correspondiente. El resto del programa será totalmente automático.

A continuación, se muestran las potencias calculadas durante el ensayo y los resultados obtenidos de rendimientos. Además, se grafica el rendimiento del sistema de manera continua para observar aproximadamente el comportamiento del sistema en ese segundo segmento, que como se ha comentado previamente no queda recogido por el programa.

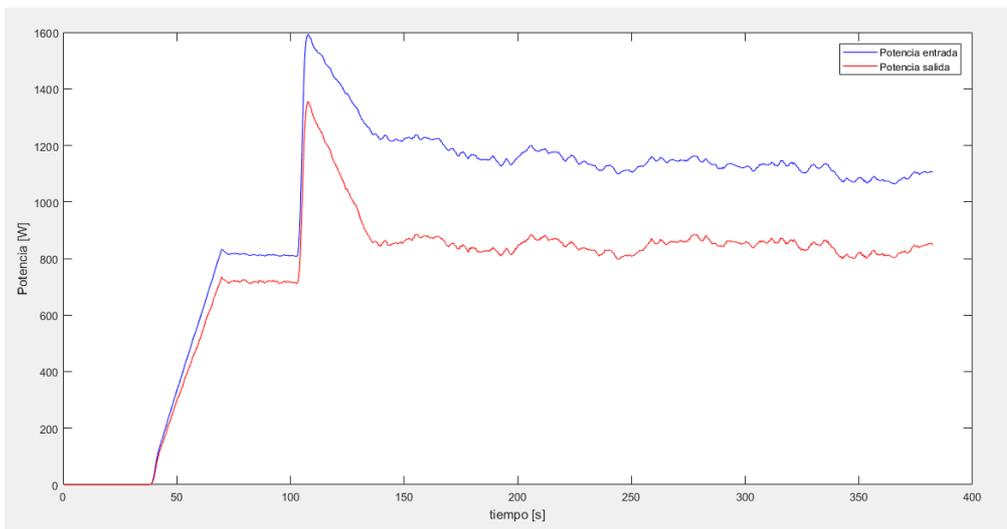


Figura 31. Potencias del primer ensayo

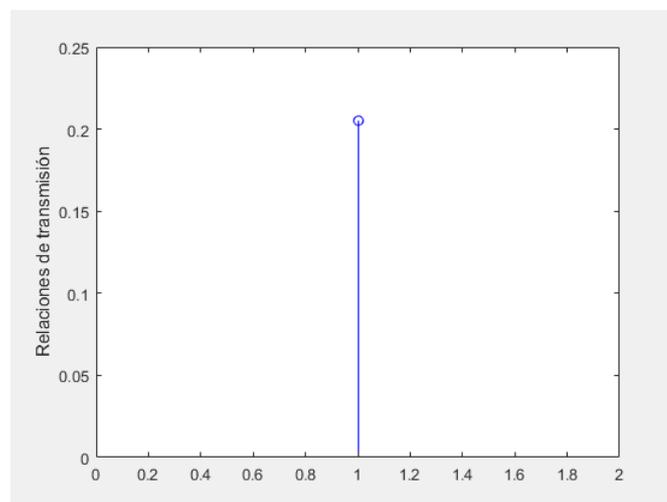


Figura 32. Relación de transmisión del primer ensayo

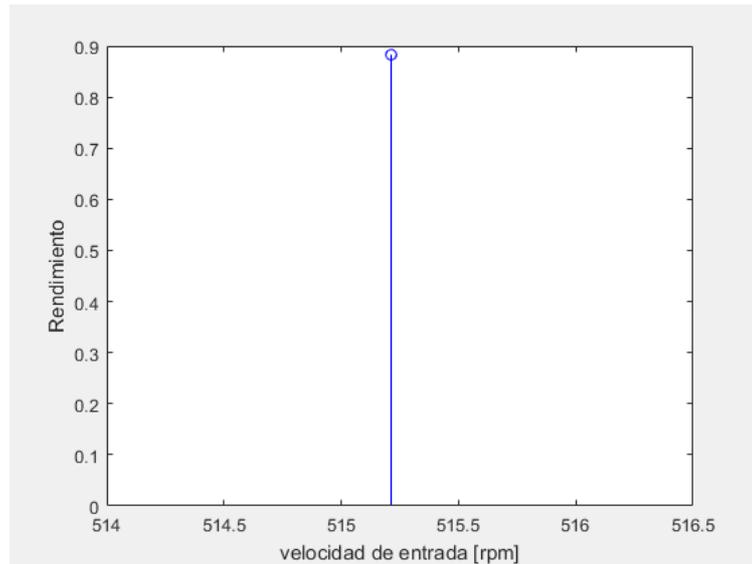


Figura 33. Rendimiento frente a la velocidad de entrada para el segmento recogido

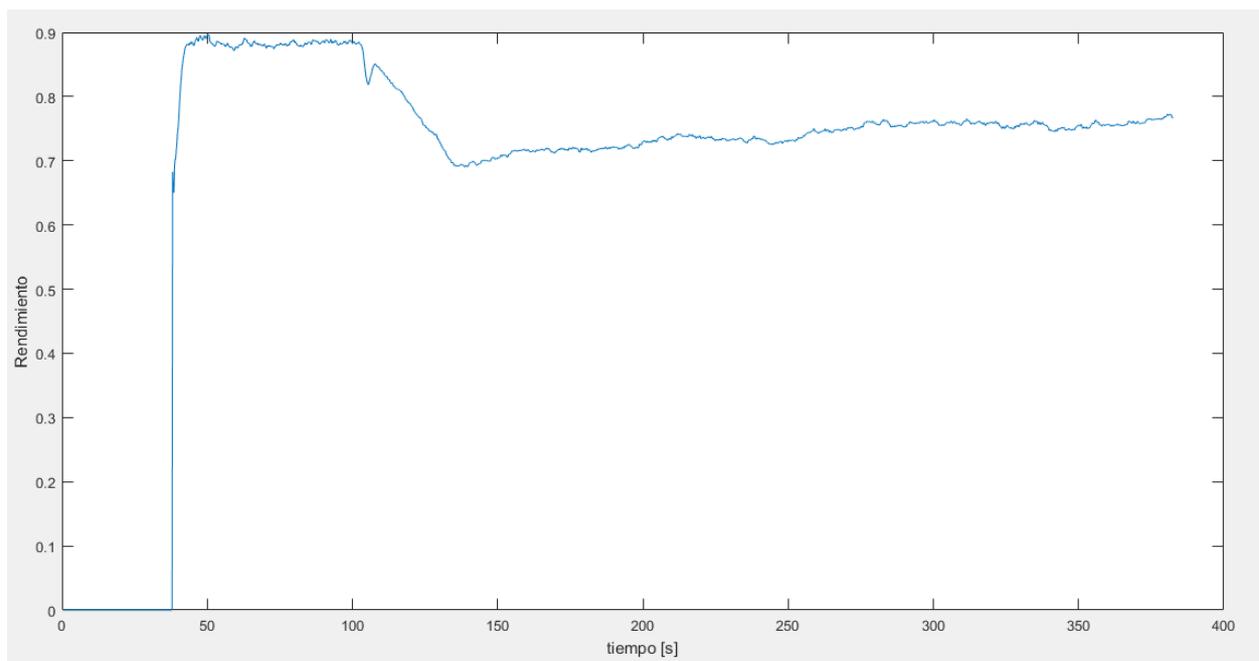


Figura 34. Rendimiento continuo del primer ensayo

Es posible observar en la señal continua cómo el rendimiento se reduce al aumentar la velocidad de entrada, obteniendo casi un 90% en el caso de una velocidad de entrada de 500 rpm aproximadamente, mientras que al aumentar a 1000 rpm el sistema no llega a alcanzar un rendimiento del 80%, por lo que existe una mayor pérdida de energía, debido a efectos negativos consecuentes al aumento de velocidad.

