

Sistema de adquisición de datos en tiempo real de la pista de ensayos acelerados de firmes del Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX

JAIME TAMARIT RODRÍGUEZ (*); JOSÉ BUENO PÉREZ (**); JAVIER ALEIXANDRE CAMPOS (**);
BERNARDO MINGO VILLALOBOS (****); JAVIER PÉREZ AYUSO (*****)

RESUMEN Este artículo describe el sistema de adquisición en tiempo real desarrollado especialmente para la pista de ensayos acelerados de firmes. Es capaz de direccionar hasta 256 sensores y sincronizar la medida de los sensores con los ensayos de posición transversal de los vehículos. La configuración y montaje de la instalación del sistema permite una óptima relación señal-ruido.

DATA ACQUISITION REAL-TIME SYSTEM FOR THE FAST TESTING TRACK FACILITY OF THE CENTRE OF ROAD'S STUDIES OF CEDEX

ABSTRACT *This paper describes the real-time data acquisition system specially developed for this test facility. This system is able to address up to 256 sensors and synchronise the measuring with the test car position. The layout of the system allows an optimal signal to noise ratio.*

Palabras clave: Instrumentación; Sistema de adquisición; Tiempo real; Microprocesadores.

1. INTRODUCCIÓN

La pista de ensayos acelerados de firmes es una instalación muy compleja en la que varios vehículos de ensayo circulan por la misma.

La pista tiene forma oval, con dos tramos rectos y dos curvos, en los tramos rectos están los firmes que se ensayan, cada tramo recto en sentido longitudinal está dividido en otros seis tramos diferentes, cada uno con un tipo de firme y con un conjunto de sensores asociado que hay que registrar al paso de los vehículos.

En los tramos rectos se les exige a los vehículos una velocidad constante, con lo que se requiere un control de velocidad de los mismos bastante preciso para cumplir este requisito y para que no exista alcance entre ellos. Estos tienen la posibilidad de desplazar la rueda de ensayo en sentido

transversal a la pista, de forma que puede situarse en siete posiciones o calles diferentes.

Los vehículos de ensayo llevan tracción eléctrica por medio de un motor asíncrono cuya velocidad es regulada con un convertidor de frecuencia que toma su alimentación por medio de escobillas guiadas a una carrilera. Los comandos de mando y control del convertidor son enviados a través de un autómata programable que recibe las ordenes via carrilera desde el controlador central.

Bajo el firme de los tramos instrumentados, se encuentran los diversos sensores (presión, deformación, deflexión, humedad, temperatura,...), estos son alimentados desde los amplificadores de señal situados en los tuneles de instrumentación bajo el suelo lo más cerca posible del sensor, y la señal una vez amplificada se envía al sistema de adquisición situado en el centro geométrico de la pista, que se encarga de digitalizar y registrar las señales de los sensores, de una manera sincronizada con el paso de los vehículos.

En este artículo se describe el sistema de adquisición de toma de datos desarrollado para poder llevar a cabo los ensayos de medida y la solución adoptada en instrumentación para direccionar hasta 256 sensores, sincronizar la medida con el paso de los vehículos y obtener unos registros con una relación señal/ruido lo mejor posible.

2. DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

La necesidad de medir con mucha precisión las variaciones de magnitud (en algunos casos muy pequeñas, dependen

(*) Dr. en Ciencias Físicas. Sector de Técnicas Físicas y Electrónicas. CETA. CEDEX (Ministerio de Fomento).

(**) Dr. Ing. Naval. Sector de Técnicas Físicas y Electrónicas. CETA. CEDEX (Ministerio de Fomento).

(***) Licenciado en Ciencias Físicas. Sector de Técnicas Físicas y Electrónicas. CETA. CEDEX (Ministerio de Fomento).

(****) Ing. Industrial. Laboratorio de Instrumentación del CEC. CEDEX (Ministerio de Fomento).

(*****) Diplomado en Arquitectura. Laboratorio de Instrumentación del CEC. CEDEX (Ministerio de Fomento).

del tipo de firme), de muchas señales dinámicas (20 sensores por sección de firme instrumentado) y simultáneamente, a cierta distancia (200 metros), y con cierto ruido electromagnético en el ambiente (electrónica de potencia que alimentan a los motores de los vehículos) ha requerido un importante esfuerzo y esmero en la puesta a punto de la instalación.

