

Coeficiente de impacto en puentes de carretera

Ensayo dinámico normalizado
para su determinación

**Coeficiente de impacto
en puentes de carretera**

Ensayo dinámico normalizado
para su determinación

INDICE

	PRESENTACION	7
1	SITUACION ACTUAL	9
2	INCREMENTO DINAMICO	
	2.1 Introducción	11
	2.2 Definiciones	11
	2.3 Excitación de la estructura	13
	2.4 Puntos de medida	15
	2.5 Magnitudes a medir	16
	2.6 Materiales	16
	2.7 Frecuencia propia	17
	2.8 Estado del pavimento	18
3	METODO DEL LABORATORIO CENTRAL PARA LA REALIZACION DE LOS ENSAYOS	
	3.1 Excitación de la estructura	19
	3.2 Sistemas de medida	19
	3.3 Toma de datos	22
	3.4 Análisis de señales	23
4	ENSAYO DINAMICO NORMALIZADO	
	4.1 Definiciones	25
	4.2 Excitación de la estructura	25
	4.3 Magnitudes a medir. Puntos de medida	26
	4.4 Instrumentación	27
	4.5 Registro	27
	4.6 Análisis	28

PRESENTACION

El problema de la determinación del valor del denominado "coeficiente de impacto", factor amplificador de las cargas estáticas producidas por el tráfico a su paso por los puentes, se remonta a tiempos antiguos. Como ejemplo, basta recordar la fórmula adoptada por la Instrucción de 1902 para puentes metálicos de ferrocarril que relaciona linealmente la luz del tramo con el citado coeficiente.

En la normativa más moderna, las propuestas no pueden ser más dispares pasando, desde fórmulas complejas en las que, además de la luz se hacen intervenir otras variables como es el caso del reglamento francés, a la solución dada por nuestra Instrucción de acciones para puentes de carretera (1972) en la que se indica que en los valores de las cargas se considera incluido el coeficiente de impacto.

En la actualidad hay numerosos trabajos en marcha cuyo objetivo final es, además de esclarecer el complejo fenómeno del efecto dinámico en los puentes producido por las cargas de tráfico, valorar con cierta precisión dicho efecto. Los citados trabajos se orientan según dos caminos: métodos matemáticos o trabajos experimentales.

En este sentido, el Servicio de Puentes y Estructuras del Area de Tecnología ha promovido una serie de estudios sobre el tema así como una campaña de trabajos experimentales, comenzando por la puesta a punto de un ensayo dinámico normalizado, objeto fundamental de esta publicación.

Este trabajo ha sido desarrollado por un equipo de técnicos del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales-CEDEX, dirigido por D. Rafael Astudillo Pastor, ICCP, Jefe de la División de Análisis Experimental de Estructuras y cuyo seguimiento y supervisión ha llevado a cabo este Servicio.

Ramón del Cuervo

INGENIERO JEFE DEL SERVICIO DE
PUENTES Y ESTRUCTURAS

SITUACION ACTUAL

En la actualidad existe gran interés en modificar el cálculo de puentes actualizando la forma de considerar el efecto dinámico de las cargas de los vehículos a su paso por la estructura.

Por este motivo se vienen realizando, en una labor de investigación que se remonta incluso a varias décadas, ensayos dinámicos para obtener las características de la respuesta de un puente al paso de vehículos, entre las que se incluye el coeficiente de amplificación dinámica (llamado otras veces factor o coeficiente de impacto, incremento dinámico, etc.).

La progresiva utilización de materiales más ligeros y la creciente esbeltez de las estructuras han incidido en la necesidad de un mejor conocimiento, tanto teórico como experimental, de la dinámica del puente.

La mayoría de los trabajos se centran principalmente en dos temas:

- a) Una serie de autores se dedica a la modelización teórica del sistema vehículo-puente para tratar de obtener la respuesta de este último al paso del vehículo.
- b) Un segundo grupo realiza un trabajo fundamentalmente experimental, consistente en obtener los valores del incremento dinámico en un número generalmente grande de puentes, mediante ensayos dinámicos.

