

Pruebas Dinamométricas

Camilo García Tenorio
Juan Camilo Sierra Castellanos
Kevin Mauricio Moreno Cabezas

8 de diciembre de 2013

1. Introducción

Para el proyecto final y laboratorio del curso dinámica vehicular se realizó una prueba con los dinamómetros del departamento de ingeniería mecánica sobre un automóvil de tracción delantera. La prueba consistió en variar la carga sobre las ruedas de tal manera que se pueda medir y caracterizar el torque y la potencia en el eje de tracción sobre un rango de revoluciones y de esta forma obtener las gráficas características de rendimiento del motor.

2. Objetivos

El laboratorio consistió en medir la potencia neta entregada por un motor de combustión interna en la condición de altura que se presenta en Bogotá.

La potencia entregada por el motor se mide directamente sobre el eje de tracción del vehículo, sin desacoplar el motor de los diferentes sistemas que permiten el funcionamiento efectivo de todo el vehículo y consumen potencia de este, obteniendo como resultado la potencia neta que entrega el motor.

3. Alcance y Generalidades

El laboratorio se guió por la norma técnica SAE J1349 para medir las variables y calcular la potencia neta entregada por el motor del vehículo. El alcance de la norma SAE J1349 excede el alcance de este laboratorio, pues la norma también establece los parámetros para la medición de consumo específico de combustible del motor y también permite correlacionar los resultados de potencia neta con factores ambientales como densidad del aire, temperatura del mismo y humedad relativa para hallar una equivalencia al rendimiento del motor a condiciones de presión y temperatura ambientales estándar. La medición de las variables necesarias para determinar el consumo específico implica realizar acciones intrusivas en el sistema de bombeo de combustible del vehículo.

Es por esto que esta caracterización de consumo queda excluida del alcance del proyecto, pues durante su ejecución se pretendió ser lo menos intrusivo sobre el vehículo. Además el objetivo del laboratorio no pretende correlacionar las variables ambientales como temperatura del aire y humedad relativa con el rendimiento del motor ya que se pretende evaluar el efecto de la altura, excluyendo de esta manera la rigurosidad en la medición de las variables mencionadas. Sin embargo, para garantizar la capacidad de replicar la experiencia de laboratorio posteriormente, sí se tendrá un control sobre estas variables ambientales.

3.1. Aspectos de seguridad

El desarrollo de las pruebas del laboratorio hace necesario desmontar las llantas del eje de tracción del vehículo y en su lugar montar dinamómetros de cubo. Esto representa una tarea de manipulación de maquinaria pesada (vehículo y dinamómetros). Es por esto que se debe garantizar la seguridad de los participantes del laboratorio y preservar el correcto funcionamiento de los instrumentos de medición. Adicionalmente, la caracterización se realiza en un recinto cerrado sobre un vehículo con un motor de combustión interna, en el cual los gases de escape son nocivos para los seres humanos. Es por esto que es necesario usar de forma adecuada, estar controlando y supervisando el sistema de extracción instalado en el laboratorio.

4. Previo a la prueba

4.1. Variables a Medir

El objetivo final del laboratorio es calcular la potencia neta entregada por el motor de combustión. Para esto se medirán las variables como torque entregado en las ruedas, velocidad angular sobre el eje de tracción y velocidad angular en el motor, haciendo uso de los dinamómetros que dispone el departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de los Andes. Además se tendrá un control sobre las variables atmosféricas como temperatura ambiente, presión atmosférica y humedad relativa haciendo uso de la estación meteorológica incluida con la instrumentación de los dinamómetros.

4.2. Instrumentación

- Dinamómetros de referencia 2000 AWD axle-hub dynamometer. Disponibles en el laboratorio de ingeniería mecánica de la universidad.
- Medición de temperatura, presión atmosférica y humedad relativa. Estación meteorológica disponible con la instrumentación de los dinamómetros.
- Software de adquisición de datos. Dyno-MAX PRO. Disponible en el laboratorio.

5. Desarrollo de prueba

5.1. Vehículo a Utilizar

Para la realización de la práctica del laboratorio se utilizó un vehículo de referencia Ford Fusion modelo 2007. Cuenta con un motor de combustión interna de cuatro tiempos con un volumen desplazado de 3L y una configuración de 6 cilindros en V. Según la ficha técnica el motor de este vehículo es capaz de generar un máximo de potencia de 221hp a 6250 RPM y un torque máximo de 278 Nm a 4800RPM.

