

DESARROLLO DE UN BANCO INERCIAL DE RODILLO ASISTIDO POR COMPUTADORA PARA EL ENSAYO DE MOTORES A EXPLOSIÓN.

José L. Pombo ⁽¹⁾, Javier A. Yagüe*^(1,3) y Sergio A. Vera ^(2,3)

⁽¹⁾Laboratorio de Vibraciones Mecánicas, Departamento de Ingeniería – Universidad Nacional del Sur. Av. Alem 1253. (8000) Bahía Blanca, Argentina. E-mail: jyague@uns.edu.ar

⁽²⁾Departamento de Física e Instituto de Mecánica Aplicada – Universidad Nacional del Sur. Av. Alem 1253. (8000) Bahía Blanca, Argentina.

⁽³⁾Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño y desarrollo de una instalación para el ensayo de motores a explosión montados sobre vehículos, sin la necesidad de desvincularlos de sus carrocerías. Dicha instalación de prueba, permite el relevamiento de las curvas de performance (torque y potencia en función del número de revoluciones) de tales motores obteniendo valores reales transmitidos al piso, teniendo en cuenta el rendimiento de la cadena cinemática que une el motor con las ruedas motrices, y no requiriendo instalación de agua, lo cual lo convierte en mucho más económico y práctico respecto de otros sistemas de ensayos.

Su funcionamiento se basa en el principio inercial. Consistente de un rodillo, sobre el cual se coloca la rueda motriz del vehículo a ensayar, vinculado solidariamente, por uno de sus extremos, a un volante cuyo momento de inercia es perfectamente conocido, y por el otro, a un sistema de medición encargado de generar una señal (tren de pulsos) de acuerdo con el movimiento del rodillo. Dicha señal, es enviada a un conversor analógico-digital y procesada por un software diseñado especialmente para tal efecto. El conjunto hardware-software, instalado en una PC, memoriza la información suministrada por el sistema de medición, y computa la aceleración angular instantánea del rodillo y el torque asociado a esta de acuerdo con la inercia rotacional del volante. Asimismo, la potencia se obtiene relacionando cada valor de torque, al valor de velocidad angular correspondiente. El software se encuentra programado en los entornos LabView y MatLab.

Finalmente, se presentan las curvas características de ensayo de una motocicleta Suzuki DR-350 obtenidas con la instalación construida, comprobándose el adecuado comportamiento de la misma.

Palabras Claves: Banco Inercial – Ensayo – Motor a explosión.

1. INTRODUCCIÓN.

Los motores a explosión de vehículos (motocicletas, automóviles, camiones) deben hacer frente a condiciones operativas de velocidad variable, siendo necesario conocer el comportamiento y/o las prestaciones de los mismos en dichas condiciones. Los parámetros más relevantes en relación a la caracterización de las prestaciones de un motor a explosión son el torque y la potencia para cada número de revoluciones [1]. Para la obtención de tal información, es necesario someter al motor a ensayos que permitan poner en evidencia alguno de dichos parámetros o una variable proporcionalmente relacionada con alguno de ellos, para que, mediante su medición, sea posible la determinación de los mismos.

La mayoría de los bancos de ensayos de motores, poseen como elemento de absorción de potencia, frenos hidráulicos (Froude) o eléctricos (Foucault), cuya fabricación requiere disponer de una sofisticada tecnología. Estos bancos se caracterizan por poseer un complejo sistema de medición que requiere la utilización de una celda de carga y transductor de rpm, necesitando además, de una etapa de refrigeración para su funcionamiento, lo cual sumado a lo dicho anteriormente los convierte en instalaciones verdaderamente costosas.

El modelo de banco inercial se caracteriza por su sencillez constructiva, siendo un volante el encargado de la absorción de la energía y no requiriendo ninguna instalación para refrigeración. Además, su principio de funcionamiento hace que los valores obtenidos de torque y potencia estén referidos a periodos de aceleración del vehículo ensayado y no a regímenes de velocidad estable, de poco interés principalmente en el ámbito de la competición. Sin embargo, estos bancos presentan la dificultad de la medición de la aceleración angular de un rotor, para lo cual existen pocas técnicas difundidas.