Dentro del primer grupo existe una gran variedad de soluciones teóricas al problema de la obtención de la respuesta del puente al paso del vehículo. A medida que la potencia ofrecida por el soporte informático ha ido creciendo, las soluciones de tipo teórico han ido incrementando la complejidad del tratamiento matemático; desde los primeros planteamientos que consideraban una carga constante o pulsatoria desplazándose sobre el tablero, modelizado éste como una viga, y utilizaban métodos clásicos para la resolución de las ecuaciones, hasta tratamientos más modernos en los que se tienen en cuenta las características dinámicas del vehículo y su sistema de suspensión, la interacción entre vehículo y puente, el carácter aleatorio de la excitación y su respuesta, y la utilización de métodos numéricos para la modelización de la estructura y para la resolución de las ecuaciones.

Es opinión generalizada que el problema no está matemáticamente resuelto y que para cada caso particular varían los datos relativos al vehículo, a la estructura, al estado de la superficie de rodadura, etc., que hacen muy difícil la aplicación de métodos generales.

Aun no realizando ninguno de ellos una descripción completa de todos los aspectos del fenómeno, estos estudios teóricos han servido para poner de manifiesto la influencia que ciertos parámetros pueden tener sobre la respuesta de la estructura, y en particular sobre el incremento dinámico.

El otro grupo de autores, que han desarrollado un trabajo de tipo experimental, han puesto de manifiesto, mediante la realización de ensayos recientes o la utilización de datos de ensayos antiguos, los valores reales del incremento dinámico y las circunstancias que inciden sobre su magnitud.

Los coeficientes de mayoración o amplificación dinámica que, aplicados a los valores estáticos para tener en consideración los efectos dinámicos de las cargas, se prescriben en las Instrucciones de muchos países son función directa de la luz del puente, existiendo un consenso general en el sentido de considerar que esta amplificación es mayor para luces pequeñas y que debe ir reduciéndose a medida que la luz va aumentando. Esta consideración no parece tener una seria justificación teórica.

Muchas de esas Instrucciones consideran el efecto dinámico como en las primeras normas basadas en la experiencia que se tenía del comportamiento de los puentes de ferrocarril y carretera. Desde entonces hasta nuestros días se han producido suficientes modificaciones en los materiales, en las tipologías constructivas y en las propias cargas como para considerar necesaria una revisión de las provisiones realizadas para la consideración del efecto dinámico.

Es cierto que pocos fallos en puentes pueden ser directamente achacables a la forma de considerar el efecto dinámico de las Instrucciones, pero esto puede ser más debido a una reserva de resistencia de la estructura, no prevista en el cálculo, que al empleo de una fórmula conservadora para tener en cuenta el efecto dinámico de las cargas actuantes.

2

INCREMENTO DINAMICO

2.1 INTRODUCCION

Se refiere el presente apartado a los factores básicos implicados en el incremento dinámico: definiciones, elementos que intervienen en los ensayos para su determinación, parámetros que influyen en su cálculo, etc.

La respuesta dinámica de un puente al paso de un vehículo depende, fundamentalmente, de los siguientes factores:

- Las características dinámicas del vehículo.
- Las características dinámicas del puente.
- La velocidad de paso.
- El perfil del pavimento antes y durante el paso sobre la estructura.

La respuesta dinámica del puente al paso de un vehículo se produce con mayor amplitud cuando alguna de las frecuencias de los modos de vibración del tablero (normalmente los primeros modos de flexión longitudinal, flexión transversal y torsión) coincide con alguna de las frecuencias contenidas en el espectro correspondiente a la carga dinámica transmitida por el vehículo.

La carga transmitida por los vehículos a la estructura está constituida por dos componentes:

- Una oscilación de baja frecuencia, entre los 2 y 5 Hz., provocada por irregularidades del pavimento de gran longitud de onda.
- Una componente de mayor frecuencia, entre 10 y 15 Hz., excitada por el efecto de las ruedas sobre el pavimento y que procede de las irregularidades en éste con pequeña longitud de onda.

Debido a que la gran mayoría de los puentes tiene alguna de las primeras frecuencias fundamentales de vibración, ya sea a flexión longitudinal, flexión transversal o a torsión, dentro de la banda de frecuencias (2 a 5 Hz.) correspondiente a la oscilación global del vehículo, resulta normal la excitación de alguno de los primeros modos de vibración del tablero. Normalmente son las flexiones longitudinales del tablero las que influyen de forma fundamental sobre el incremento dinámico, por lo que lo sucesivo se refiere siempre a ellas.