Como podemos observar en el esquema de la Fig. 1, las señales de bajo nivel generadas en los sensores distribuidos por la pista se guían a los acondicionadores de señal, donde se amplifican y filtran, y de aquí se transportan por cable en modo diferencial desde la periferia al centro de la pista donde se conecta a un módulo de electrónica que pasa las señales a unipolar y a través de multiplexores se conectan al convertidor A/D de la placa del sistema de adquisición.

A lo largo de la pista se han instalado unos sensores ópticos, uno por cada tramo (14 en total), cuyas señales se guían por el mismo camino al módulo electrónico de detectores de posición que genera un pulso y el código del sensor al paso del vehículo de ensayo, el pulso sirve para disparar una interrupción en el sistema de adquisición y el código para que éste reconozca la sección en la que entra la rueda de ensayo.

La instalación exige los siguientes requisitos:

- Cable sensor: Apantallado dos a dos y una pantalla que engloba a todos, con un diámetro lo menor posible y capaz de soportar altas temperaturas. Pantallas a tierra.
- Acondicionador de señal: Aislamiento de los 0v. de referencia de la señal y la tierra de la instalación. Carcasa a tierra .
- Cable transporte de las señales: Por cada sección sale un cable con 27 pares de hilos trenzados (señal y 0v. de referencia) y apantallados dos a dos. Las pantallas se unen a tierra solo en el lado de los acondicionadores y todas en un único punto.

- Multiplexor-micro. Las señales diferenciales recibidas se pasan a unipolar y se referencia a la del micro del sistema de adquisición.

3. LOS MICROS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN

El equipo de control y toma de datos es un sistema integrado por tres micros (CPU 8088) que están interconectados entre sí. Estos están basados en la familia de placas que utilizan el bus SMP de Siemens. Ver Fig. 2.

Existe un micro (carr1) dedicado al control de la posición transversal de los vehículos, aquí se programan los diferentes ciclos para que cada vehículo recorra la pista según una distribución estadística de pasadas por las diferentes calles.

En este micro se tiene un registro independiente de número de vueltas dadas por cada vehículo, al tiempo que se obtiene el tiempo empleado en dar una vuelta completa. También se programan los ensayos de posicionamiento de los vehículos, estos se pueden arrancar por tiempo o por número de vueltas totales, y además pueden desencadenar un proceso de medida automático a través de otro micro (carr2). En el micro carr2 se encuentran programados los diferentes ensayos dinámicos (conjunto de sensores que se quieren medir en una determinada pasada de los vehículos) y existe una matriz que relaciona los ensayos de posición programados en el micro carr1 con los ensayos dinámicos programados en carr2.

La comunicación con el controlador central que envía las ordenes a los vehículos es via serie, y a través de la misma se obtiene el estado de los vehículos, esto es, velocidad programada, calle por la que circula cada uno de ellos, vehículo que desencadena el proceso de medida y si existen alarmas a bordo.

El micro carr2, es el micro principal que gestiona todas las comunicaciones, a través de él se accede a los comandos del micro anterior (carr1) o a los suyos propios.