Pese a su temprano conocimiento, los bancos inerciales de rodillo fueron desplazados por bancos de rodillos que disponían de frenos dinamométricos como medio de absorción y medición de potencia. La tecnología analógica de ese tiempo dificultaba enormemente el desarrollo de este concepto de bancos.

Con el advenimiento de las computadoras y las tecnologías digitales, la fabricación de este tipo de instrumental se vio facilitada. Sin embargo, la misma estaba supeditada a sofisticadas etapas de muestreo, adquisición y procesamiento de señales, cuyo dominio era propio de Ingenieros electrónicos e Ingenieros en computación.

En el presente trabajo, se expone concretamente una técnica alternativa específica para la resolución de este tema. El mismo fue presentado como tesis final de carrera por el Ingeniero Javier Yagüe para alcanzar su título de grado en Ingeniería Mecánica.

El objetivo del presente trabajo es presentar la instalación desarrollada para el ensayo de motores a explosión montados sobre motocicletas y demostrar su perfecto funcionamiento para ser empleada en el ensayo de vehículos. Se plantea el desarrollo de una estación de bajo costo y tamaño reducido, asistida por adquisición y procesamiento de datos por computadora, factible de llevar a cabo por laboratorios universitarios y/o talleres de pequeño y mediano porte.

La adquisición de datos por computadora se realiza mediante una tarjeta conversora analógica digital y un software específico programado en el entorno LabVIEW. Este lenguaje de programación, desarrollado por la empresa National Instrument, posee herramientas de programación gráficas que lo hacen muy conveniente para que un Ingeniero con solo conocimientos básicos de programación pero con el conocimiento profundo de la física del problema pueda desarrollar la aplicación más adecuada para su necesidad. De esta manera, herramientas como LabVIEW y MatLab hacen posible el desarrollo completo de instalaciones de este tipo por parte de Ingenieros Mecánicos con moderados conocimientos en programación y muestreo de señales.

2. DESCRIPCION DE LA INSTALACION.

La Figura 1 muestra, en forma esquemática, el banco de ensayo en cuestión. El mismo consta básicamente de un chasis 1 sobre el cual se aloja un rodillo 2 vinculado, por uno de sus extremos, a un volante 3 y, por el otro extremo, a una etapa de medición 4, seguida de una etapa de adquisición y procesamiento de datos 5.

