

TÉCNICAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.

RESUMEN

Se describen las técnicas empleadas por el software V-MAP, para registrar y analizar datos de algunos de los parámetros que describen el funcionamiento de motores alternativos de dos y cuatro tiempos

ABSTRACT

Description of the techniques used by software V-MAP, for log and data analysis about behavior of Alternative Engines of 2 or 4 Times.

1. INTRODUCCIÓN

Las graficas que describen el comportamiento de una variable en el tiempo, $x=f(t)$, o de una variable como función de otras $z=f(x,y,t)$, se denominan mapas.

Se requiere trazar Mapas que permitan observar el comportamiento de señales análogas provenientes de un motor de combustión a diferentes regímenes de carga y velocidad, y proporcionar al ingeniero una herramienta en el estudio, diagnóstico y diseño de controladores que involucren mejoras en eficiencia, rendimiento, normas ambientales y economía. V-MAP se desarrolla para registrar y analizar las señales que describen el comportamiento de la presión al interior de la cámara durante el ciclo de combustión, y permite muestrear simultáneamente otras 15 señales, con características adicionales que permiten hacerlo flexible a necesidades propias del montaje en el Laboratorio de la Universidad. Ver esquema en Figura 1.

Se pretende construir los mapas de un motor de encendido por chispa, 4 tiempos, monocilíndrico, enfriado por aire; para cargarlo se dispone de un dinamómetro Hidráulico instrumentado con un medidor de revoluciones, una celda de carga y una válvula solenoide de control.

Además se dispone de el sensor de golpeteo, el sensor de la presión en el múltiple de admisión, sensor de oxígeno, encóder incremental de 360 pasos y otros dos motores de cuatro cilindros, por lo que se debe desarrollar un software flexible para el aprovechamiento de los recursos.

Para obtener una señal análoga útil de un transductor y detectar las variaciones producidas en respuesta a la magnitud, es necesario que la señal a la salida del sensor este dentro de un margen de valores normalizados y

adecuado para su uso en el sistema de control.

Manuel Ricardo Vallejo R.

mricardov@hotmail.com

José Andrés González

Estudiantes Facultad de Ing. Eléctrica

Universidad Tecnológica de Pereira

Ing. Carlos A. Romero

Profesor Titular Facultad de Tecnologías

Universidad Tecnológica de Pereira

acondicionados para el conversor A/D de la tarjeta de adquisición de datos DAQ.

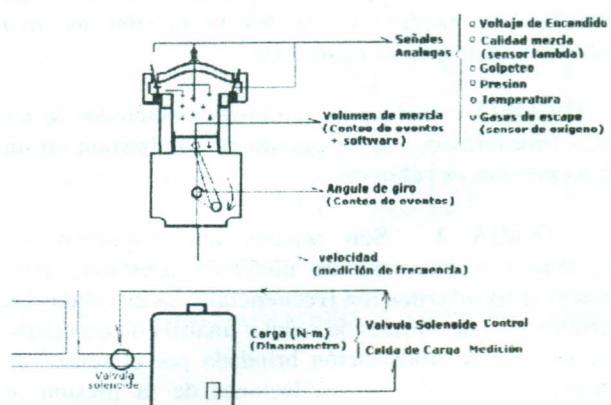


Figura 1. Esquema del montaje de adquisición

2. PARTICULARIDADES DE LA INSTRUMENTACIÓN EN M.C.I.

Con el fin de analizar las razones de un comportamiento bueno o malo del motor, es necesario mirar en el cilindro, donde se originan la potencia y las emisiones. La medición de la presión en la cámara de combustión y el intercambio de gases es lo más recomendado para este propósito. Esta información además está directamente relacionada con el calor desprendido, la potencia entregada por el cilindro, y el mantenimiento basado en el estado del motor. También permite diagnosticar fallas de encendido, como variable de control de la relación aire combustible, el tiempo de chispa y el tiempo de inyección. Otra gran variedad y cantidad de variables describen el comportamiento del motor, algunas de las señales que el sistema está en capacidad de adquirir son:

Temperaturas y presiones en el motor, presión en el múltiple de admisión, par generado por el dinamómetro, velocidad, ángulo de giro del cigüeñal. Calidad de mezcla, voltaje en secundario de bobina, emisiones y golpeteo en la presión.