Siguiendo protocolos de seguridad se montó el vehículo sobre los dinamómetros (Figura 1). El aspecto de seguridad mas crítico que se presentó fue la acumulación de gases de combustión dentro del laboratorio, dado que el vehículo cuenta con dos salidas de escape mientras que el sistema de extracción de gases admite solo una entrada. Sin embargo este impasse se superó manteniendo un tiempo prudente entre pruebas para que el sistema de extracción específico del laboratorio en conjunto con el sistema de extracción del edificio mantuvieran el aire del ambiente sano ademas de hacer una evacuación de las personas que participaban en la practica durante el intermedio de cada prueba.



Figura 1: Montaje vehículo sobre dinamómetros

5.2. Montaje Vehículo

Además se prestó atención a la forma de realizar las conexiones eléctricas y electrónicas necesarias para la correcta medición de las variables, tratando de minimizar el ruido electromagnético.

5.3. Realización prueba

Para realizar la prueba se pensaba utilizar el sistema de control integrado al software de los dinamómetros, que permite controlar la velocidad angular en el eje de tracción exigiendo de esta manera que el motor trabaje en diferentes rangos de velocidad angular con la condición máxima de admisión y así obtener distintos niveles de torque. Sin embargo, por la falta de conocimiento en el uso de los equipos no se logró realizar este procedimiento.

La prueba final se realizó con la máxima condición de admisión del motor, ajustando manualmente la corriente y por lo tanto la carga de los dinamómetros para conseguir velocidades angulares en el eje y en el motor arbitrarias. Una vez conseguida la velocidad angular deseada se dejó constante la carga de tal manera que el sistema lograra una condición de estabilidad. Una vez estable se dejó el sistema en la misma condición durante por lo menos 5 segundos de tal manera que se tuviera una medida más precisa de las variables en esa condición. Este mismo procedimiento se realizó 9 veces en un rango de velocidad angular del motor comprendido entre 2000 y 4000 RPM, esto por los aspectos de seguridad relacionados con gases de escape y el sistema de extracción, y por seguridad en cuanto a la integridad del motor.

En la Figura 2 se puede ver la interfaz disponible para el piloto, en donde se ve la velocidad angular del motor [RPM], el dato medido de torque [Nm] y el dato calculado de potencia [kW].



Figura 2: Interfaz gráfica durante la toma de datos

6. Resultados

Se van a mostrar dos tipos de resultados, los entregados por el software de adquisición y por el post procesamiento realizado manualmente.

Las variables medidas durante la prueba se muestran en la Figura 3. Las nueve secciones de las gráficas con pendiente cercana a 0 representan los nueve puntos donde se dejó llevar al sistema a estado estable. Estos puntos no son equidistantes desde el eje 'y' dado que la toma de datos se realizó manualmente sobre un potenciómetro cuya respuesta es logarítmica. Los datos que se tomaron para el post procesamiento manual corresponden a las primeras ocho secciones de la figura.

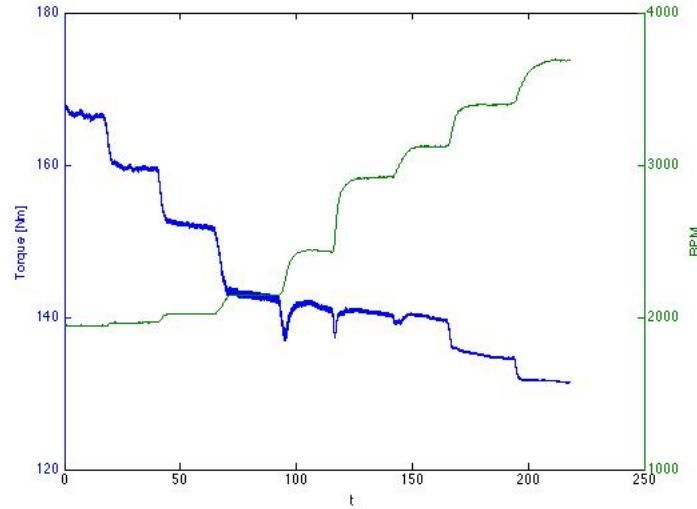


Figura 3: Evolución de las variables durante la prueba

Las discontinuidades presentes en la gráfica del momento par se deben al tiempo de respuesta tanto del vehículo y su tren motriz como del sistema de medición existente una vez se hace el cambio de velocidad angular en el motor. El comportamiento de ambas variables es inverso; mientras la velocidad angular aumenta con el tiempo debido al tipo de prueba que se realizó, el torque tiende a disminuir.