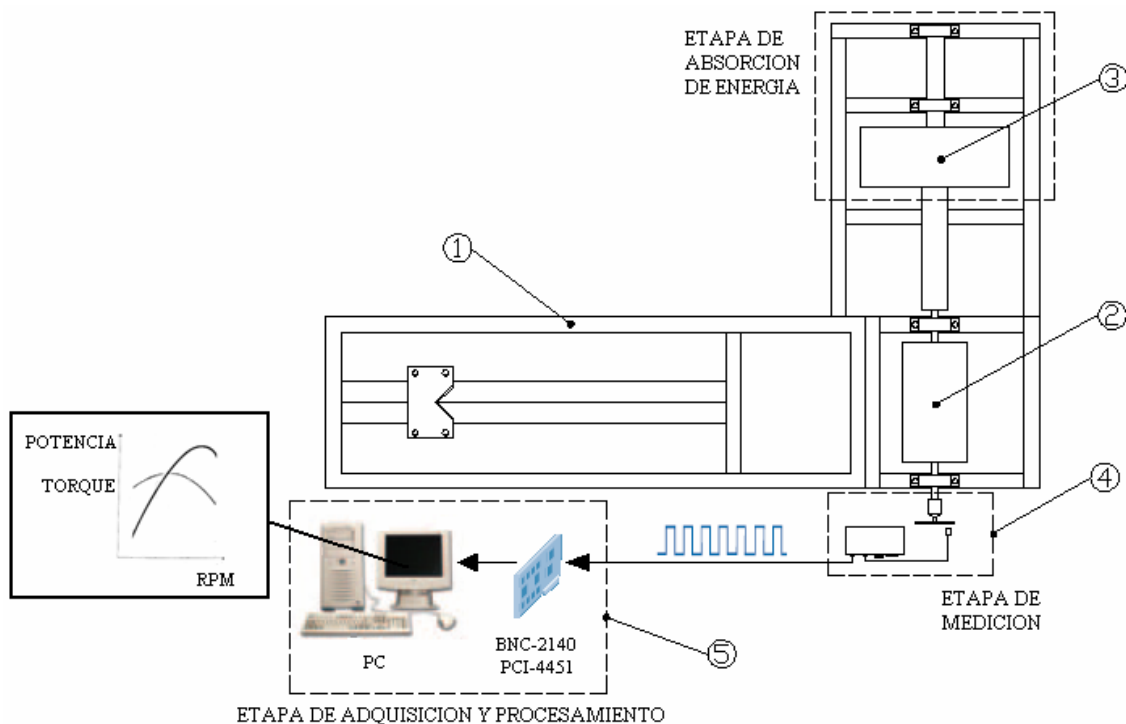


Figura 1 Esquema de la instalación

El diseño del chasis permite soportar y posicionar correctamente el vehículo de prueba (en este caso particular una motocicleta) sobre la instalación. La vinculación de la parte motriz de dicho vehículo con la etapa de absorción de energía (volante) se efectúa por intermedio de un rodillo hueco (2, ver Figura 1) de diámetro $\Phi=218\text{mm}$ y longitud 400mm.

La arquitectura modular de la instalación posibilita un fácil desarme permitiendo su traslado a circuitos de pruebas a diferencia de los bancos de ensayos fijos.

En la Figura 2 puede observarse la instalación de ensayo completa.



Figura 2 Instalación de Ensayo

2.1. Etapa de absorción de energía.

Se encuentra integrada por un volante de fundición solidario a un extremo del eje del rodillo por medio de un eje cardánico. Este tipo de unión admite desalineación facilitando su armado en ocasiones de ensayos en campo. El volante posee una inercia $I = 6 \text{ Kgm}^2$, la cual fue determinada por métodos gráficos, considerando homogeneidad en el material del mismo.

2.2. Etapa de medición.

La etapa de medición, está integrada por un disco reflectivo sectorizado (4 sectores) dispuesto en un extremo del eje del rodillo y un cabezal fotoeléctrico enfocado a dicho disco (ver Figura 3).



Figura 3 Sistema de medición

Dicho cabezal, se encuentra integrado por un foto-transistor tipo Darlington que forma parte de un circuito electrónico que permite obtener un pulso cada vez que un sector del disco reflectivo se enfrenta al haz de luz del cabezal. El circuito en cuestión y su fuente de alimentación, se encuentran ubicado dentro de un gabinete protector, el cual posee un terminal tipo BNC para salida de la señal y un potenciómetro para ajustar la amplitud de la misma a los valores de

voltajes impuestos por las placas adquisidoras de datos presentes en el mercado (+/- 10 V). Así, la señal se encuentra perfectamente acondicionada para ser ingresada a un dispositivo adquisidor y efectuar su posterior muestreo, adquisición y procesamiento. En la Figura 4 se observa el registro de una señal tren de pulsos típica entregada por la etapa de medición durante un ensayo.

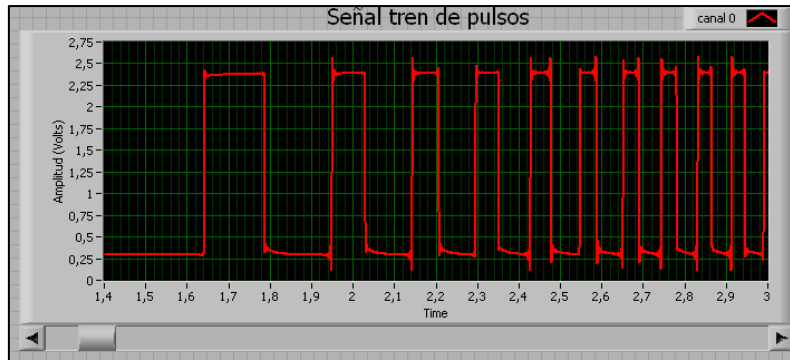


Figura 4 Señal de salida de la etapa de medición

2.3. Etapa de adquisición y procesamiento de datos.

El hardware de adquisición, se encuentra integrado por una tarjeta National Instrument PCI-4451 instalada en una PC. La señal entregada por el sistema de medición es ingresada a la tarjeta en cuestión por intermedio de una bornera BNC-2140.