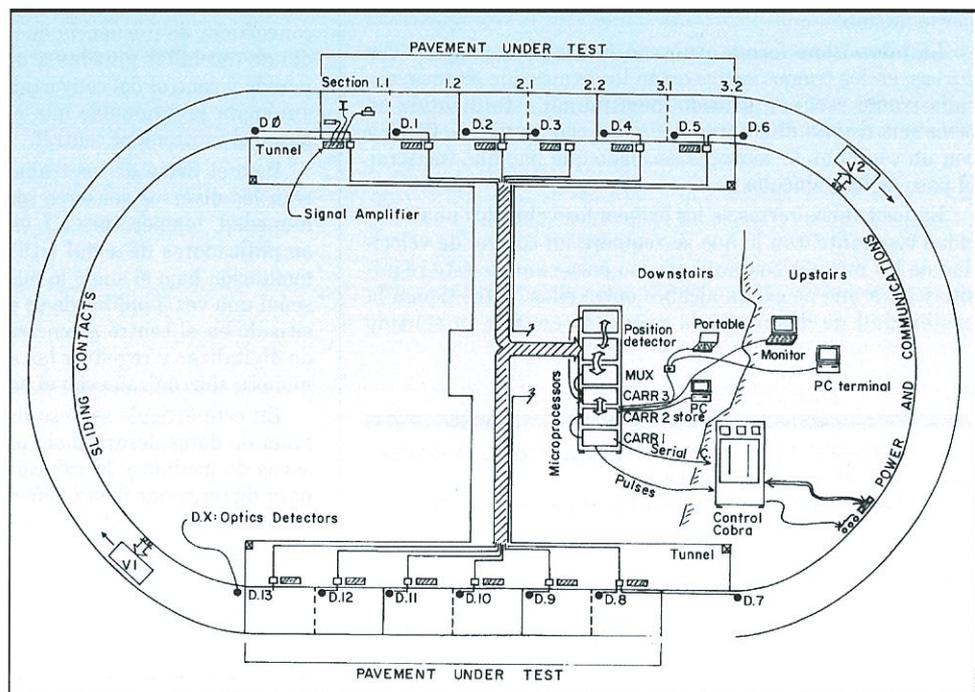


FIGURA 1. Disposición general.

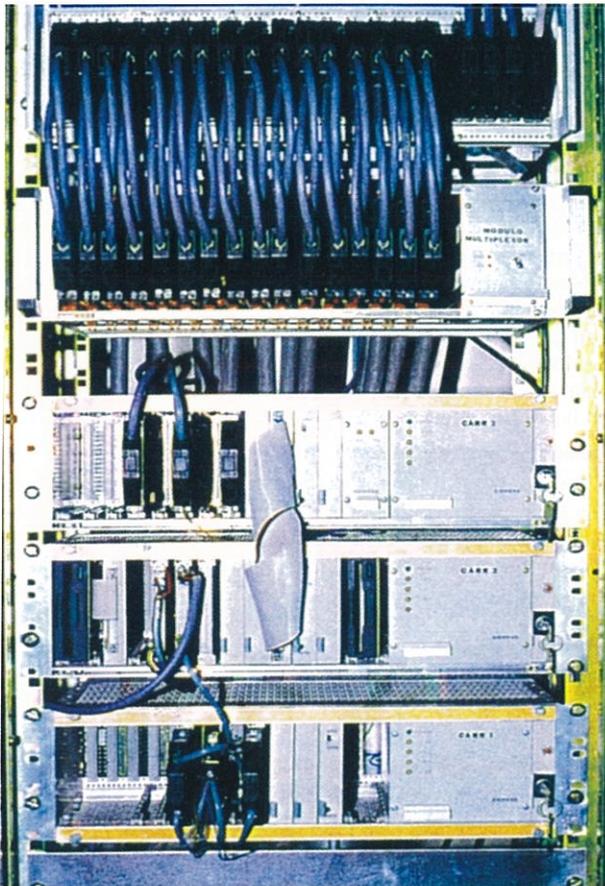


FIGURA 2. Los Micros del Sistema.

Además de los comandos propios de su sistema operativo, están los específicos del sistema de toma de datos, gestión de la base de datos de sensores, calibraciones, seguimiento de sensores en pantalla, estado de los detectores de posición, gestión de la base de datos de ensayos dinámicos, realización de ensayos especiales... etc.

El micro carr3 es el encargado de realizar las medidas propiamente dichas, cuando le avisa carr2 que tiene que realizar un ensayo dinámico, este recibe el conjunto de sensores de la pista que tiene que leer, los ordena por sección y comienza a medir los sensores cada 5 cms de recorrido del vehículo de ensayo (el sistema conoce la velocidad del vehículo en cada tramo y programa una interrupción de medida según la velocidad en la vuelta anterior) sincronizando el arranque de la medida con el paso del vehículo por el detector de posición de cada sección. Las medidas una vez realizadas las transmite al micro2 a través de una memoria RAM dos puertas por la que se encuentra fuertemente acoplado. Ya una vez en carr2, las envía al PC recepción de ensayos, y desde aquí se conecta con la red informática del CEC.