Estas y otras señales permiten obtener los mapas necesarios para diagnóstico; los mapas se clasifican en 4 categorías:

CATEGORÍA 1: Son los mapas creados a partir de datos en el que el muestreo se realiza a **baja velocidad de adquisición** y que tienen un valor para una condición dada. Ejemplos de estos parámetros pueden ser las emisiones por el exhuusto, temperatura del aceite, temperatura en el bloque.

CATEGORÍA 2 Incluye los mapas que son obtenidos a partir del **diagrama presión vs ángulo de giro del cigüeñal**, un ejemplo puede ser la presión máxima (p_{max}) vs su ángulo de ocurrencia

CATEGORÍA 3 Incluye los parámetros obtenidos de los datos transformados de la cámara de combustión en un **plano presión vs volumen**.

CATEGORÍA 4 Son señales que requieren ser registrados a una tasa de muestreo constante, para conservar su **información frecuencial** y hacer validas las herramientas de filtrado de señal y análisis de espectros. Por ejemplo la información brindada por el sensor de golpeteo acerca de las oscilaciones de la presión al interior de la cámara.

Para el análisis de los datos se supone que estos han sido registrados en condiciones de estado estacionario, algunas de las variables que definen este régimen son: la velocidad, el Par y la calidad de la mezcla.

3. TÉCNICAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS EN MOTORES ALTERNATIVOS

3.1. Determinación de los Mapas de la Categoría I

Las señales del motor se miden mediante sensores, que entregan una tensión analógica, proporcional a la magnitud de éstas. Las señales a la salida de los sensores son débiles y ruidosas, por lo que se amplifican con un amplificador de instrumentación y se limitan en banda con un circuito de filtro. Posteriormente se muestrea, se digitaliza con un conversor A/D y se guardan en la memoria del computador.

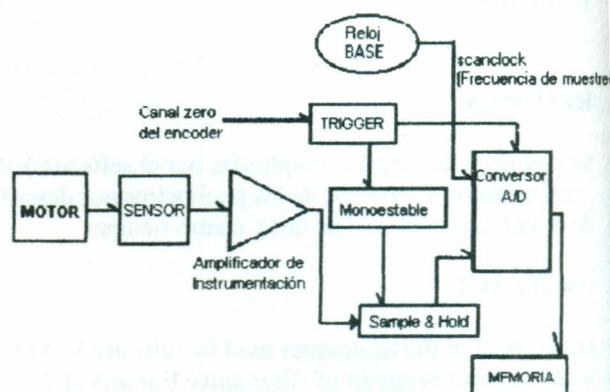


Figura 2. Esquema de adquisición de señales análogas

3.1.1. Determinación de velocidad y ángulo de giro

Un encóder convierte un desplazamiento rotacional o lineal en una señal de pulsos digitales. El tipo de encóder más popular es el óptico, el cual consiste de un disco rotatorio, un emisor de luz y un fotodetector; a medida que el disco perforado rota, genera un tren de pulsos digital.

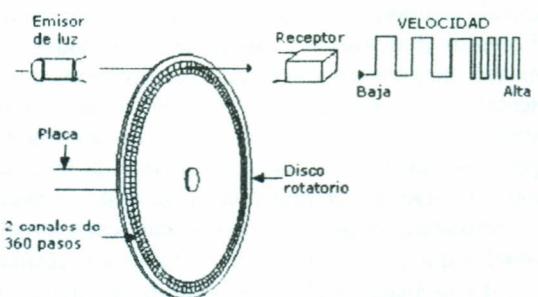


Figura 3. Encóder Incremental de 2 canales

Un encóder incremental genera un pulso por cada paso de incremento, es usado para medición de velocidad y ángulo de giro. La referencia es un **canal adicional** llamado CANAL CERO, que entrega un pulso por revolución.