El hardware es gobernado por un soft especialmente diseñado para esta aplicación y desarrollado en los entornos de LabVIEW y MatLab. Así, el conjunto hardware-software se encarga del muestreo y adquisición de la señal tipo tren de pulso y su posterior procesamiento, entregando las gráficas rpm vs. torque y rpm vs. potencia correspondiente al vehiculo testeado durante su ensayo.

3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

El principio de funcionamiento del banco deriva de la implementación de la primera ley de Newton para movimiento rotacional [2]. Primeramente, consiste en determinar la velocidad angular y la aceleración angular que experimenta el conjunto rodillo-volante durante el tiempo que transcurre el ensayo del vehiculo a testear. Una vez hecho esto, con el valor del momento de inercia del volante que es perfectamente conocido, el software de procesamiento de datos calcula el torque por medio de la siguiente ecuación.

$$T = \alpha \cdot I \quad (1)$$

Luego, la potencia es el producto del torque por la velocidad angular, tal como lo expresa la relación

$$P = \omega \cdot T \quad (2)$$

De esta manera, dado que los valores de velocidad y aceleración se encuentran referidos al eje del rodillo se obtienen valores netos de torque y potencia transmitidos al piso teniendo en cuenta las pérdidas de la cadena cinemática.

4. SOFTWARE DE LA INSTALACION DE ENSAYO.

El software de la instalación, se encuentra desarrollado principalmente en el entorno de programación de LabVIEW, debido no solo a la versatilidad que posee el mismo para la adquisición, manipulación y visualización grafica de datos, sino también, como para la creación de interfaces de usuarios [3]. En la Figura 5, se observa el panel frontal de la interfaz de usuario del mencionado soft.

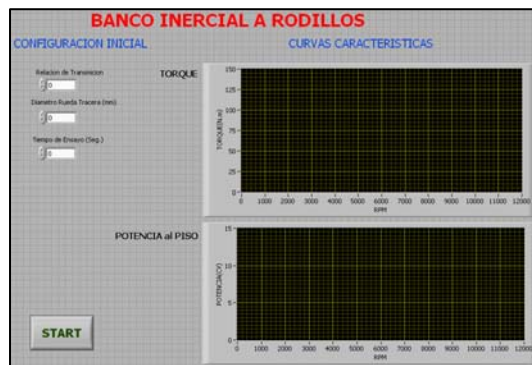


Figura 5 Panel frontal del software de la instalación

La Figura 6 muestra un diagrama de flujo de la estructura del algoritmo de programación del mismo.