3.5.2 Segundo ensayo: 2ª Marcha con variación de par y velocidad

Para este segundo ensayo se ha optado por probar distintas combinaciones de los parámetros de entrada, con lo que a lo largo del ensayo se ha modificado tanto la velocidad de entrada del motor como el par ejercido por el freno motor a la salida. Al aplicar este par es conveniente tener en cuenta el par límite del sistema que forman el motor junto con la caja de cambios, que se obtendrá más adelante mediante el protocolo de ensayo. Igualmente, se ha optado por trabajar dentro de un rango seguro de velocidades y par. Además, es importante tener en cuenta que el freno motor empleado en el ensayo tiene un par máximo de frenado mucho mayor que el límite de un motor estándar, por lo que en el caso del ensayo realizado no se ha llegado a superar el 20% de su capacidad de frenado.

Este ensayo resulta interesante ya que se pone a prueba el programa con un caso real más completo y variado. Sin embargo, no se debe dejar de tener en cuenta las consideraciones establecidas anteriormente, con lo que se obtendrán algunas irregularidades. El caso más claro será visible en el rendimiento del sistema, en el que es posible observar que llega a superar el 100% en ciertas ocasiones, esto se debe a la falta de una correcta calibración de los sensores de par. Esto será visible a priori en las gráficas de potencias, en las que la potencia de salida supera a la de entrada en ciertos tramos.

A continuación, se ilustra mediante las gráficas obtenidas la secuencia de modificaciones realizada durante el ensayo, en la que en un inicio se comienza aumentando la velocidad de entrada, posteriormente se incluye cierto par resistente a la salida y finalmente se reducen progresivamente las variables hasta el reposo.

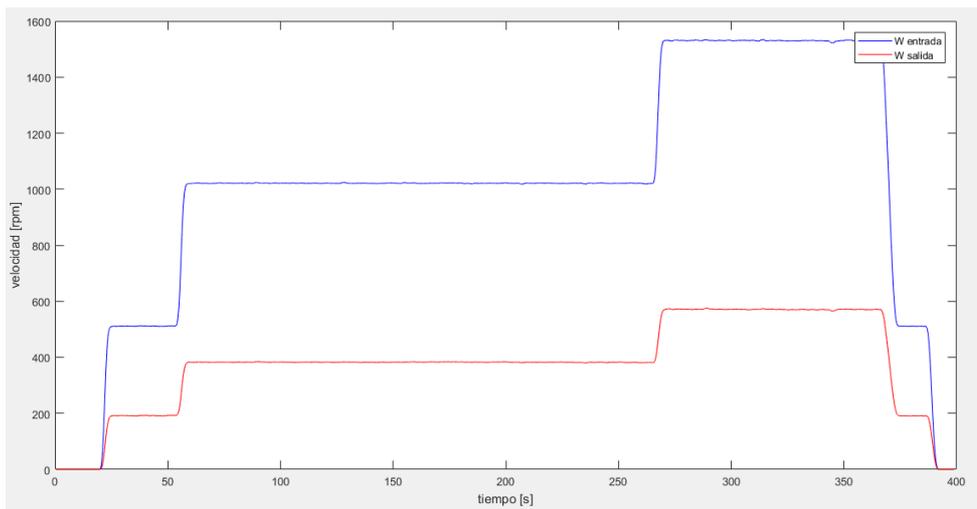


Figura 35. Velocidades durante el ensayo

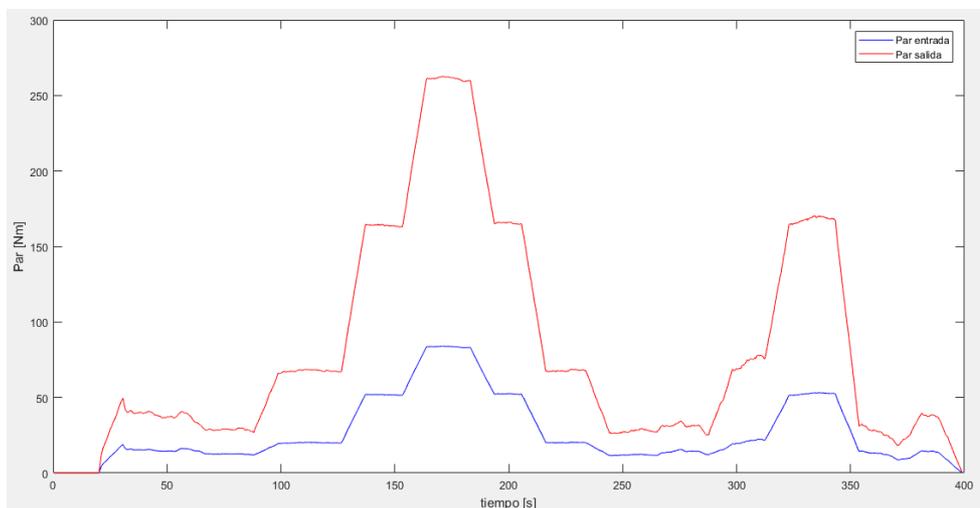


Figura 36. Pares durante el ensayo

Conocidas las variables independientes, velocidad de entrada y par de salida, se puede observar la secuencia de modificaciones seguida en la prueba. En ella se lleva el sistema a 1000 rpm de velocidad de entrada pasando por 500 rpm, a esa velocidad constante se fue aumentando el par resistente en un 10%, 15% y 20%, volviendo a reducirlo a cero de la misma manera. Tras esa reducción del par se volvió a aumentar la velocidad hasta 1500 rpm, volviendo a aplicar ciertos pares para esa velocidad. Finalmente, el sistema se lleva al reposo de nuevo. Como se puede observar, de igual manera que en los pares, existen ciertas variaciones entre la velocidad introducida por teclado y la recogida por los sensores.

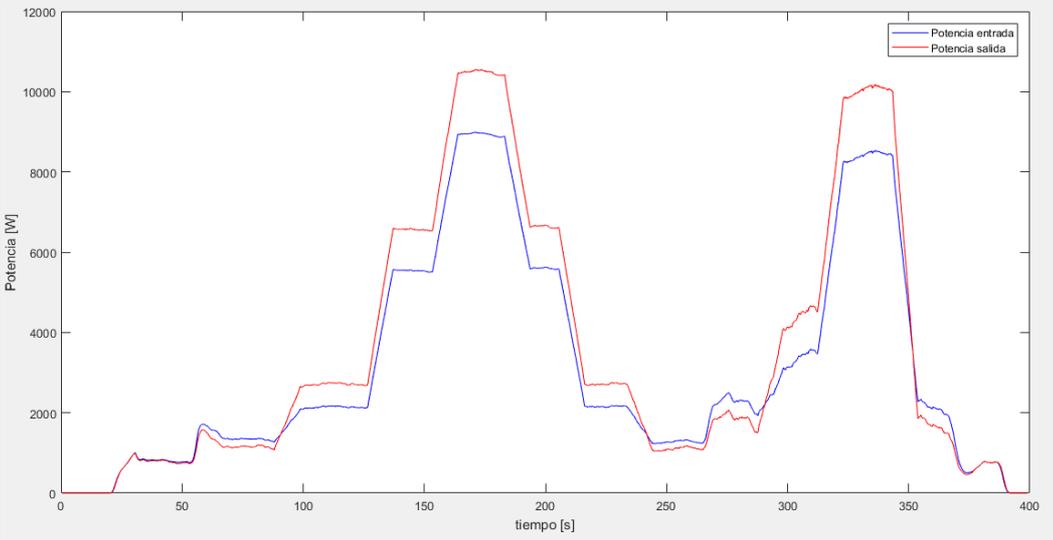


Figura 37. Potencias durante el ensayo

En este caso en la gráfica de segmentación no aparece el problema de un final abierto como antes ya que la grabación es completa y eso permite que la segmentación se haga correctamente de principio a fin. Sin embargo, debido a que el primer ensayo analizado contaba con una salida libre de par resistente y que no se han tenido en cuenta las consideraciones del protocolo de ensayo correcto, ha sido necesaria la adecuación de las tolerancias empleadas para la segmentación, cosa que se detallará más adelante en el manual del programa y que no supondrá complicaciones más allá de adaptar el valor correspondiente.