6.1. Post procesamiento automático

En general, las curvas de torque contra velocidad angular del motor muestran un comportamiento semejante a una parábola negativa para la respuesta del

torque. Sin embargo, si se observa el comportamiento en función del tiempo de las variables, se observa a primera vista que el comportamiento se asemeja a lo reportado generalmente. Pues se esperaría un comportamiento del torque creciente por lo menos para los primeros valores de revolución del motor.

En el post procesamiento de datos que realiza el software en donde calcula el comportamiento del torque y de la potencia con respecto a la velocidad del motor (Figura 4), sí se puede ver que la forma de los resultados es consistente con el comportamiento típico de un motor de combustión interna.

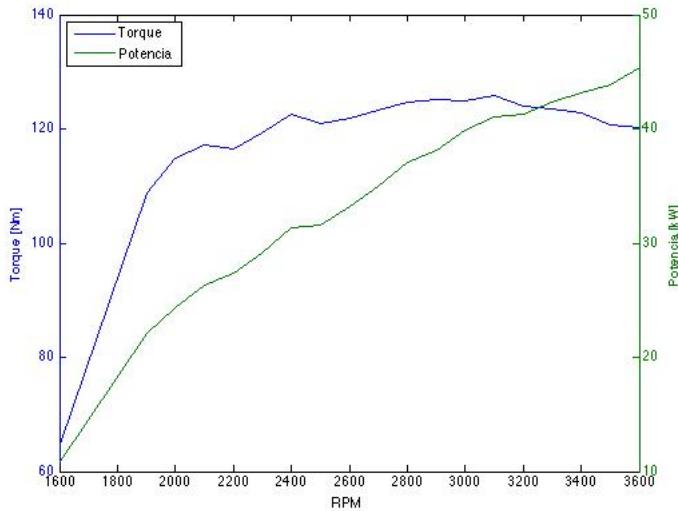


Figura 4: Torque y potencia con respecto a velocidad del motor

Esta gráfica muestra un valor máximo para el torque de 125.8 Nm @3100 RPM, momento a partir del cual el torque empieza a disminuir. Este comportamiento a pesar de que tiene una forma similar a la esperada, discrepa bastante con los valores esperados de torque para este tipo de vehículo. El fabricante reporta un torque máximo a 4800 RPM y a menos que el máximo torque obtenido sea un máximo local, la discrepancia no es solo en el valor del torque sino también en el valor de velocidad angular del motor sobre el cual ocurre.

Para la potencia se obtuvo un valor máximo de 45.3kW @3600 RPM. El comportamiento de la potencia en función de las RPM si parece seguir creciendo mas allá del rango seleccionado de RPM, por lo cual no se puede decir mucho acerca de su correlación con el valor de RPM al cual ocurre la máxima potencia reportada. Sin embargo se puede observar que el valor obtenido de potencia es

relativamente bajo en relación a lo que dice el fabricante. Esta discrepancia se debe a los siguientes factores:

- Al desgaste natural del motor que se produce desde el momento en el que sale de la fábrica.
- Debido a la altura a la que se realizó la prueba ya que es un motor de aspiración natural y los valores que reporta el fabricante son a nivel del mar.
- Debido a la caja de trasmisión automática.

6.2. Post procesamiento manual

Para esta sección se realiza un análisis tanto en el motor como de la llanta y se realiza un análisis de la relación entre los dos escenarios con respecto al comportamiento normal de una caja automática. Para esto, se muestra primero (Figura 5) que la velocidad angular de la rueda y la velocidad del motor no cuentan con una relación lineal dado que la caja automática es un convertidor de torque con acoplos fluidos y por lo tanto la relación de velocidades sobre una misma marcha pueden cambiar según el estado del motor.