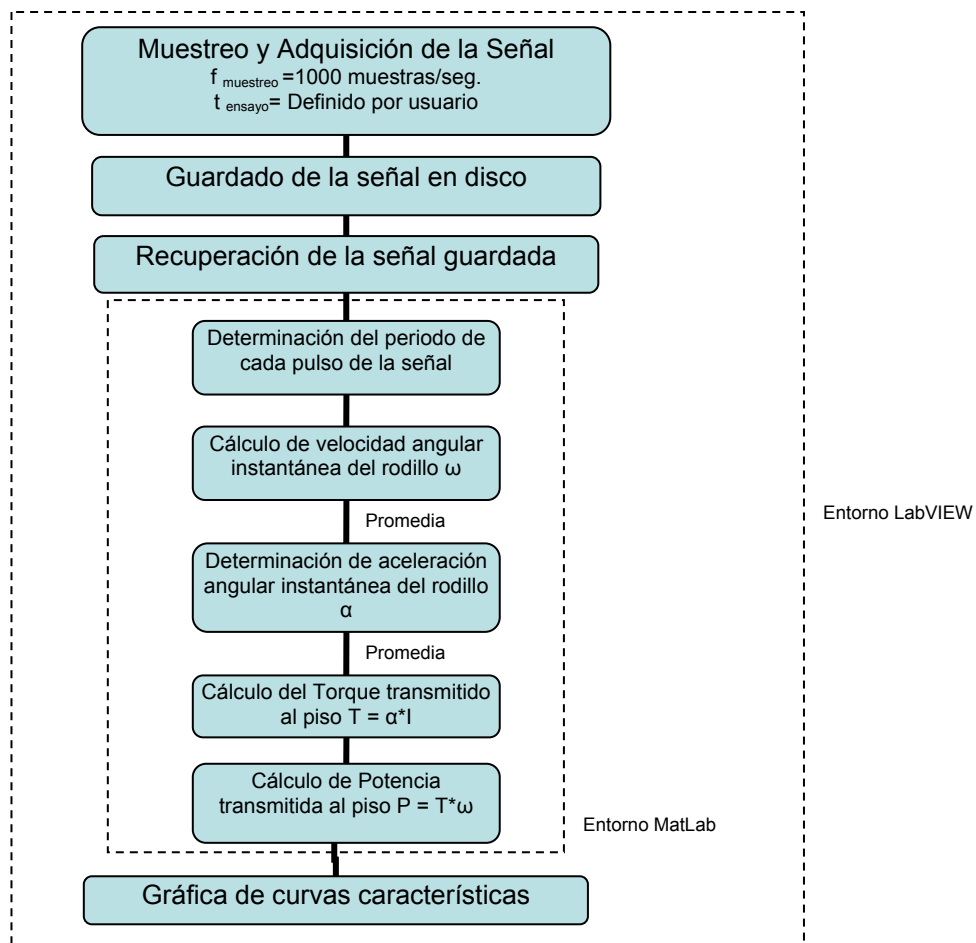


Figura 6 Diagrama de flujo del algoritmo del soft

El software comanda el dispositivo PCI-4451 para que efectúe el muestreo y adquisición de la señal tipo tren de pulso (Figura 4) aportada por la etapa de medición.

La frecuencia de muestreo, se encuentra establecida en el código fuente del programa (diagrama de bloque) y su valor corresponde a 1000 muestras/seg., asegurando la correcta reconstrucción de la señal muestreada para toda la gama de velocidades de rotación del rodillo.

Una vez muestreada, digitalizada y guardada la señal, el software recupera la información correspondiente a la misma y efectúa su procesamiento con el objetivo de obtener en primer instancia los valores de velocidad y aceleración angular instantánea experimentados por el rodillo durante el ensayo. Una vez concluido esto, y haciendo uso de la Ecuación (1) y (2), el soft determina los valores de torque y potencia reales transmitidos al piso correspondiente al vehiculo ensayado. Posteriormente, con los valores de relación de transmisión rueda trasera-cigüeñal motor y el diámetro de la rueda trasera ingresados en la configuración inicial, el software refiere los valores de velocidades angulares del rodillo al eje del cigüeñal del motor de la motocicleta. El procesamiento de datos mencionado, es efectuado en un entorno de MatLab configurado dentro del entorno de LabVIEW, permitiendo aprovechar el poderío que posee el primero para llevar a cabo este tipo de operaciones.

Finalmente, se presenta los resultados por medio de gráficas ubicadas en el panel frontal del software en cuestión. Estas, muestran la variación de los valores de torque y potencia transmitidos al piso en relación a las rpm del motor ensayado.

4.1. Determinación de la velocidad y aceleración angular.

El software dispone en su código de fuente, un algoritmo capaz de detectar el periodo T (seg.) de cada uno de los pulsos de la señal entregada por la etapa de medición (Figura 4). Luego, el programa calcula los valores de "velocidad angular instantánea" del eje del rodillo aplicando la siguiente ecuación:

$$\omega_i \text{ (1/seg.)} = 1/(4T) \quad (3)$$

Los valores obtenidos, corresponden a la información aportada por cada pulso de la señal. El factor 4 representa el número de sectores reflectivos del disco del sistema de medición (Figura 3).