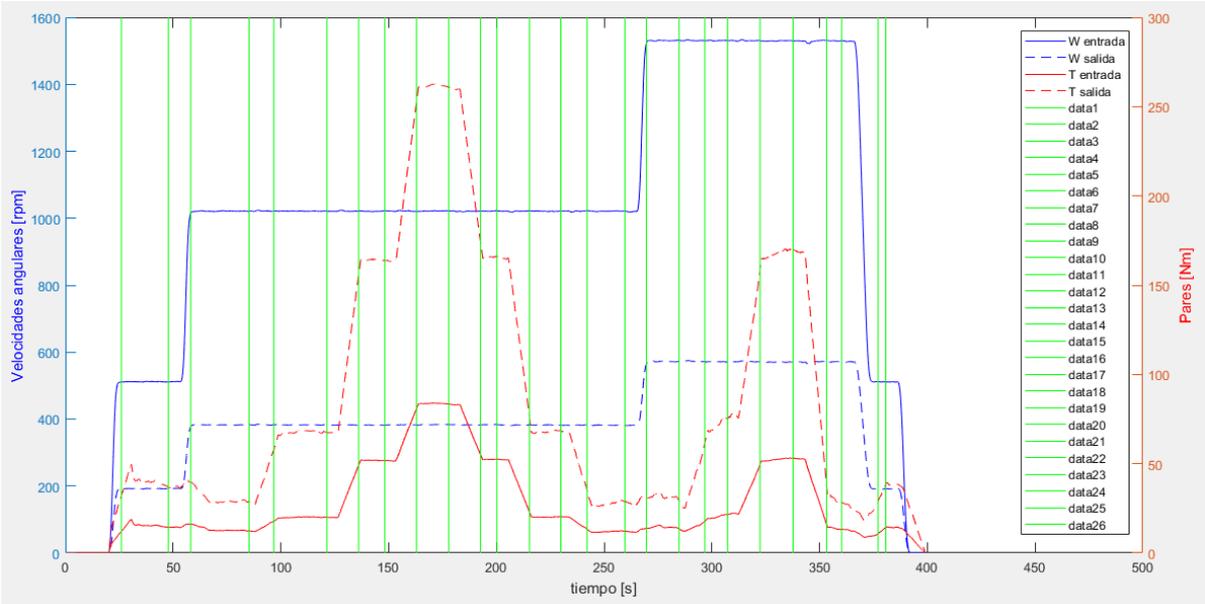


Figura 38. Segmentación del segundo ensayo

Se puede observar como la segmentación se ha realizado de manera correcta, con 26 líneas que suponen 13 intervalos diferentes. El programa recoge por separado los valores medios de cada segmento para analizar cada uno de ellos, calculando así los parámetros que definirán el sistema. A continuación, se muestran los resultados obtenidos a partir de este último análisis.

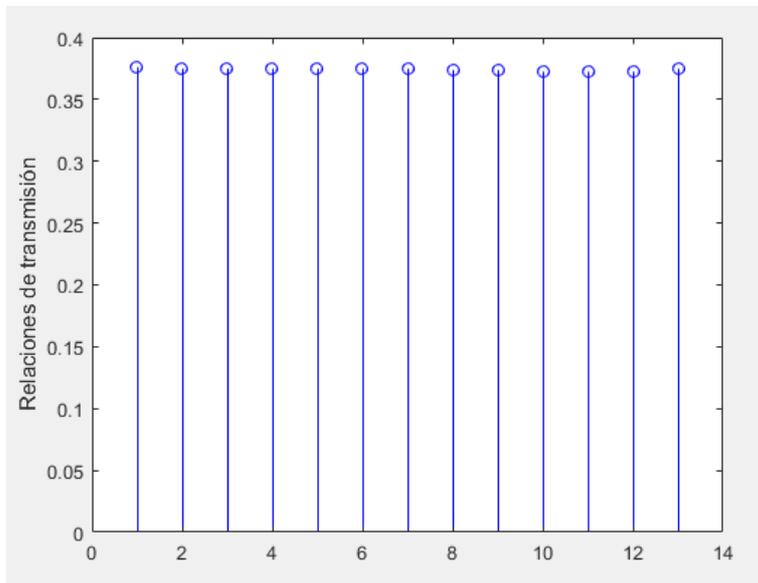


Figura 39. Relaciones de transmisión en el segundo ensayo

Como es lógico al calcular las relaciones de transmisión en este caso se obtiene siempre el mismo valor, ya que durante todo el ensayo se mantiene introducida la segunda relación, que será una reductora de 0.38. Esto puede parecer de poca utilidad y en este caso realmente valdría con un solo valor, pero podrá tener una gran importancia a la hora de ensayar una caja de cambios que permita ir cambiando la relación de transmisión durante el ensayo mediante el uso de un embrague, o en el ensayo de una CVT.

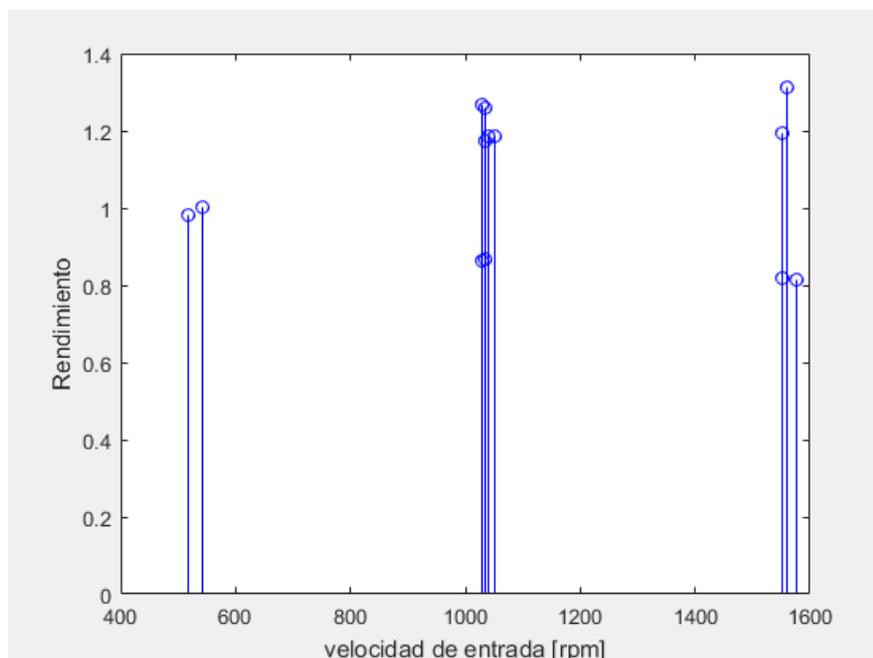


Figura 40. Rendimiento frente a velocidades de entrada

En esta última figura la información puede verse con menor claridad, ya que para una misma velocidad se han probado distintas combinaciones de par. Además, como se comentó en un inicio, la mala calibración de los sensores ha llevado al programa a obtener potencias de salida mayores que las de entrada, lo que se traduce en rendimientos negativos. Quizá en esta ocasión la mejor manera de observar la tendencia del rendimiento en el ensayo sea a partir de la curva de rendimiento frente a la secuencia de modificaciones conocida.