2.2 DEFINICIONES

La respuesta dinámica de un puente isostático y de un solo tramo, correspondiente a un transductor de deformación o desplazamiento vertical en un punto intermedio del tablero es de la forma indicada en la **figura 2.1.**

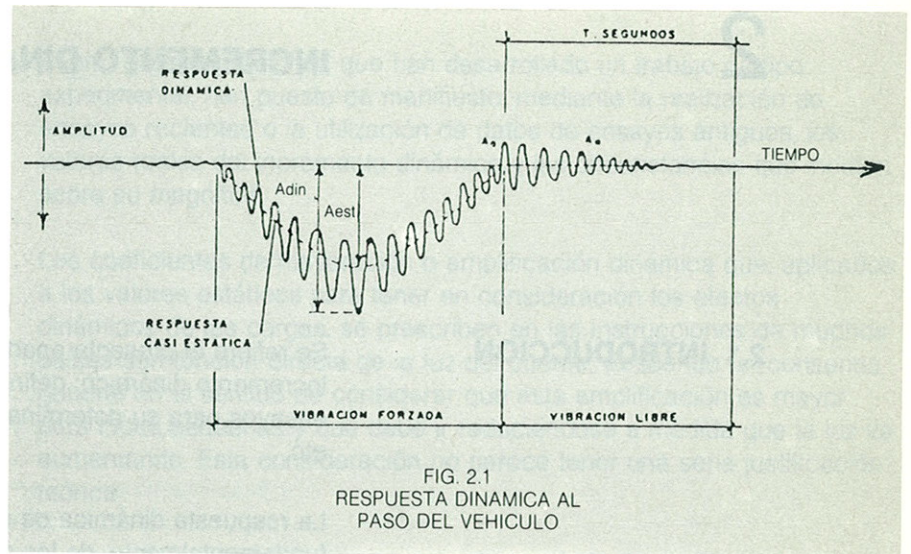


FIG. 2.1
RESPUESTA DINAMICA AL
PASO DEL VEHICULO

Consta dicha respuesta de dos zonas bien diferenciadas:

- Una zona correspondiente a la vibración forzada de la estructura y que se produce mientras el vehículo permanece sobre el tramo en estudio.
- Una zona de vibraciones libres amortiguadas, que corresponde a la respuesta de la estructura cuando el vehículo ha abandonado el tramo.

Dentro de la zona correspondiente a las vibraciones forzadas, la respuesta está constituida por dos componentes:

- Una componente estática, que sería la respuesta de la estructura si se inhibiera totalmente la vibración y que coincidiría con la línea de influencia de la deformación (o desplazamiento) en el punto considerado al paso del vehículo.
- Una componente dinámica que se superpone a la anterior, y que sería la diferencia entre la respuesta dinámica total del puente y la componente estática antes descrita.

En primer lugar, existen distintas denominaciones para el llamado "coeficiente de impacto". Aunque se trata simplemente de un problema de terminología, parecen más adecuadas otras denominaciones, como la de coeficiente de amplificación dinámica o la de incremento dinámico, entre otras. Se ha elegido esta última "incremento dinámico" (ID) que es la utilizada en el resto de la presente publicación.

Aunque existen diferentes definiciones del incremento dinámico según distintos autores, una forma bastante general de definirlo a partir de un registro de la respuesta dinámica en un punto, tal como el de la figura 2.1. sería:

$$ID = \frac{A_{din} - A_{est}}{A_{est}} \quad (\times 100 \%)$$

- A_{din} es la máxima amplitud de la respuesta dinámica en el punto de medida.
- A_{est} es la máxima respuesta en ese punto de medida para la misma excitación que antes, pero actuando de forma estática.

Los valores de A_{din} y A_{est} no tienen por qué producirse en el mismo instante.

Es precisamente en la forma de considerar el valor de A_{est} donde estriban la mayoría de las diferencias entre las distintas definiciones del ID. Las opciones más comunes son:

- Considerar A_{est} como el máximo valor medido sobre la curva "media" obtenida a partir de un registro dinámico tal como el de la **figura 2.1**.
- Obtener A_{est} como el valor de la amplitud máxima de la señal resultante de someter a uno de estos registros dinámicos a un proceso de filtración que elimine la componente dinámica superpuesta.
- Obtener A_{est} a partir de un registro de este tipo pero correspondiente a una pasada a una velocidad lo suficientemente lenta como para que la componente dinámica sea prácticamente nula.
- Obtener A_{est} a partir de un ensayo estático con la carga situada en la posición de la trayectoria seguida en el ensayo dinámico que proporcione la máxima respuesta estática.