El programa asocia cada valor de ω_i al tiempo medio del pulso al cual esta relacionado. De esta manera se genera una base de datos que contiene información discretizada sobre la variación de la velocidad angular del rodillo durante el tiempo del ensayo, es decir $\omega(t)$.

Una vez disponible esta información, el programa efectúa la derivada discreta de $\omega(t)$ respecto del tiempo por medio de la siguiente ecuación:

$$\alpha \text{ (1/seg.}^2\text{)} = \Delta\omega/\Delta t \quad (4)$$

correspondiendo α a la aceleración angular del eje del rodillo. Para esto, el software computa las diferencias de velocidad rotacional instantánea en relación a la base de tiempo correspondiente y obtiene los valores de aceleración angular instantánea.

5. PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA DE MEDICION.

Primeramente, se diseñó una configuración rotante que permitiese variar su aceleración angular en forma controlada, y montar las etapas de medición, adquisición y procesamiento de datos en cuestión. Dicha configuración puede observarse en la Figura 7.



Figura 7 Configuración de puesta a punto del sistema de medición

La misma, se encuentra integrada por un conjunto rotor – motor eléctrico comandado por un variador de velocidad capaz de proporcionarle al motor diferentes rampas de aceleración previamente determinadas.

Posteriormente, se instaló el sistema de medición sobre el extremo libre de dicha configuración rotante (ver Figura 7) y se configuró en el variador de velocidad una rampa de aceleración de 50 rpm/seg. para un rango de velocidades de 0 - 1350 rpm. Utilizando la etapa de adquisición descrita anteriormente y una versión preliminar del soft del banco de ensayos se procedió a la medición y determinación de la aceleración angular del conjunto rotor - motor eléctrico. En la Figura 8 se muestra el resultado arrojado por el soft para dicho ensayo, corroborándose su correcto funcionamiento en la determinación de la aceleración angular.

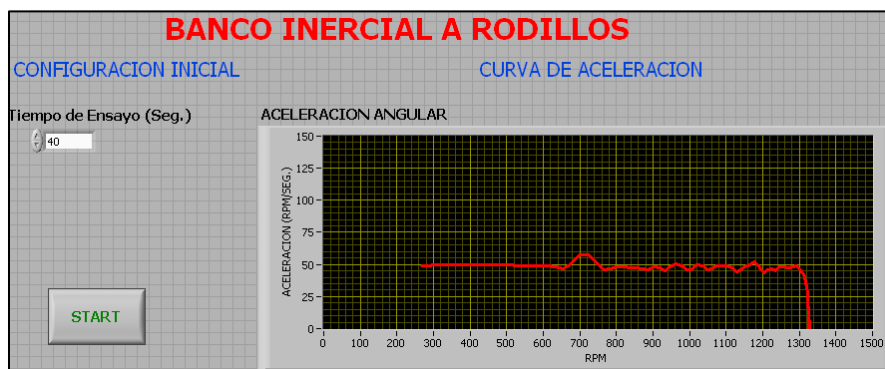


Figura 8 Gráfica de aceleración

6. ENSAYO MOTO DR – 350. RESULTADOS.

El ensayo consistió en posicionar una motocicleta Suzuki DR-350 sobre la instalación de ensayo de manera que su rueda trasera quedara apoyada sobre el rodillo del banco. Posteriormente, se configuraron en el soft de la instalación los valores de relación de transmisión, diámetro de rueda trasera y tiempo de ensayo. Finalmente, se colocó la motocicleta en su primera marcha y, una vez disparada la adquisición, se llevó a la misma de manera repentina a la condición de máxima apertura de acelerador. En la Figura 9 se observan las curvas características obtenidas.