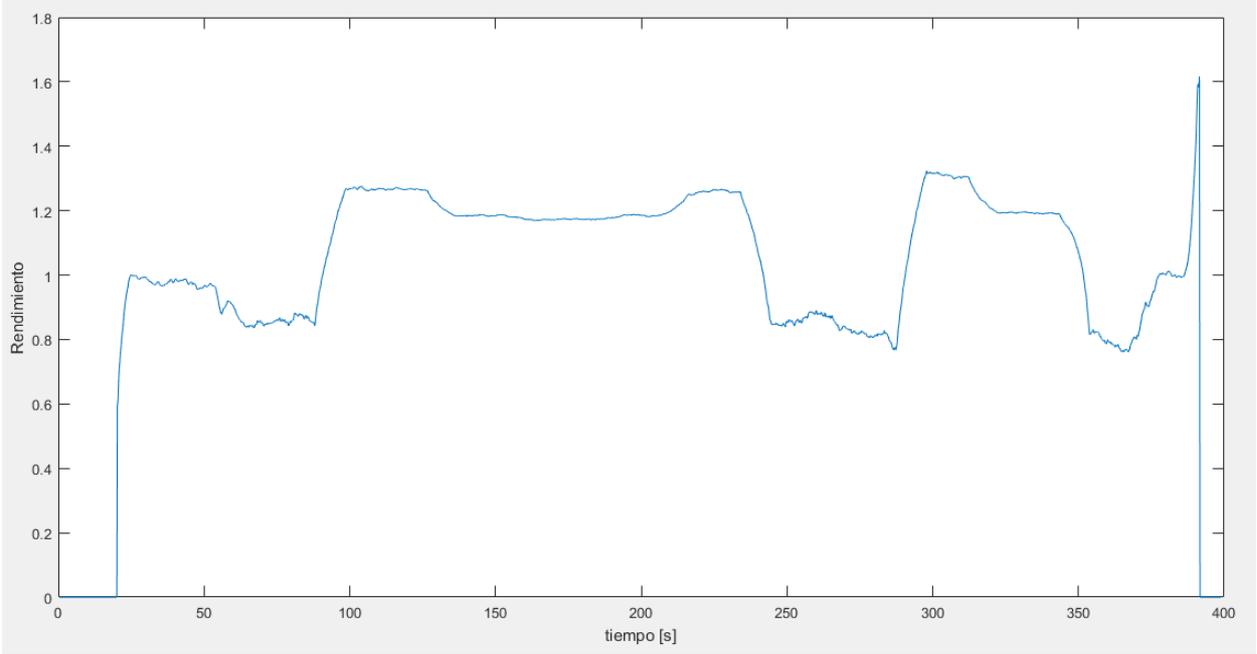


Figura 41. Rendimiento continuo del segundo ensayo

4 PROTOCOLO DE ENSAYO

Para la realización de los distintos ensayos se parte de un protocolo predefinido. El objetivo de éste es definir las diferentes fases de las que constará el ensayo de la caja de cambios y las pautas a seguir en la realización del mismo. A partir del establecimiento de un protocolo es posible determinar los distintos valores que serán asignados a los parámetros de funcionamiento de la transmisión durante el ensayo.

El primero de los parámetros por definir será la velocidad de funcionamiento del motor que, a pesar de simular un motor de combustión en el proceso, será un motor eléctrico al que se le asignará la velocidad requerida en cada fase del ensayo. Como se mencionó previamente, es necesario tener en cuenta las limitaciones del motor eléctrico dependiendo de las velocidades y pares de entrada que se busquen alcanzar.

En segundo lugar, se aplican las distintas marchas de la caja de cambios objeto del ensayo, buscando según sea necesario relaciones reductoras o multiplicadoras. De esta manera se logran alcanzar los distintos intervalos de velocidades y pares necesarios para cada situación a la que pueda estar expuesta el vehículo.

Finalmente, como último parámetro y de gran importancia se tiene el freno motor, que definirá el par resistente a la salida de la transmisión, simulando las fuerzas resistivas a las que será sometido el automóvil en las distintas situaciones de funcionamiento. De igual manera que con la velocidad del motor, se volverán a revisar las especificaciones del freno de laboratorio a la hora de introducir el par necesario, ya que nunca debe superar el límite especificado por el fabricante.

Para obtener las distintas curvas que definen el motor y su funcionamiento acoplado a cada relación de transmisión, así como los distintos valores a introducir de cara al ensayo en banco del sistema, se ha desarrollado un programa en Matlab. Mediante éste y a partir de las especificaciones del motor de un modelo de vehículo y sus relaciones de transmisión, se obtiene automáticamente el protocolo de ensayo a seguir en el laboratorio.

4.1 Definición del protocolo elegido

De cara a realizar el ensayo se ha llegado a la conclusión de analizar de manera completa la funcionalidad de la caja de cambios en cuestión. Por ello, se irán modificando las variables de entrada de manera que se analice, para cada relación de transmisión, todo el rango de velocidades y pares posible.

Dada la curva de par del modelo de coche y conocido su rango de velocidades correspondiente, se tendrá mediante este programa la posibilidad de introducir el número de segmentos en los que se dividirá este rango de velocidades, de esta manera es posible elegir hacer un ensayo más o menos exhaustivo de la transmisión, tomando un mayor o menor número de puntos respectivamente.

En cuanto a los valores de par de salida aplicados en el ensayo se introducirán desde el par nulo a la salida hasta el valor de par máximo posible, dependiendo de la relación aplicada, para cada valor de velocidad indicado previamente. De la misma manera que con el rango de velocidades, será posible introducir por teclado el número de puntos en los que se dividirá cada rango de par.

De esta manera, se ensaya la transmisión de manera completa, cubriendo todos los valores posibles de par y velocidad disponibles para cada relación. Cuantos más puntos sean tomados en el ensayo, más exhaustivamente se analiza el comportamiento. Sin embargo, se ha supuesto innecesario darle un elevado número de puntos al ensayo, ya que supondría realentizar mucho el tiempo de ensayo en comparación a la poca información adicional que se obtendría.

4.2 Aplicación a un modelo real

A continuación, de cara a presentar el sistema que define el protocolo de ensayo, se toma como ejemplo el Daewoo Matiz 0.8, un modelo de coche compacto, del cual es conocida la curva de par del motor empleado y las distintas relaciones de transmisión de su caja de cambios, entre otras características. Estas relaciones de transmisión se pueden observar en la Tabla 2, donde W_e y W_s hacen referencia a la velocidad de entrada y de salida de la caja de cambios, respectivamente.

Marcha	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
Relación (We/Ws)	3.82	2.21	1.42	1.03	0.84

2. Relaciones de transmisión del modelo ejemplo

En cuanto a la curva de par del motor, es proporcionada por el fabricante y para introducirla en el programa de ensayos se calcula una curva de regresión a partir de una serie de valores representativos.