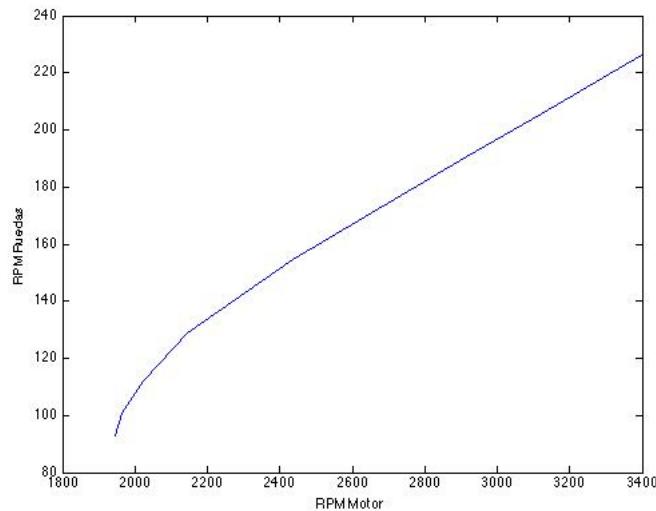


Figura 5: Relación entre la velocidad de las llantas y del motor

Con esta información, se puede obtener la relación promedio para cada uno de los puntos (Figura 6).

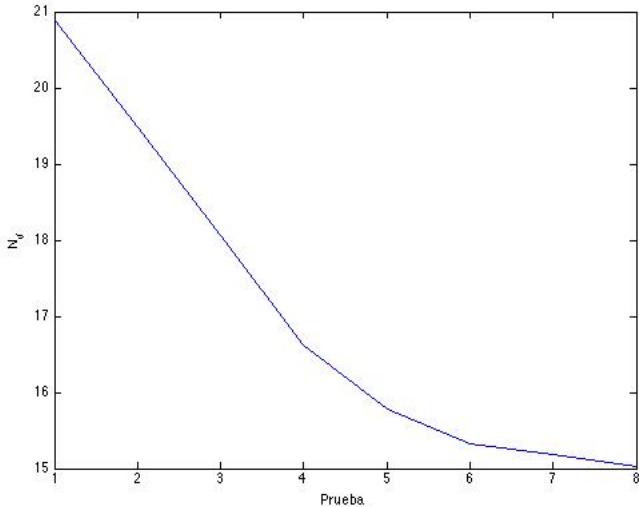


Figura 6: Factor de transmisión de la caja en los 8 puntos medidos

Con la relación entre velocidades obtenida se puede calcular el comportamiento del torque a la salida del motor a partir del torque medido por los dinamómetros en el eje de tracción (Figura 7(a)). Hay que resaltar que por las características de convertidor de torque de la caja automática, no se puede tener un valor de eficiencia y por lo tanto el cálculo queda en términos de esta. Los datos obtenidos con este supuesto se observan en la Figura 7(b).

Como se puede observar a partir de la Figura 4 obtenida por el software y la Figura 7(b) obtenida por el procesamiento manual, la eficiencia utilizada por el software se encuentra entre el 70 % y el 80 %.

7. Conclusiones

- Realizar pruebas dinamométricas sobre un vehículo revela el estado real de este en las condiciones en las que se encuentra, ya que los datos reportados por el fabricante se toman en condiciones optimas, tanto atmosféricas como de vida del motor.
- Al realizar este tipo de pruebas es muy importante el factor de seguridad, el aspecto crítico sobre nuestro set de pruebas fue el manejo de los gases de combustión debido a la particularidad de tener un carro con doble escape y un solo sistema de extracción.
- El contar con un vehículo con el cual se pueda hacer un uso mas amplio y lograr mayores velocidades del motor puede proveer mas información para

caracterizar el rendimiento del motor.