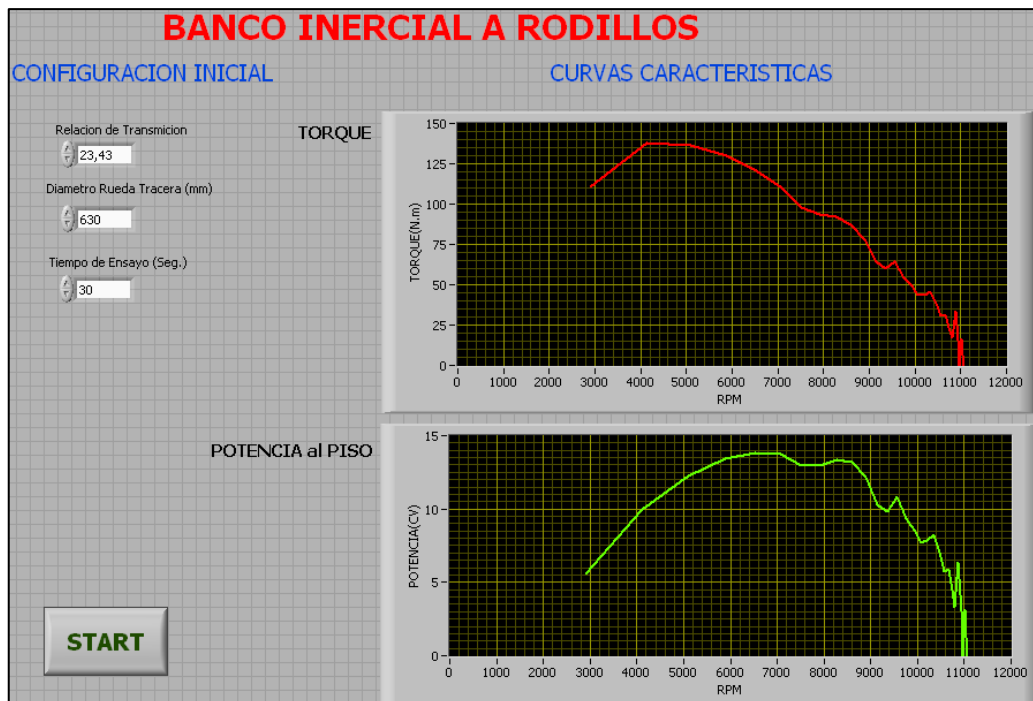


Figura 9 Curvas características de moto Suzuki DR-350

De la observación y análisis de las mismas deducimos que estas concuerdan perfectamente con curvas de performance típicas de un motor de combustión interna [1].

7. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se concluye el correcto funcionamiento de la instalación de ensayo, constituyendo su desarrollo un aporte importante para la prueba de motores de vehículos sin necesidad de desmontarlos de sus carrocerías, permitiendo evaluar el comportamiento de los mismos, identificar fallas en su funcionamiento y diagnosticar averías. Cabe destacar que si bien la instalación en cuestión fue desarrollada para el ensayo de motores de motocicletas, las etapas de medición, adquisición y procesamiento de datos pueden ser utilizadas para el ensayo de motores pertenecientes toda clase de vehículos.

La simpleza constructiva del chasis de dicha instalación y la sencillez de la etapa de absorción de energía posibilita su fabricación por Escuelas de Enseñanza Técnicas y Laboratorios Universitarios. Esto, sumado a los bajos requerimientos tecnológicos exigidos a las etapas de medición (un único sensor de tipo foto-eléctrico) y adquisición de datos (velocidades de muestreo del orden de las 1000 muestras/seg.) posibilita el desarrollo de una instalación de ensayo de muy bajo costo, en comparación con la mayoría de los bancos de ensayos actuales.

4. REFERENCIAS

- [1] M. Muñoz, F. Payri, *Motores de combustión interna alternativos*, Sección de Publicaciones de la E.T.S.I.I. Fundación General – U.P.M., Madrid – España, 1989.
- [2] Keith R. Symon, *Mecánica*, Capítulo 5, Aguilar, 1964.
- [3] National Instruments, *LabVIEW Basics I: Introduction, LabVIEW Basics II: Development*, 2003.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer al Jefe del taller de Ingeniería de la UNS el Ingeniero Gustavo Albizua por el apoyo brindado durante la etapa de diseño y desarrollo de la instalación y al agente no-docente Técnico Gabriel Leguizamón por su disponibilidad y colaboración en la fabricación de la misma. Se agradece además, a los Sres. Gabriel Poli y Ricardo del Valle por poner a disposición sus motos para ensayo, y al Departamento de Ingeniería de la UNS por la financiación de parte de la instalación.