V-MAP usa para la medición de velocidad, un método común para medir la frecuencia de un tren de pulsos, usando dos contadores binarios de la tarjeta. En la figura 3 se ve el esquema de un contador.

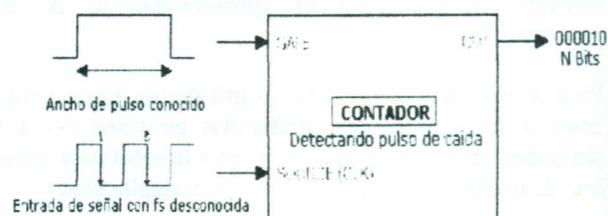


Figura 4. Esquema de un contador binario de la tarjeta

Un contador determina el número de pulsos de subida o bajada (conteo), que ocurren durante un pulso de ancho conocido (T_g). La frecuencia de la onda en Hz se puede determinar así:

$$F_s = \text{valor del conteo} / T_g$$

$$T_g: \text{Ancho de pulso base} = 1 / (2 * F_g)$$

En rpm la velocidad se obtiene mediante la siguiente formula:

$$W [\text{rpm}] = F_s [\text{Hz}] * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} * 2\pi$$

Se involucran 2 contadores, el contador A (lector), que realiza el conteo de eventos y otro contador B (base) que genera el tren de pulsos de frecuencia conocida. La señal a la cual se le va a medir la frecuencia, proviene del encóder y corresponde a la entrada (SOURCE) del contador lector. La señal base proviene de un reloj interno de la DAQ. para la ATMIO16DE10 puede ser de $F_g = 20 \text{ KHz}$ o 100 MHz .

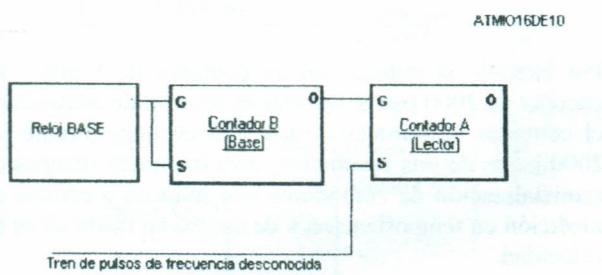


Figura 5: Esquema medición de velocidad con contadores

Nota: Debemos garantizar que el contador LECTOR no se sature durante un ancho conocido T_g proveniente del contador BASE.

3.2. Determinación de Mapas de la categoría II y el ángulo de giro del cigüeñal

La resolución (Res) del encoder en grados describe la precisión con que pueden ser tomados los datos de ángulo de giro.

$$Res = \frac{360 \text{ grados}}{\text{No de pasos del encoder}}$$

Es decir que trabajando con un encóder de 360 pasos se toman datos simultáneos de todos los canales análogos "simultáneamente", cada grado. La simultaneidad esta condicionada en la tarjeta, debido a que esta maneja una gran cantidad de canales análogos de entrada de señales, pero en lugar de utilizar un conversor A/D independiente para cada canal, el comparte el conversor usando

un multiplexor análogo de alta velocidad controlado por un reloj interno llamado CHANNEL CLOCK y que maneja bases de tiempo de 20 a 100 KHz.

Se implementa una adquisición controlada por un reloj externo que proviene de los 360 pasos del canal A del encóder. El software configura la tarjeta de adquisición, para hacer un muestreo de los otros 15 canales análogos "simultáneamente", cada vez que se detecte pulso de subida o bajada de un reloj EXTERNO de muestreo (SCAN CLOCK). En la labor de diagnóstico en motores se recomiendan encóderes de mayor resolución. (0.03 - 0.01 grados).