8. Recomendaciones

Para un posterior desarrollo de una prueba similar se recomienda:

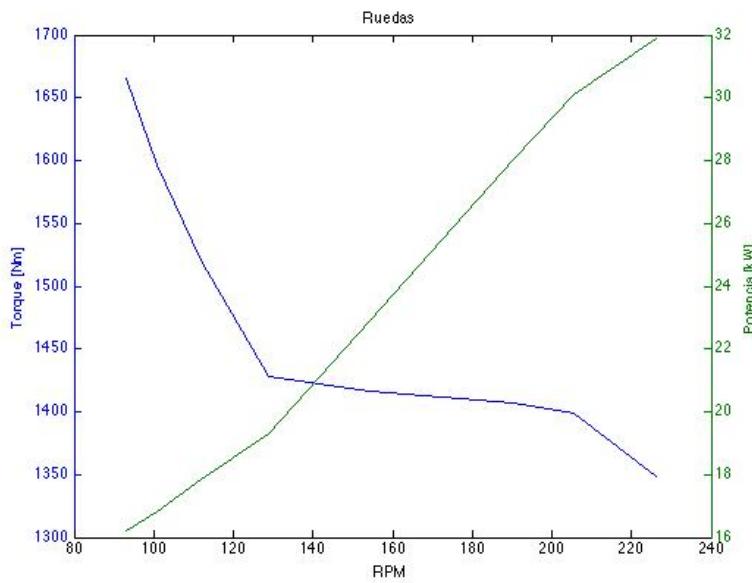
- Asegurar que el acople se ajuste perfectamente al vehículo de prueba. Se aseguraría mejor este aspecto si se cuenta con un acople que se ajuste al común de la configuración de pernos de los vehículos más comerciales en Colombia. A partir de la información de los carros más vendidos en Colombia durante el 2012 [1] [2].
 - Configuración de pernos 4x100mm
 - Chevrolet: Aveo, Aveo Emotion, Sail, Sonic, Spark, Spark GT.
 - Renault: Sandero, Sandero Stepway, Twingo, Clio, Logan.
 - Kia: Picanto, Rio.
 - Mazda: 2.
 - Nissan: March.
 - Hyundai: i25.
 - Volkswagen: Gol.
 - Configuración de pernos 4x114mm
 - Ford: Fiesta.
 - Nissan: Versa, Tiida.
 - Configuración de pernos 5x114mm
 - Volkswagen: Jetta.

Por lo cual se recomienda adquirir un acople apto para un patrón de pernos de 4x100mm.

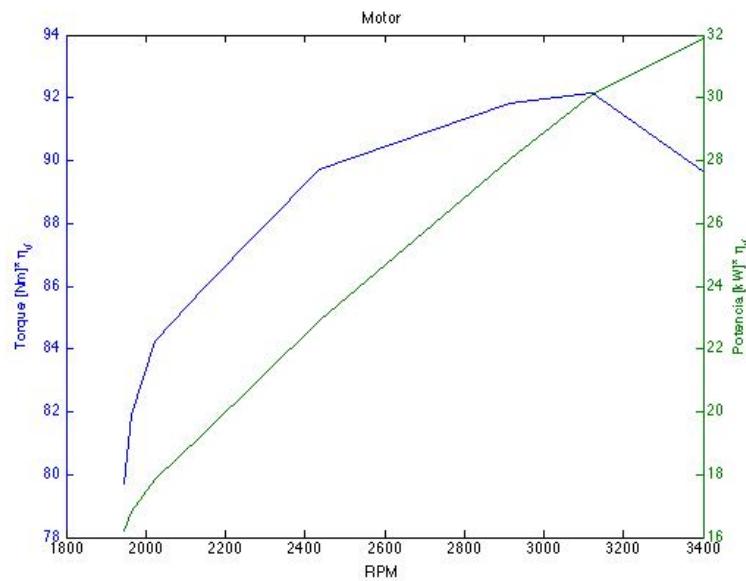
- Contar con mejor documentación acerca del software de adquisición de datos así como experiencia en el uso de este mismo.
- Los dinamómetros junto con el acople que traen por defecto están diseñados para medir sobre vehículos de alta gama en donde generalmente se tiene doble escape. Es por esto que se recomienda pensar en un sistema de extracción que maneje estas configuraciones.

Referencias

- [1] Redacción Motor, *Así fue el desempeño de los fabricantes en Colombia el año pasado*, 25 de enero de 2013, disponible en http://www.motor.com.co/vehiculos-motor/ARTICULO-WEB-NEW_NOTA_INTERIOR-12549210.html.
- [2] Cararac, *Bolt Sizes*, disponible en http://cararac.com/bolts_sizes/.



(a) Resultados en función de la velocidad de la Rueda



(b) Resultados en función de la velocidad del Motor

Figura 7: Torque y Potencia