La utilización en este micro de potentes contadores, manejados a través de interrupciones provocadas directamente por el paso de los vehículos por los detectores de posición, permite medir y registrar con mucha precisión las velocidades promedio en cada tramo instrumentado.

A continuación nos centraremos en contar más en detalle el micro de medidas (carr3) sobre el que recae la responsabilidad de organizar y realizar las medidas.

4. ELEMENTOS FÍSICOS DEL MICRO DE MEDIDAS

En la Fig. 3 podemos ver un esquema del mismo. Podemos observar que consta de las siguientes placas de la familia del bus SMP de Siemens:

- SMP-E17.A8: Contiene la CPU 8088 a 8 Mhz.
- SMP-E128: Contiene la memoria EPROM (128k) donde está grabado el programa y una zona de memoria RAM (32k) utilizada para variables del sistema.
- SMP-E150 :Permite que este micro esté fuertemente acoplado a carr2. Contiene 4 k de memoria dos puertas a la que pueden acceder ambos micros.
- SMP-E118: Es una memoria RAM con 256 K. Se utiliza para almacenamiento temporal de las muestras tomadas en los ensayos.
- SMP E200: E/S de datos paralelo en nivel TTL (en torno al 8255). Se utiliza para leer el código del módulo detector de posición y para direccionar los multiplexores.
- SMP-E230: Es una placa convertidor A/D con 12 bits. Frecuencia máxima de muestreo (32 KHz).
- SMP-E303: Contiene dos unidades funcionales, la de interrupciones (en torno al componente AM9519) y la de contadores (AM9513) que se utilizan interconectados entre sí.

- Interrupciones:
- 0: Detectores posición.
 - 1: Out contador 2. Ensayo dinámico.
 - 2: Ram 2 puertas.
 - 3: Out contador 1. Sobrepasamiento.
 - 4: Out contador 3. Ensayo precisión.
 - 5: Out contador 4. Watch Dog.

- Contadores:
- 1: Tiempo entre detectores y sobrepas.
 - 2: Generación interrupción 5 cms. Ensayo dinámico.
 - 3: Generación alta veloc. muestreo (10000 Mu/s). Ensayo precisión.
 - 4: Watch Dog. (a los 90 seg.)

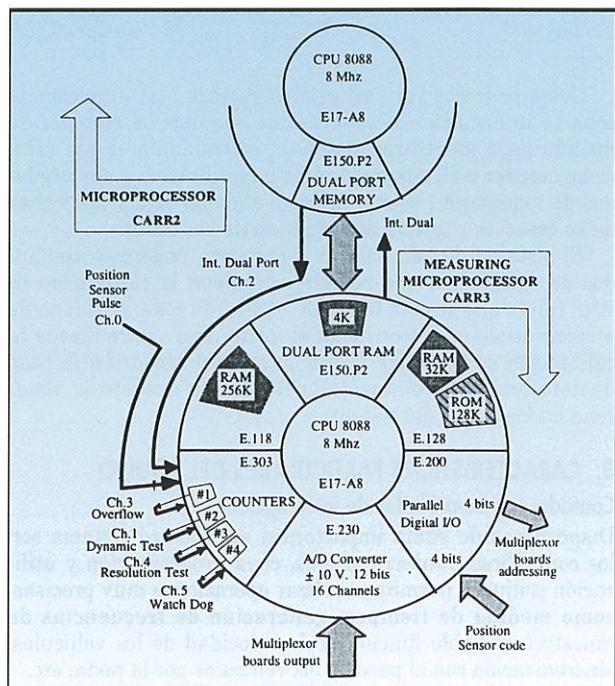


FIGURA 3. Configuración del micro Carr3.