En capítulos posteriores se describe la forma, al parecer más idónea, para la obtención del ID.

2.3 EXCITACION DE LA ESTRUCTURA

Dada la propia definición del incremento dinámico como la relación entre el incremento de la respuesta de la estructura debida al efecto dinámico de una carga y la respuesta de la misma frente a la misma carga actuando de forma estática, los ensayos para la determinación del ID deberán realizarse mediante la actuación sobre la estructura de las cargas habituales en ella, es decir, mediante el paso de vehículos sobre el tablero.

No tiene sentido en los ensayos de determinación del incremento dinámico la utilización de otros sistemas de excitación, tales como la relajación instantánea de una deformación inicial, la utilización de actuadores mecánicos que imponen acciones puntuales armónicas cuya frecuencia se hace variar dentro de un cierto rango, etc. Estos métodos de puesta en estado de vibración de la estructura serán adecuados, sin embargo, para obtener características de la respuesta dinámica tales como frecuencias propias, formas modales y amortiguamientos; pero no servirán, por la propia definición de esta magnitud, para la determinación de los incrementos dinámicos.

Así pues, la excitación de la estructura se podrá realizar:

- 1) Haciendo pasar un vehículo normalizado de ensayo.
- 2) Mediante la utilización del tráfico normal sobre la estructura.

En el primer caso, la utilización de un vehículo normalizado permitirá el que, repitiendo los ensayos en distintas estructuras con las mismas características del vehículo en cuanto a:

- peso total
- distribución del peso
- sistema de suspensión
- neumáticos (características y presión de inflado)

se puedan determinar los valores del ID de forma que permitan establecer criterios comparativos de éstos, en relación con las diferentes características de las estructuras, y sin que vengan influenciados por el propio vehículo con el que se realizan los ensayos.

De hecho, si se realizan ensayos para obtención del ID en un puente con vehículos distintos, se obtienen valores generalmente dispares.

En este caso de utilizar un vehículo de ensayo se deberán realizar diversas pasadas eligiendo el sentido de paso más adecuado a circunstancias tales como:

- Posibilidad de variar la velocidad dentro de límites amplios. Así, en puentes con fuerte pendiente longitudinal será mejor realizar las pasadas cuesta abajo que en sentido contrario.
- Trazado de la carretera: curvas, rasantes, obstáculos, etc. que hagan más aconsejable la elección de uno de los sentidos.
- Sentido habitual del tráfico: en los puentes de sentido único de circulación las pasadas se realizarán de acuerdo con él.

En este mismo caso de utilizar un vehículo de ensayo habrá que seleccionar, donde la calzada tenga varios carriles, por cuál de ellos se realizarán las pasadas. A veces se han utilizado criterios diversos: a veces las pasadas se hacían por el eje longitudinal de la calzada, con independencia de la división de ésta en carriles y arcones; en otros casos los ensayos se realizan pasando el vehículo por el carril que utilice habitualmente el tráfico pesado. Parece más lógico este último criterio, ya que se obtendrán incrementos dinámicos más acordes con los que habitualmente se producen en el puente.

La velocidad de paso del vehículo se irá incrementando lentamente desde los 5 ó 10 km/h. hasta llegar a la máxima velocidad de paso compatible con la seguridad.

Según algunos autores el ID es función creciente de la velocidad de paso, mientras que para otros existe una velocidad crítica para la cual se produce el mayor valor del ID, disminuyendo éste para velocidades mayores.

Si no fuese posible realizar los ensayos mediante un vehículo de ensayo controlado habrá que aprovechar el tráfico normal sobre la estructura. En este caso, se dispondrá de la respuesta dinámica de la estructura al paso de un vehículo, pero no se podrá obtener la respuesta estática o cuasi-estática a la que referirse para calcular el ID.

Una forma aproximada de obtener esa respuesta es la filtración de la señal para eliminar las componentes de alta frecuencia. Este método es solamente aproximado ya que, aparte de las variaciones debidas a la diferencia de los tiempos de estabilización, que pueden ser más o menos largos en el ensayo estático y nulos en la pasada a una cierta velocidad, el paso de una carga constante no pulsatoria sobre una superficie de rodadura perfecta ya produce una respuesta dinámica. Estas consideraciones teóricas han sido contrastadas por la experiencia en puentes de ferrocarril: la respuesta estática no coincide con la respuesta media obtenida a partir de un registro dinámico.