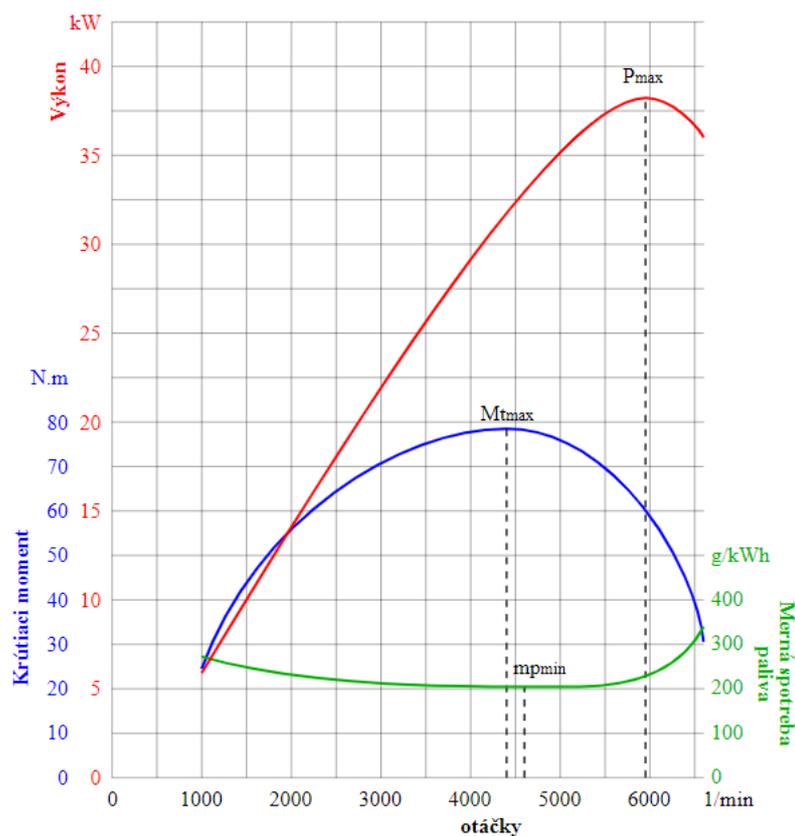


Figura 42. Curva de par proporcionada por el fabricante.

Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Par_motor

En la Figura 42 es posible observar, traduciendo de la lengua rusa, la curva de par en azul, la curva de potencia correspondiente en rojo y la respectiva curva de consumo de combustible en verde, para cada valor de velocidad en revoluciones por minuto dada por el motor.

A partir de estos datos, proporcionados por el fabricante y el modelo de vehículo, será posible mediante el código obtener las gráficas de par máximo para las distintas relaciones y de ahí calcular automáticamente las tablas de valores que se aplicarán a las variables de ensayo.

Para calcular las gráficas representativas de par solo hay que introducir una serie de puntos representativos de la curva dada por el fabricante, sabiendo que mientras más puntos se introduzcan mejor será la aproximación a la curva real. Además, el programa permite elegir el grado del polinomio que definirá la correspondiente curva de regresión, por lo que se debe buscar el que mejor se adapte a la curva real.

Dada la curva del fabricante, en el caso ejemplo se han elegido los siguientes puntos:

W [rpm]	1000	2000	3000	4000	4400	5000	6000	6600
$M_{\text{máx}}$ [Nm]	25	55	70	76	78	74	60	30

3. Puntos que definirán la curva de par del motor ejemplo

Y se prueban polinomios de distintos grados para aproximar la curva a la realidad en la medida de lo posible.

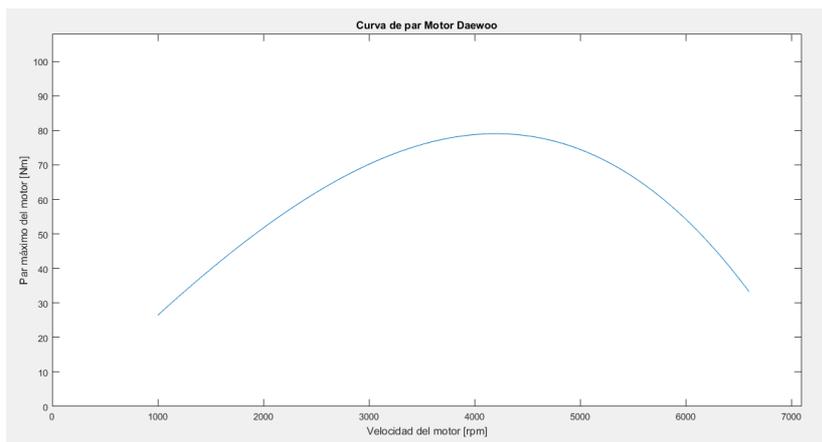


Figura 43. Curva de par motor Daewoo 0.8, polinomio de grado 3

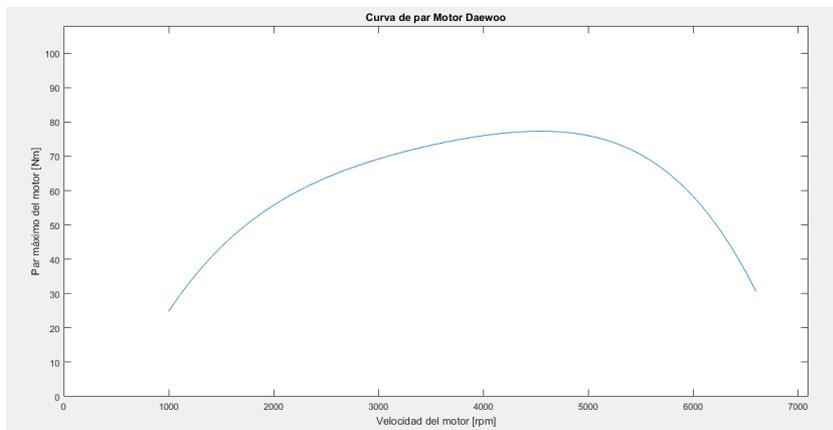


Figura 44. Curva de par motor Daewoo 0.8, polinomio de grado 4

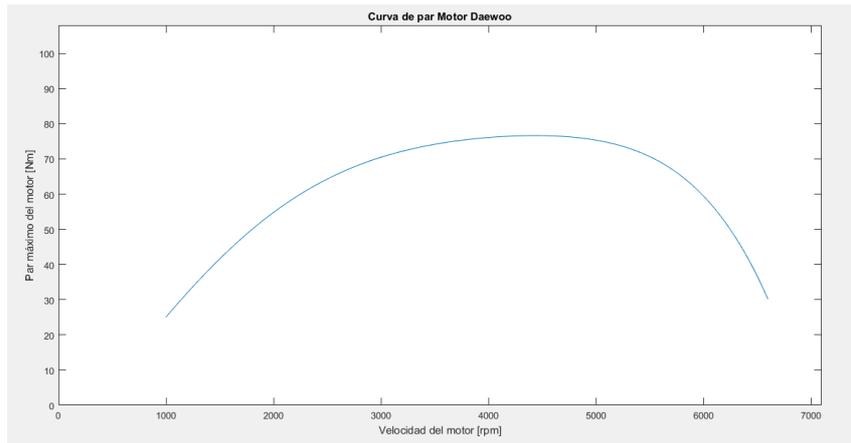


Figura 45. Curva de par motor Daewoo 0.8, polinomio de grado 5

Tras observar algunas de las distintas opciones y a pesar de no existir grandes diferencias, se ha optado por aproximar la curva mediante un polinomio de grado 4, el cual se ajusta adecuadamente a la curva real. A partir de ella y conocidas las distintas relaciones de transmisión, el programa grafica automáticamente las distintas variantes de la curva de par una vez aplicada la relación de transmisión correspondiente.