5. ESTRUCTURAS DE LOS PROGRAMAS Y DATOS

El programa que controla el funcionamiento del equipo consta de varios bloques, podemos distinguir:

- Rutinas de bajo nivel, escritas en ensamblador, que controlan las funciones básicas del equipo (en las que se necesita una muy alta velocidad de ejecución). A través de ellas se controlan directamente las comunicaciones a través de la RAM dos puertas, los contadores para medida de tiempos, programación de velocidades de muestreo y atención a interrupciones, la lectura de canales analógicos y el direccionamiento del multiplexor.
- Programas de alto nivel, están escritos en Pascal, fundamentalmente realizan todos los cálculos, conversión de unidades, preparación de mensajes y controlan el flujo de programas.
- Rutinas intermedias de conexión entre el programa escrito en pascal y las rutinas de bajo nivel. Estas convierten las subrutinas escritas en ensamblador en procedimientos directamente manejables por el Pascal.

Se han creado múltiples estructuras de variables y datos que permiten fácilmente desde lenguajes de alto nivel acceder a cada elemento. Por ejemplo, para cada sensor se crea una estructura que permite establecer una base de datos de todos los sensores que se instalan en la pista.

sensor=record

```
Nombre ..... : array(1..6)of char;
Activo..... : char;
Placa ..... : char;
Canal ..... : char;
Cero ..... : real;
Pendiente ..... : real;
Regresion ..... : real;
Unidades ..... : array(1..6)of char;
Tramo ..... : byte;
Retardo ..... : unsigned_16;
Fecha_cre ..... : unsigned_16;
Fecha_mod ..... : unsigned_16;
end;
```

Como podemos ver, en esta estructura está almacenada toda la información necesaria que requiere el sistema de medida para identificar el sensor, el tramo en el que está, como acceder a él, sus constantes de calibración y sus unidades de ingeniería, si está activo o dado de baja y las fechas de su creación y última modificación de sus datos.

El sistema de adquisición cuenta con poderosos comandos de calibración que permiten también la calibración in situ, con lo que se está teniendo en cuenta toda la cadena de medida desde el sensor hasta el micro, una vez realizada la calibración se actualiza la estructura del sensor en la base de datos existente en memoria RAM, a la vez que se almacena en los discos del sistema.

6. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL EQUIPO

Contadores y controlador de interrupciones:

Dispositivos de suma importancia en nuestro sistema son los contadores e interrupciones, cuya programación y utilización conjunta permiten realizar operaciones muy precisas, como medida de tiempos, generación de frecuencias de muestreo variable función de la velocidad de los vehículos, sincronización con el paso de los vehículos por la pista, etc.

Así, por ejemplo, el contador nº 3, se utiliza para medir el tiempo transcurrido entre detectores de posición, conocida la dis-

tancia entre ellos se obtendrá una medida promedio de la velocidad en cada tramo, y de la velocidad en cada tramo una medida de la aceleración. Esto se logra programando el contador de 16 bits para que siempre esté contando a la frecuencia fija programada (3 KHz), cada vez que entra un detector de posición se atiende una interrupción que lee la cuenta y pone el contador a cero, obteniendo así cuentas absolutas entre detectores.

Para generar las interrupciones cada 5 cms de recorrido del vehículo y poder realizar así las medidas de los sensores asignados a un ensayo dinámico, se utiliza el contador nº 2, este se programa como generador de pulsos a una frecuencia que depende de la cuenta cargada, los pulsos generados activan una interrupción cuya rutina de atención lee los sensores asignados, la cuenta que se carga en el contador se calcula según la velocidad del vehículo en el tramo a medir y en la vuelta anterior.

Memoria 2 puertas:

El micro de medidas (carr3) y el de comunicaciones (carr2) son sistemas fuertemente acoplados a través de una zona de memoria compartida, lográndose así una rápida y elevada transferencia de información.

De forma natural el acceso a memoria lo tiene concedido carr2, cuando éste necesita enviar información a carr3, deposita el mensaje en la memoria y avisa a carr3 mediante la activación de una interrupción, carr3 la reconoce, se pide el acceso a la memoria y realiza las tareas asignadas. La comunicación en sentido inverso es simétrica.

Obtención de la lectura de un sensor:

Se ha diseñado un módulo de electrónica que contiene 16 placas, en cada placa se pueden conectar hasta 16 sensores direccionados por un único multiplexor. (Fig. 4).