Los ensayos con tráfico normal tienen el inconveniente de que los vehículos pesados no cubren de forma suficiente el espectro de velocidades de paso, por lo que normalmente no quedará cubierta la velocidad crítica de paso para la que se producirá el ID máximo.

Las diferencias entre los distintos vehículos dependerán de su velocidad de paso y de sus propias características dinámicas. La dispersión de los valores obtenidos en estas medidas con tráfico normal sí pueden ser una indicación de la variación que puede existir en el valor del ID obtenido cuando se realiza el ensayo mediante un cierto vehículo normalizado, respecto del caso de utilizar vehículos distintos a éste.

2.4 PUNTOS DE MEDIDA

La selección de los puntos de medida dependerá básicamente de la tipología del puente a ensayar y de la respuesta dinámica prevista a priori.

La primera selección que habría que hacer, en el caso de puentes con varios tramos, es la del tramo que será objeto del ensayo. No existe ningún criterio general que permita establecer de forma unívoca cuál es el tramo que debe ensayarse. La selección del tramo se realizará teniendo en cuenta, entre otras, características tales como:

A) Según el comportamiento dinámico de la estructura:

- Tramos en los que se prevé una respuesta más importante tanto estática como dinámicamente.
- Tramos de mayor luz.
- Tramos de mayor esbeltez.

B) Según las condiciones de ensayo:

- Condiciones del pavimento: juntas, camino de acceso, etc.
- Condiciones del trazado.

El ensayo puede ampliarse a más de un tramo siempre que ello se considere útil y que proporcione mejor información sobre el comportamiento de la estructura desde el punto de vista del ID.

En el caso de puentes continuos puede ser conveniente instrumentar un tramo de forma más completa y colocar alguna instrumentación en uno o en los dos tramos adyacentes.

Ya dentro del tramo de ensayo, y en el caso más general de medida de desplazamientos, se suele instrumentar exclusivamente la sección del centro de la luz del tramo.

Dentro de la sección se deben colocar los puntos de medida en los elementos resistentes principales.

En el caso de puentes de vigas, o de puentes con flexibilidad transversal importante, será necesario que los puntos de medida queden dentro de la zona de influencia del paso de vehículos, entendiendo por tal aquella en la que el valor de un coeficiente α , definido como (**figura 2.2**).

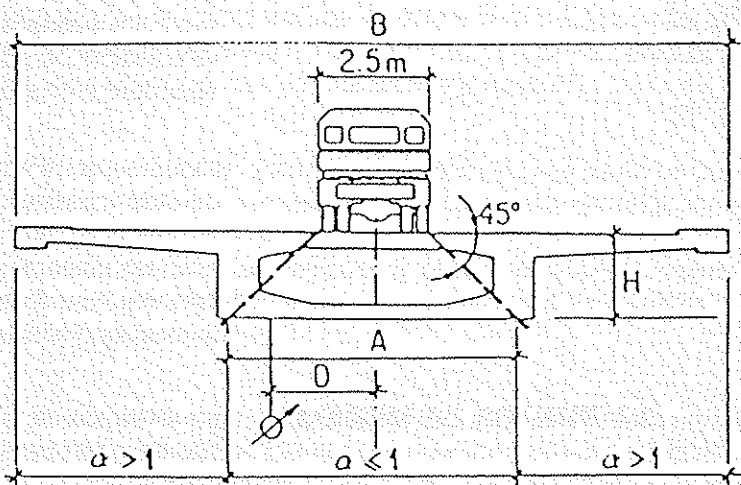


FIG. 22
ZONA DE INFLUENCIA DE UN VEHICULO

$$\alpha = \frac{D}{H + 1,25} \quad (\text{H,D en metros})$$

Sea inferior a la unidad

Cuanto mayor sea la flexibilidad transversal del tablero y cuanto más desviados de la zona de influencia del vehículo queden los puntos de medida, tanto más se obtendrán valores del ID sobrevalorados, debido a que la respuesta estática en ellos es muy pequeña, mientras que la respuesta dinámica puede ser importante.

Algunos autores corrigen estos efectos tomando como referencia estática en el cálculo del ID, en los puntos de una cierta sección del tablero, el valor máximo obtenido de esta magnitud estática para cualquiera de los puntos de la sección.

En el caso de tableros con sección en cajón será preferible la medida en puntos de la sección cerrada a la medida en puntos de los voladizos.