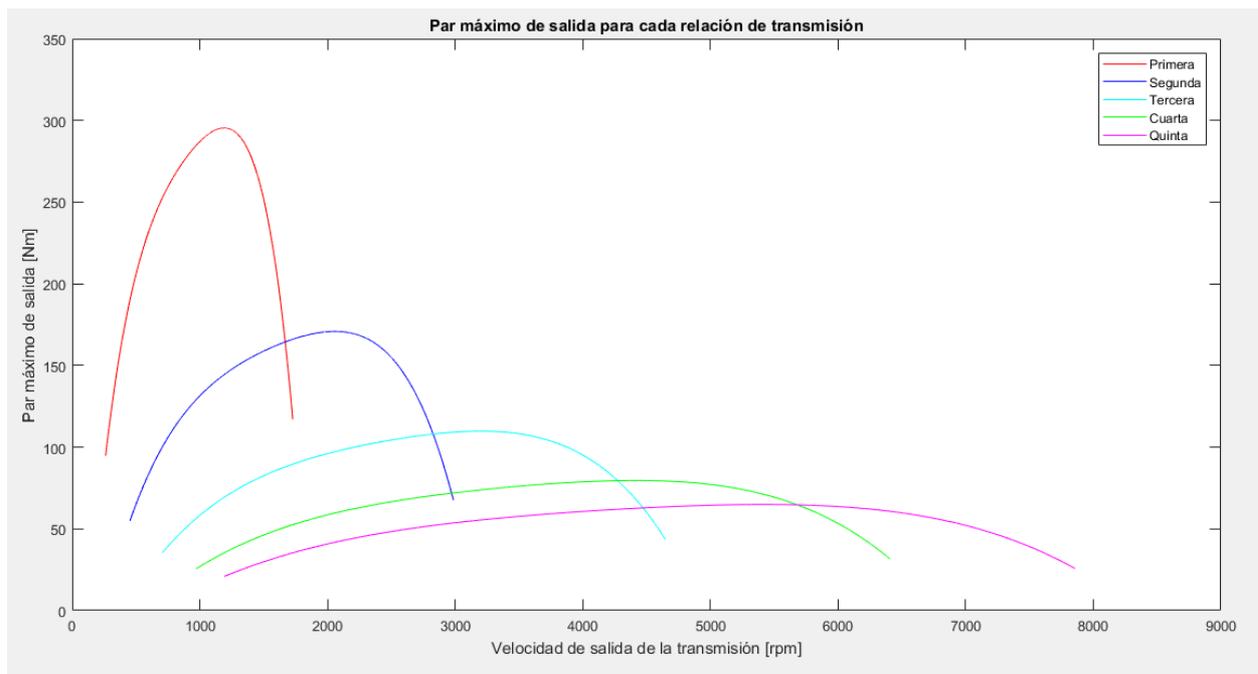


Figura 46. Curva de par máximo etras las distintas relaciones de transmisión

Como se explica en el punto anterior, estas curvas definirán los límites máximos de par para cada velocidad de entrada del motor. Variando desde el cero hasta el valor coincidente con la curva de la marcha correspondiente asignada.

4.3 Resultado del protocolo de ensayo ejemplo

Mediante el programa y según el número de intervalos en que se desee dividir el ensayo para cada marcha, se obtienen las tablas de valores. De esta manera es posible hacer un ensayo más o menos exhaustivo según convenga. En las tablas mostradas a continuación, se puede observar en la primera columna la velocidad de

entrada para el ensayo en rpm y en el resto de las columnas los distintos valores de par a aplicar mediante el freno motor en Nm.

EnsayoPrimera =

3×7 [table](#)

Wensayo	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7
1000	0	18.957	37.914	56.87	75.827	94.784
3800	0	57.328	114.66	171.98	229.31	286.64
6600	0	23.399	46.799	70.198	93.598	117

4. Protocolo de ensayo ejemplo en primera marcha, 3x6

EnsayoPrimera =

6×7 [table](#)

Wensayo	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7
1000	0	18.957	37.914	56.87	75.827	94.784
2120	0	44.27	88.541	132.81	177.08	221.35
3240	0	54.453	108.91	163.36	217.81	272.26
4360	0	58.94	117.88	176.82	235.76	294.7
5480	0	54.135	108.27	162.4	216.54	270.67
6600	0	23.399	46.799	70.198	93.598	117

5. Protocolo de ensayo ejemplo en primera marcha, 6x6

Es posible observar que mientras más divisiones sean aplicadas al ensayo, más puntos intermedios entrarán en el mismo. Como se ha explicado, en la primera columna se tienen las velocidades angulares del motor (ω_e) y para cada una de ellas, en el resto de las columnas, los pares resistentes que se deben aplicar mediante el freno. De esta manera, se procede a realizar el ensayo completo de la caja de cambios para las distintas relaciones de transmisión.

La ventaja que ofrece este sistema de definir el protocolo de ensayo es, principalmente, la automatización del sistema, ofreciendo la posibilidad de elegir las dimensiones del ensayo y obteniendo instantáneamente las tablas de valores que simplemente habrá que ir introduciendo en el sistema. En el banco la manera de operar será, para cada relación de transmisión, introducir la velocidad angular que corresponda, y a continuación ir aplicando los pares resistentes desde el cero hasta el par máximo, volviendo entonces a reducir el par a cero y aumentar la velocidad correspondiente. De esta manera se recorrerán al completo las tablas para cada una de las relaciones de transmisión.

Es fundamental tener en cuenta a la hora de realizar el ensayo que será conveniente darle unos segundos al sistema después de introducir cada combinación de velocidad y par, de manera que el sistema se estabilice y

alcance el régimen estacionario correspondiente, ya que posteriormente el programa en Matlab desarrollado se encargará de analizar esos intervalos constantes que permitirán definir y evaluar el funcionamiento del sistema. Además, al alcanzar el par máximo y querer variar la velocidad correspondiente, será necesario volver a reducir previamente el par a cero. De la misma manera, al variar la relación de transmisión, se llevarán a cero las variables de velocidad y par.

A continuación, se observan el resto de las tablas proporcionadas por Matlab para el ensayo del modelo ejemplo, para 6 divisiones en velocidad y en par.

EnsayoSegunda =

6×7 [table](#)

Wensayo	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7
1000	0	10.967	21.934	32.902	43.869	54.836
2120	0	25.612	51.224	76.836	102.45	128.06
3240	0	31.503	63.005	94.508	126.01	157.51
4360	0	34.099	68.198	102.3	136.4	170.5
5480	0	31.319	62.637	93.956	125.27	156.59
6600	0	13.537	27.075	40.612	54.15	67.687

6. Protocolo de ensayo ejemplo en segunda marcha, 6x6

EnsayoTercera =

6×7 [table](#)

Wensayo	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7
1000	0	7.0468	14.094	21.14	28.187	35.234
2120	0	16.457	32.913	49.37	65.826	82.283
3240	0	20.242	40.483	60.725	80.966	101.21
4360	0	21.91	43.82	65.729	87.639	109.55
5480	0	20.123	40.247	60.37	80.493	100.62
6600	0	8.6982	17.396	26.095	34.793	43.491

7. Protocolo de ensayo ejemplo en tercera marcha, 6x6

EnsayoCuarta =

6×7 [table](#)

<u>Wensayo</u>	<u>Var2</u>	<u>Var3</u>	<u>Var4</u>	<u>Var5</u>	<u>Var6</u>	<u>Var7</u>
1000	0	5.1114	10.223	15.334	20.446	25.557
2120	0	11.937	23.874	35.81	47.747	59.684
3240	0	14.682	29.364	44.047	58.729	73.411
4360	0	15.892	31.785	47.677	63.569	79.462
5480	0	14.596	29.193	43.789	58.386	72.982
6600	0	6.3093	12.619	18.928	25.237	31.546