La salida de cada multiplexor se conecta al canal correspondiente de la única placa convertidor A/D que contiene el micro de medidas. En esta placa se pueden direccionar y leer hasta 16 canales.

De esta forma el número total de sensores que se pueden direccionar y leer será de 256 sensores. Para leer un sensor determinado solo se requiere definirlo por dos bytes que indiquen a que placa multiplexora o canal de la placa convertidor A/D (0..15) se vá a acceder y dentro de esa placa el número de canal (0..15).

Para obtener la lectura de un sensor, carr2 comunica a carr3 el sensor que quiere leer dejando el código del mismo, la placa y canal asignados, en la memoria común.

El micro de medidas recoge el código de canal (4 bits) y a través de un bus con 4 líneas direcciona los multiplexores de las placas al canal correspondiente, espera 10 microsegundos y arranca la lectura del canal de la placa A/D correspondiente al código de placa enviado.

7. PROCESO AUTOMÁTICO PARA LA OBTENCIÓN DE ENSAYOS DINÁMICOS

La automatización de la pista de ensayos acelerados de firmes permite el funcionamiento continuado y cíclico de los vehículos a la velocidad y calle programada, al tiempo que se generan cíclicamente también y de forma automática los ensayos dinámicos, permitiendo que cada determinadas vueltas recorridas por los vehículos sobre la pista o intervalo de tiempo programado se tenga información de la respuesta de todos los sensores de la pista al paso de los vehículos por los mismos.

En la ejecución de un ensayo dinámico se genera de forma automática todo un proceso de interrupciones en la que intervienen los tres micros.

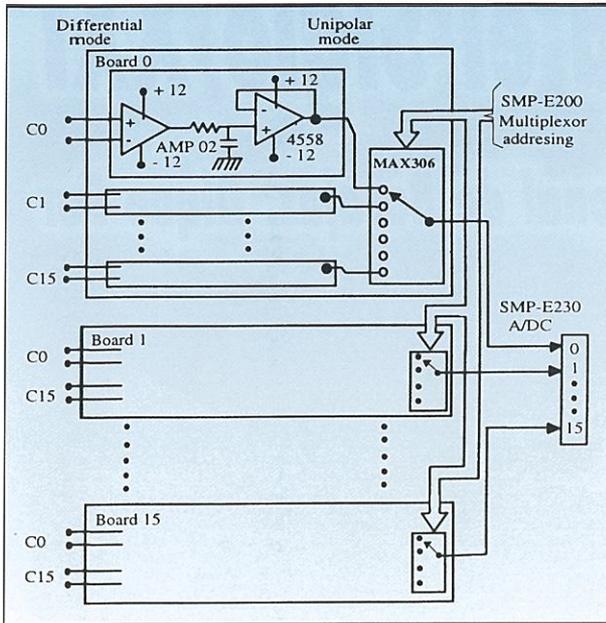


FIGURA 4. Esquema de los módulos multiplexores.

El arranque del proceso comienza con la ejecución de un ensayo de posición, estos se activan por un sensor óptico si es por vueltas, o por una alarma programada en la placa de horas de carr1 si es un ensayo por tiempo.

El ensayo de posición traslada las órdenes al controlador y espera a que se posicionen los vehículos en las calles programadas, una vez detectada esta situación, indica a carr2 vía interrupción serie que se está realizando tal ensayo, carr2 recoge a través de la matriz de asociación de ensayos de posición con ensayos dinámicos el conjunto de sensores que tiene que medir carr3.

Carr2 deposita los sensores y sus códigos de acceso en la memoria compartida con carr3.

Carr3 se organiza, genera unas tablas de sensores ordenadas por grupos de sensores que se encuentren en la misma sección, y sincroniza la medida programando una interrupción cada 5 cms de recorrido del vehículo al paso de los mismos por los detectores ópticos de posición. Intenta medir en una sola vuelta, llevando el control de todas las incidencias del ensayo, fallo de detectores, cálculo de la velocidad real del vehículo durante la medida, etc. Ver Fig. 5.