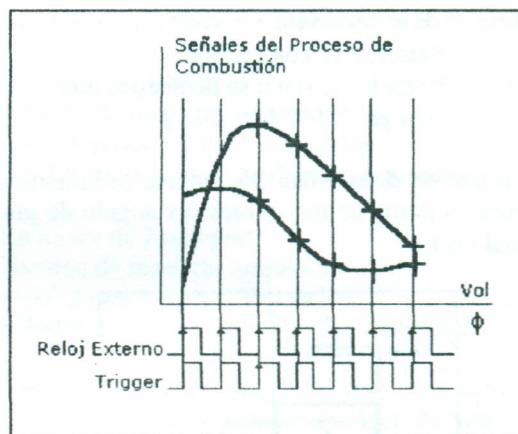


Figura 6. Adquisición de señales vs Volumen y Ángulo de Giro

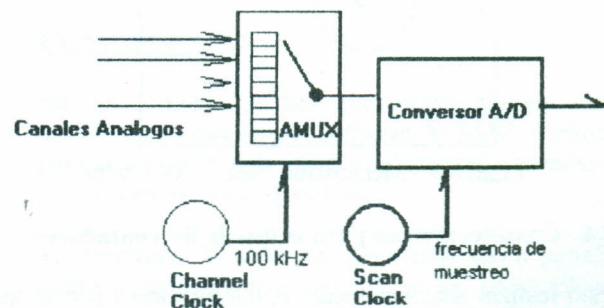


Figura 7: "Simultaneidad" de señales en la Tarjeta

3.2.1. Para determinar la referencia de 0 grados, el sistema debe enviar una señal digital (trigger) que servirá de disparo de la adquisición y que indica al sistema el instante en que el pistón está en PMS (Punto Muerto Superior); una forma de lograr una señal de trigger para este evento es hacer coincidir la señal del canal zero del encóder (un pulso por revolución), para que se active cuando el pistón se encuentra en PMS. $\phi = 0$ grados.

3.3. Determinación de los mapas de la categoría III y el volumen al interior de la cámara

El volumen instantáneo al interior de la cámara de combustión está definido por las características geométricas del mecanismo biela-manivela del motor.

$$VOL = A * Sp + Vc$$

A: Área del cilindro

Sp: Longitud de la carrera del pistón

Vc: Volumen de mezcla en PMS

De la figura 5, la carrera del pistón es:

$$Sp = R + L - R \cos\phi - L \cos\theta$$

R: Radio de Biela

L: Longitud de la Manivela

$$\lambda = R/L \quad R_c: \text{Relación de compresión.}$$

Definiendo $R \sin \phi = L \sin \theta$ se demuestra que:

$$Sp = R (1 - \cos \phi) + (1/2) L \lambda^2 \sin^2 \phi$$

Con lo que se determinan los valores instantáneos del Volumen a partir de los valores del ángulo de giro del cigüeñal (ϕ).

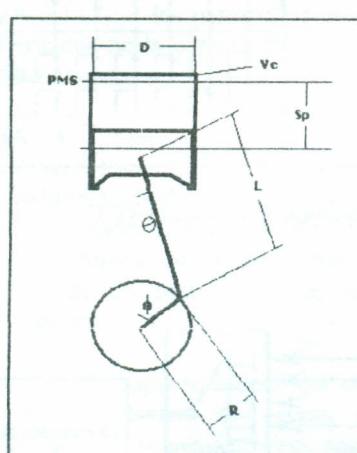


Figura 8. Mecanismo Biela – Manivela

3.4. Consideraciones para el uso de los contadores

Para realizar adecuadamente la habilitación y uso de los contadores de la DAQ en la correcta caracterización del ángulo de giro, el volumen y la velocidad, se deben tener en cuenta estas consideraciones:

La frecuencia de la señal del canal A del encoder (360 pasos) a una velocidad máxima del motor de 6000 rpm es:

$$6000 \text{ rev} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{360 \text{ pasos}}{1 \text{ rev}} = 36000 \text{ Hz}$$

La tarjeta DAQ-ATMIO16DE10 garantiza muestreos hasta de 100 kHz.

3.5. Contadores temporizadores

El DAQ-STC (System Timing Controller) de la tarjeta incluye 10 contadores / temporizadores. 8 de los cuales son diseñados para controlar el tiempo en operaciones de entradas y salidas analógicas, los otros dos son contadores/temporizadores de 24 bits "up/down", disponibles para una amplia variedad de aplicaciones de temporización y conteo de eventos. Esta herramienta está incluida en todas las tarjetas de la serie E-MIO de National Instruments.