8. Protocolo de ensayo ejemplo en cuarta marcha, 6x6

EnsayoQuinta =

6×7 [table](#)

<u>Wensayo</u>	<u>Var2</u>	<u>Var3</u>	<u>Var4</u>	<u>Var5</u>	<u>Var6</u>	<u>Var7</u>
1000	0	4.1685	8.337	12.506	16.674	20.843
2120	0	9.7349	19.47	29.205	38.939	48.674
3240	0	11.974	23.948	35.922	47.895	59.869
4360	0	12.961	25.921	38.882	51.843	64.804
5480	0	11.904	23.808	35.712	47.616	59.52
6600	0	5.1454	10.291	15.436	20.582	25.727

9. Protocolo de ensayo ejemplo en quinta marcha, 6x6

5 CONCLUSIONES

A partir del presente trabajo se han logrado automatizar una serie de procedimientos que permitirán, de manera general, definir el protocolo de ensayo a realizar en el banco de ensayos del laboratorio y analizar los datos recogidos durante éste. Es preciso tener en cuenta el enfoque del proyecto hacia una caja de cambio de relaciones discretas, como puede ser una caja tanto manual como automática. Sin embargo, será posible aplicar en un momento dado el programa de análisis a una CVT (Transmisión Continuamente Variable), debido a que éste reconoce y calcula automáticamente los cambios en la relación de transmisión durante el ensayo.

En primer lugar, se comenzó por buscar la mejor manera de tratar los datos recogidos por los sensores en el ensayo. De esta manera se llega a lograr un programa capaz de lidiar con los distintos inconvenientes que puede provocar el análisis de datos, filtrando de manera correcta las señales y eliminando valores que no proporcionaban información útil. Para ello en un principio se tratan los vectores de las señales de manera continua, analizando su secuencia de valores punto a punto, sin embargo, llega un momento en el que se encuentran muchos problemas con las tolerancias entre puntos, que podían presentar pequeñas irregularidades entre ellos. Por ello se optó por analizar las señales a partir de ventanas o intervalos, en los que se puede observar de manera más genérica el comportamiento de la señal en ese intervalo de tiempo. Además, reduciendo la posibilidad de error debido a imperfecciones, ya que permite tomar con mayor holgura las tolerancias necesarias sin riesgo de error.

Con respecto a este código y ligado al problema anterior, se ha tenido que decidir acerca de la definición de la transmisión una vez analizadas las señales. La manera más lógica de trabajar y que además proporciona una información más útil, es la de determinar los valores discretos de la caja en las distintas condiciones de funcionamiento, lo que además es facilitado por el estudio mediante ventanas desarrollado previamente. De esta manera se decidió calcular el rendimiento en las distintas situaciones, existiendo luego la posibilidad de representarlo frente a la velocidad correspondiente o su relación de transmisión. Así será posible estudiar la tendencia de la caja de cambios y ver si su rendimiento varía de una forma u otra al ir aplicando cambios en los parámetros del sistema.

Tras preparar el código de análisis de datos que define la caja de cambios en cuestión, se plantea la manera de realizar el protocolo de ensayos. En un principio se barajó la posibilidad de buscar, mediante la dinámica longitudinal del vehículo, los valores de velocidad y par de distintas situaciones ‘críticas’ a las que podría someterse el vehículo, así como una subida de máxima pendiente o los puntos de máxima velocidad. Sin embargo, finalmente se optó por crear un protocolo de ensayo generalizado y aplicable a cualquier modelo apto en el banco de ensayos. De esta manera, conocidas la curva de par del motor y las relaciones de transmisión del vehículo, el programa sería capaz de generar de manera automática un protocolo de ensayo que recorriera todo el rango de funcionamiento del sistema, alcanzando pares y velocidades máximas para las distintas marchas.

Englobando todos los puntos tratados, se ha llegado a un planteamiento de ensayo y análisis de datos automatizado y eficiente, adaptable a distintas configuraciones del sistema y por supuesto, aplicable al sistema de transmisión instalado en el Laboratorio de Transportes y Automóviles de la universidad.

6 FUTURAS LÍNEAS DE AMPLIACIÓN

Este proyecto va enfocado a su aplicación en el banco de ensayos del laboratorio de la facultad, por lo que uno de los pasos siguientes sería aplicar el programa a un ensayo completo en la caja de cambios adquirida recientemente por el departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y de Transportes, siguiendo debidamente todas las pautas establecidas hasta el momento. De esta manera será posible analizar su funcionamiento, así como el reconocimiento de posibles mejoras que implantar en el programa de ensayo y análisis.

El objetivo por cubrir tras este trabajo partiría de crear una interfaz para el programa, fácil de usar y lo más automatizada posible, en la cual sea posible introducir los parámetros necesarios para el ensayo correspondiente y devuelva por pantalla los resultados deseados, tanto en el caso de obtener el protocolo de ensayo correspondiente como en el caso de analizar las señales y realizar los cálculos pertinentes para definir la transmisión. De la misma manera, sería de gran utilidad obtener automáticamente un informe completo y ordenado del ensayo realizado a partir de introducir las señales recogidas por los sensores.

Anexo A: Manual de usuario

En este anexo se desarrolla el manual de instrucciones correspondiente para el uso de los dos programas de Matlab que constituyen el trabajo. De esta manera se detallan los pasos a seguir en la utilización tanto del programa de análisis del ensayo como del programa que define el protocolo de ensayo, ambos archivos vienen nombrados como AnalisisEnsayo.m y ProtocoloEnsayo.m respectivamente.

Manual de usuario: Programa de análisis

Este programa se encarga, como se ha explicado previamente, de analizar el ensayo realizado en una caja de cambios genérica. Para ello, el código recibe como entrada un archivo.txt en forma de tabla con los datos recogidos por los sensores de velocidad y par durante el ensayo. El usuario únicamente se encargará de adaptar, si es necesario, los filtros de las variables de entrada acorde a sus necesidades, así como las tolerancias empleadas en la segmentación del ensayo dependiendo del orden de magnitud del éste. Finalmente, el programa se encargará automáticamente de analizar el ensayo y mostrar los distintos resultados, dejando en manos del usuario quedarse con aquellos que le resulten de mayor interés.

Antes de la modificación del código, es importante revisar el archivo de texto donde se almacenan los vectores de datos recogidos en el ensayo, ya que el formato del éste será fundamental para que el programa sea capaz de leerlo de manera exitosa. De esta manera:

- Los valores recogidos de tiempo [s], velocidad de entrada [rpm], par de entrada [Nm], velocidad de salida [rpm] y par de salida [Nm] vienen dados en columnas separadas en ese mismo orden.
- Eliminar del txt, si aplica, los títulos de las distintas columnas (p. ej. 'Par entrada [Nm]').
- Comprobar que la separación de decimales en el archivo.txt viene dada por puntos y no por comas, ya que Matlab no reconoce las comas para ello. En caso de tener los decimales de toda la tabla separados por puntos ir a **Edición > Reemplazar** y buscar las comas del archivo para reemplazarlas por puntos, pulsar **Reemplazar todo** y ya estará listo.

Una vez preparado el archivo.txt, ya es posible pasar al código de programa. Los pasos por seguir para la modificación de los parámetros son los siguientes:

1. Cargar el archivo de ensayo.

Situarse en a las filas 8 y 9 del código, donde se introducirá la ruta del archivo correspondiente para guardarla en la variable *texto*.

```
texto='Pegar aquí ruta del archivo.txt';
```

Automáticamente mediante la función *load*, Matlab leerá el archivo y guardará los valores en la matrix *datos*, con la que trabajará posteriormente.

```
datos=load(texto);
```

2. Definir la suavidad de los filtros.

Según sea necesario y dependiendo de la calidad de las señales recogidas por los sensores, se podrá modificar la suavidad de los filtros mediante los coeficientes correspondientes, hasta adaptar el programa a

las necesidades del usuario.