Cuando termina la medida, pasa los resultados, 200 medidas por sensor centradas en el mismo (equivale a 10 metros de recorrido) a carr2 a través de la memoria compartida. A continuación se mide siempre un conjunto de sensores asociados a este tipo de ensayo (temperaturas, nivel freático,...) para adjuntarlos a los datos.

Carr2 los recibe y los envía al PC recepción de ensayos donde se genera un archivo con nombre el número de vueltas totales al origen , y desde aquí se conecta con el sistema informático del CEC.

8. CONCLUSIONES

Con la instrumentación de la pista se ha creado un sistema muy complejo, porque lo es en sí mismo, pero lleva años funcionando y generando una muy valiosa información.

Toda esta información queda almacenada en los sistemas informáticos del Centro de Estudios de Carreteras y permite realizar numerosos estudios, podemos citar:

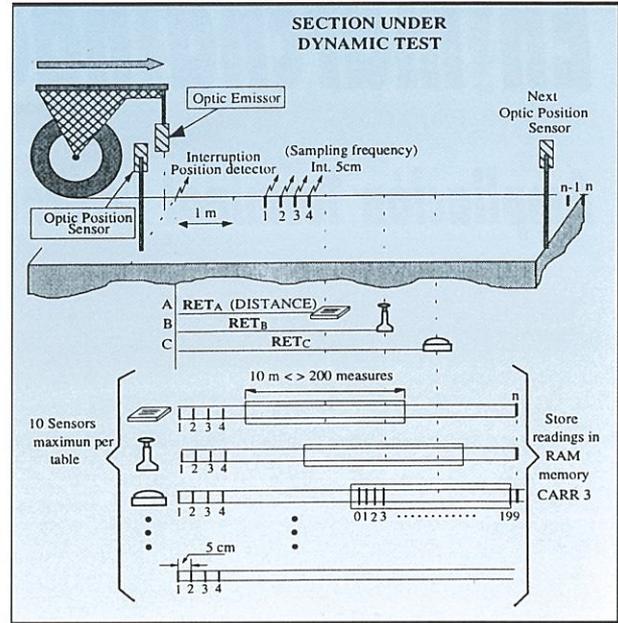


FIGURA 5. Organización de un ensayo dinámico.

- Estudiar la evolución de los diferentes tipos de firmes de ensayo a lo largo del tiempo.
- Determinar los parámetros que caracterizan a los mismos obtenidos experimentalmente a escala real que sirvan como datos fuentes para programas de modelización y simulación de firmes de carreteras.
- Analizar la respuesta de los firmes de ensayos bajo diferentes condiciones, de carga, velocidad, temperatura, pisada, etc.
- La experiencia acumulada permite seleccionar cual es el sensor que mejor se aplica en la medida de una magnitud determinada.
- Testear los datos con otros equipos de superficie que vigilan el estado de los firmes.

Todos conocemos los revolucionarios avances que en los últimos años presenta la electrónica y la informática, sería conveniente actualizar el sistema con los micros de la última generación. Esto permitiría repartir las tres responsabilidades entre diferentes tareas que se ejecutan en tiempo real en un único microprocesador.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Instrumentación de la pista de ensayos acelerados de firmes del Centro de Estudios de Carreteras*. CEDEX. Tomo I y II, 1996.
- [2] *Technical Description of Microcomputer Board System and Programmer's Reference Manual 8088 and 8087*. SIEMENS, 1985.
- [3] *Uffenbeck. The 8086/8088 Family. Design, programming, and interfacing*, PRENTICE-HALL, 1987.
- [4] *Uffenbeck. Microcomputers and Microprocessors. The 8080,8085 and Z-80*, PRENTICE-HALL, 1985.
- [5] *Kerninghan. The C Programming Language*, PRENTICE-HALL, 1985.
- [6] BOYLESTAD y NASHESKY. *Electronics: A survey*. Prentice-Hall International, 1989.
- [7] PEYTON y WALSH. *Analog Electronics with Op.Amps*. Cambridge University Press, 1993.
- [8] FIGLIOLA y BEASLEY. *Theory and design for mechanical measurements*, John Wiley & Sons, 1995.
- [9] JOHN DUNNICLIFF. *Geotechnical instrumentation for monitoring field performance*, John Wiley & Sons, 1988.