Los contadores binarios electrónicos deben reiniciarse cada vez que llegan a su valor de "overflow" o de conteo máximo, el máximo conteo binario que se puede realizar con un contador está determinado por su número de bits así:

$$\text{Conteo máximo} = 2^N - 1 \quad N: \text{Número de bits}$$

| N (bits) | Máximo Conteo (eventos) |
|----------|-------------------------|
| 8 | 255 |
| 16 | 65.535 |
| 24 | 16.777.215 |

Por ejemplo si trabaja con un contador de 8 bits y un encoder de 2000 pasos, durante el proceso de adquisición el contador se reiniciará cada 255 eventos durante los 2000 pasos de una revolución, esto involucra tiempos de reinicialización de contadores que inducen a errores de medición en temporización y de conteo en mediciones de velocidad.

El tiempo de adquisición que toma un contador de 24 bits en llegar al valor de conteo máximo a una velocidad de 6000 rpm es:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de adquisición} &= \\ \frac{16.777.215 \text{ eventos}}{36.000 \text{ Hz}} &= 466 \text{ seg} \\ &= 7.7 \text{ minutos} \end{aligned}$$

Si se trabaja con un encoder de 2 canales, se puede determinar por software la dirección de movimiento (adelante, atrás), detectando cual de los dos contadores inicia primero el conteo. Figura 9.

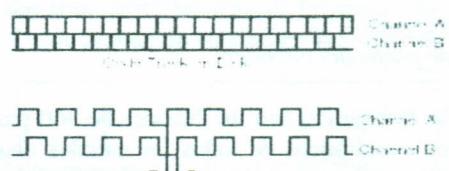


Figura 9. Detección de dirección con encoder de 2 canales

3.5. Condiciones de estado estacionario – Régimen de carga y velocidad

Las condiciones de estado estacionario del proceso de combustión están definidas si se controla el régimen de carga, velocidad y propiedades de la mezcla al que queremos registrar los datos.

3.5.1. El régimen de carga, un dinamómetro permite someter un motor a diferentes regímenes de carga (N^*m), el par se varía por medio de una válvula solenoide. ésta permite controlar el caudal de agua que entrará al dinamómetro para generar la carga, por medio de una corriente proporcional de 4 – 20mA.

La tarjeta dispone de dos salidas análogas de voltaje controlables por software, estas son monopolares de 0 a 10 V o bipolares de -5 a 5 voltios. Como la válvula es controlada por corriente se requiere de un circuito de conversión de voltaje a corriente.

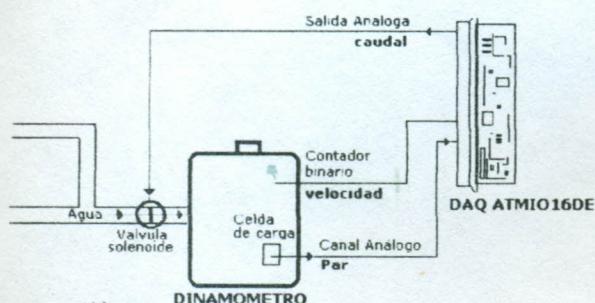


Figura 10. Esquema de la obtención de los regímenes de carga y velocidad

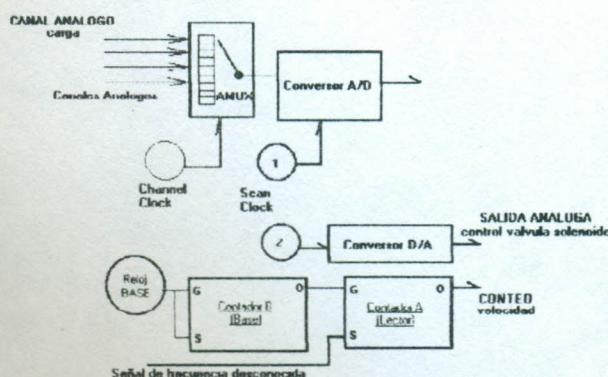


Figura 11. Esquema de la obtención de los regímenes de carga y velocidad

En esta rutina se realizan simultáneamente la configuración y el control del generador análogo (AO) que maneja la válvula solenoide y que regula el nivel de carga del dinamómetro, adquiere la señal de par proveniente de la celda de carga por un canal análogo

(ACH), y mide la frecuencia de un tren de pulsos proveniente del acondicionamiento del dinamómetro, ocupando 2 contadores para determinar la velocidad.