Para ello, es necesario ir a las líneas 69 y 74 del código para modificar los coeficientes del filtro de velocidad y par respectivamente, denominados *timew* y *timeT*. Por lo general las señales de velocidad vendrán con menor efecto de ruido que las de par, por lo que habrá que darle un valor menor al coeficiente de las primeras.

Los valores utilizados en el segundo ensayo ejemplo del laboratorio, que se podrán tomar como valores iniciales en busca de los apropiados en otros ensayos, han sido los siguientes:

```
timew = 10;  
timeT = 50;
```

3. Adaptar las tolerancias de la segmentación.

Para que el programa realice correctamente la segmentación del ensayo, deben ser introducidos los valores de tolerancias adecuados. De manera que cuando recorra los vectores de datos reconozca adecuadamente los intervalos constantes. Esto puede ser importante sobretodo si se tienen ordenes de magnitud diferentes ya que, por ejemplo, en el presente proyecto los ensayos de prueba en el banco tenían órdenes de magnitud del par de salida diferentes, al ser el primero un ensayo libre de par y el siguiente con par resistente a la salida. De la misma manera estas tolerancias tuvieron que ser adaptadas al pasar del ensayo en el prototipo al ensayo real.

Si se ha seguido correctamente el protocolo de ensayo, teniendo en cuenta todas las consideraciones de seguridad de éste y se han utilizado sensores de buena calidad bien calibrados, se podrán utilizar tolerancias menores ya que los datos serán más precisos.

Al igual que en el caso de la suavidad del filtrado, se pueden ir probando valores hasta dar con los adecuados. Para su modificación basta con ir a las líneas 314 y 315 del código y modificar los valores correspondientes de las variables *tolW* y *tolT*. En el segundo ensayo ejemplo del laboratorio se han utilizado los siguientes valores, que pueden utilizarse como una primera aproximación:

```
tolW=10;  
tolT=10;
```

Finalmente, ya solo queda correr el programa y analizar los resultados obtenidos.

Manual de usuario: Programa de protocolo de ensayo

Este segundo programa en Matlab se encargará de producir de manera automática el protocolo de ensayo a seguir a partir del sistema a ensayar elegido. Para ello, el código recibe como entrada una serie de puntos que definen la curva de par del motor en cuestión y las distintas relaciones de transmisión de la caja de cambios obtejo de estudio, en caso de tener una transmisión con relaciones puntuales se introducen esos valores mientras que en el caso de una CVT será necesario definir previamente las relaciones a utilizar.

Una vez se tenga la curva de par del motor proporcionada por el fabricante y las relaciones de transmisión de la caja a ensayar, se abrirá el archivo con el código del programa denominado ProtocoloEnsayo.m y se incluirán estos datos en el programa de cara a obtener el protocolo de ensayo de la siguiente manera:

1. Insertar la curva de par del motor en cuestión.

Para ello, en las líneas 6 y 7 del código se introducirán una serie de puntos de par frente a velocidad respectivamente, que pertenezcan a la curva dada por el fabricante. Cuanto mayor sea el número de puntos introducidos y su exactitud, mejor será la aproximación de la curva de par introducida.

En el caso ejemplo, dada la curva de par se han introducido un total de 8 puntos de la siguiente manera (con los puntos de par en el vector *y*, y sus velocidades respectivas en el vector *x*):

```
y = [25 55 70 76 78 74 60 30];  
x = [1000 2000 3000 4000 4400 5000 6000 6600];
```

El programa se encargará de cuadrar la curva en la gráfica automáticamente.

A continuación, deberá situarse en la línea 22 del código, donde se introduce el grado del polinomio que aproximará la curva de par mediante la denominada curva de regresión. Por lo general, se puede observar poca variación, estando los valores con mejores resultados entre el grado 3 y 5, de esta manera se escogerá la que mejor se adapte a la curva real.

En el caso ejemplo se decidió aproximar la curva mediante un polinomio de grado 4:

```
j=4;
```

2. Definir las relaciones de transmisión de la caja de cambios.

Para ello, solo es necesario introducir los valores correspondientes en el código entre las líneas 71 y 75, que en el caso ejemplo fueron las siguientes:

```
m1=3.82;  
m2=2.21;  
m3=1.42;  
m4=1.03;  
m5=0.84;
```

Será necesario tener en cuenta que, como se puede observar en el ejemplo, las relaciones de transmisión vendrán dadas por la velocidad de salida dividida entre la velocidad de entrada. Así el programa funcionará correctamente.

3. Definir el número de divisiones del rango de velocidad y par del ensayo.

Estos valores determinarán las dimensiones de la tabla que define el protocolo de ensayo a realizar. Se debe tener en cuenta que al introducir n divisiones en velocidad, por ejemplo, la tabla mostrará 6 valores de velocidades, comenzando en el 0 y acabando en la máxima.

Estos valores se introducen en las variables nW y nM para el rango de velocidades y par, en las líneas 146 y 147 del código, respectivamente. En el ejemplo se han dividido ambos rangos en 5 intervalos, quedando de la siguiente manera:

```
nW=5;  
nM=5;
```

Es necesario mencionar que, al aumentar el número de divisiones de par, para poder visualizar todos los valores en las tablas de manera correcta, se tendrán que introducir en la definición de éstas el número de columnas necesarias. De esta manera, siempre se incluirá un número de columnas igual al número de intervalos más uno. Esta adición de columnas será necesaria introducirla en la definición de cada una de las tablas que, en el caso ejemplo de 5 relaciones de transmisión, vendrán dadas en las líneas de código 165, 175, 185, 195 y 205 para cada ensayo (relación de transmisión) respectivamente.

En el caso ejemplo con 5 divisiones en el rango de velocidades y par, habrá que incluir 6 columnas y la definición de la tabla correspondiente al primer ensayo quedará de la siguiente manera:

```
EnsayoPrimera =  
table (Wensayo, Mensayo1(:,1),Mensayo1(:,2),Mensayo1(:,3),Mensayo1(:,4),  
Mensayo1(:,5),Mensayo1(:,6))
```

Finalmente, solo queda ejecutar el programa y se obtendrán las distintas gráficas y las tablas correspondientes con los valores que se asignarán a las variables durante el ensayo.

Es necesario tener en cuenta, de la gráfica de par tras las distintas relaciones de transmisión, el par máximo que alcanzará la salida con la relación más baja, ya que este valor no debe superar el par máximo que es capaz de producir el freno motor del laboratorio.

REFERENCIAS

- [1] Pintado, P., *Un curso de automoción*, 1994.
- [2] Daniels, J., *Tecnología del coche moderno*, 2005. [Traducido al español de Modern Car Technology]. Barcelona, España: Ediciones CEAC
- [3] Castro Sánchez, J. , *Diseño de un banco de pruebas*, 2010, (Trabajo de Grado). Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- [4] *SENSING*. Recuperado de <https://sensores-de-medida.es/medicion/sensores-y-transductores/sensores-de-par-y-torsion/>.
- [5] Tecnodelsa, 2015. Recuperado de <https://www.tecnodelsa.com/transmision-hidrostatica-o-transmision-con-convertidor-de-par/>
- [6] MathWorks. Recuperado de <https://es.mathworks.com/help/matlab/ref/filter.html>.