Una muestra de diagnóstico, involucra tomar un número determinado de ciclos de combustión, se recomiendan 100, a un régimen definido de carga y velocidad. Para registro se debe definir el número de ciclos a adquirir en estado estacionario, por ejemplo con un encóder de 360 pasos el número de datos que se tomarán para 100 ciclos de combustión es:

Ciclo de combustión: 2 revoluciones para un motor de 4 tiempos y 1 revolución para un motor de 2 tiempos.

En motor de 4 tiempos:

Número de muestras adquiridas

$$= 360 \text{ pasos} * 2 \text{ rev} * 100 \text{ ciclos}$$

$$= 72000 \text{ datos por canal análogo muestreado}$$

En motor de 2 tiempos:

Número de muestras adquiridas

$$= 360 \text{ pasos} * 1 \text{ rev} * 100 \text{ ciclos}$$

$$= 36000 \text{ datos por canal análogo muestreado}$$

Tomar 100 ciclos a 6000 rpm, de varios canales simultáneamente y con un encóder de alta resolución, requiere de un sistema (PC + Labview), con características de memoria RAM y ROM suficientes para ejecutar el proceso eficientemente. Se recomienda un PC con mínimo 128KB en memoria RAM o superior.

CONCLUSIONES

En este artículo se han presentado algunas técnicas usadas en el diseño del software V_MAP, requeridas para la adquisición de señales de operación en motores de combustión interna a gasolina.

El programa V_MAP se desarrolló sobre plataforma Labview, esta permite convertir un PC convencional en una poderosa herramienta de medida y análisis de datos. Además para obtener buenos resultados se debe realizar un adecuado acondicionamiento de señales. Debido a la presencia de ruido y la limitación de recursos ha habido dificultad en la caracterización de algunas señales.

Se debe tener muy en cuenta, el manejo que los controladores de la tarjeta de adquisición de datos hacen de los recursos de tiempo compartido, tanto el diseño del software como la capacidad del PC están directamente relacionados con este aspecto. Para la rutina de Estado estacionario, se realiza escritura en una salida analógica, lectura de un canal análogo y uso de dos contadores para medición de velocidad, con resultados satisfactorios en

los tiempos de respuesta del sistema e independencia en uso de bases de tiempo internas por parte de los recursos de la tarjeta.

El régimen de velocidad podría ser manejado por medio de un motor paso a paso que controle el ángulo de apertura de la mariposa, dejando pasar mayor cantidad de mezcla aire combustible cuando se requiera aumentar la velocidad de funcionamiento del motor. La tarjeta DAQ tiene salidas digitales que pueden alimentar las bobinas de control de estos motores.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MONISH Darda and HARISH Chandra. Detailed Engine Mapping using E-DACS for Thorough Performance Analysis. The Automotive Research Association of India.
- [2] ROMERO Carlos A. Informe del proyecto "Adecuación de un sistema de adquisición de datos para realizar el mapeo de un motor de combustión interna". Ing. Carlos A. Romero. Universidad Tecnológica de Pereira.
- [3] ROMERO Carlos A. Fundamentos de Inyección Electrónica. Universidad Tecnológica de Pereira.
- [3] LABVIEW Data Acquisition Basic Manual.
- [4] Reference Manual. DAQ Board ATMIO16DE10. National Instruments
- [5] Soporte Web de National Instruments en NI Developer Zone.
- [6] DOGGET William. MEASURING INTERNAL COMBUSTION ENGINE IN CYLINDER WITH LABVIEW. Creative Technical Solutions.