Las medidas en los bordes del tablero son más fáciles de instrumentar y bastante comunes en estos ensayos, pero pueden proporcionar resultados excesivamente altos por los motivos anteriormente expuestos.

2.5 MAGNITUDES A MEDIR

Las magnitudes a medir en los ensayos destinados a la obtención del ID serán deformaciones y frecuentemente, desplazamientos.

Los valores del ID obtenidos para deformaciones y para desplazamientos no son exactamente iguales, según la experiencia.

2.6 MATERIALES

Parece que el material de la estructura no tiene una influencia notable sobre los valores del ID, no existiendo diferencias, por lo que al material se refiere, entre puentes de hormigón armado, pretensados, hormigón aligerado y compuestos.

2.7 FRECUENCIA PROPIA

A partir de los datos experimentales se observa que:

1) Sin obstáculos sobre el pavimento:

— Los mayores valores del ID (50 al 70 %) se producen en puentes cuya frecuencia fundamental está en el rango entre los 2,5 y 4 Hz. (**fig. 2.3**).

2) Con un obstáculo sobre la calzada:

— Los mayores valores del ID (180 al 230 %) se producen en puentes cuya frecuencia fundamental está dentro del rango de 1,5 a 3 Hz. o en el de 7 a 15 Hz. (**fig. 2.4**).

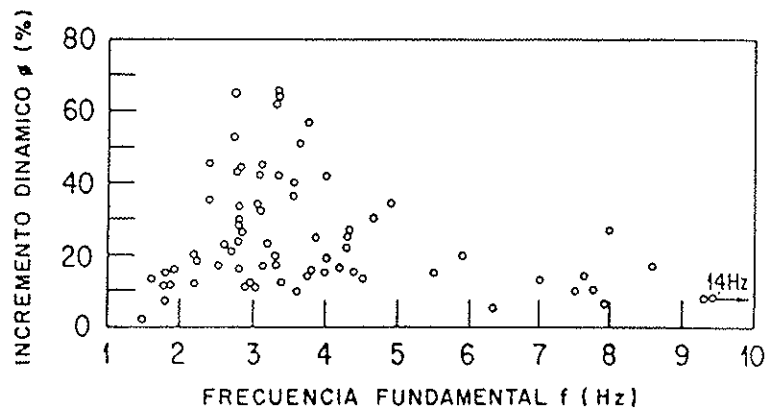


FIG. 2.3
VALORES ID (EMPA)

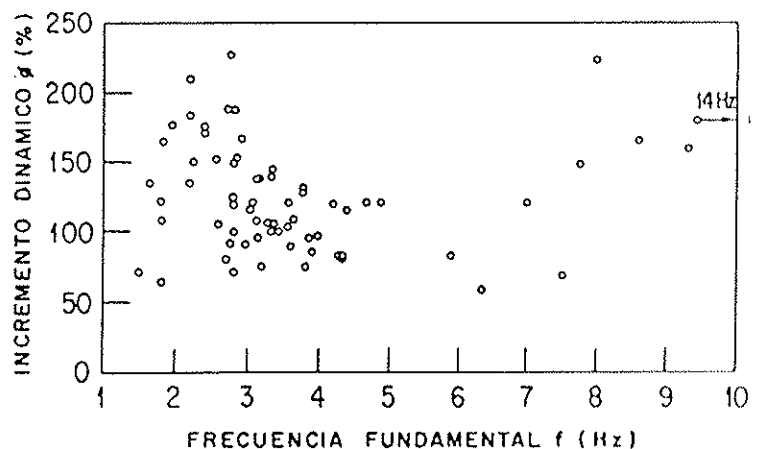


FIG. 2.4
VALORES ID (Paso con obstáculo) (EMPA)

Estos datos se refieren a los valores máximos del ID una vez desechados los valores exageradamente altos por la posición del punto de medida (sólo se incluyen los valores correspondientes a puntos de medida con un coeficiente $\alpha \leq 0,8$).

2.8 ESTADO DEL PAVIMENTO

Los puentes con un pavimento en mal estado de conservación presentan valores del ID más altos que los puentes con una superficie de rodadura uniforme.

3

METODO DEL LABORATORIO CENTRAL PARA LA REALIZACION DE LOS ENSAYOS

En este apartado se describirá el método de ensayo, la instrumentación utilizada y el sistema de toma de datos y de análisis de los mismos con que se ha equipado el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX para la realización de ensayos en puentes encaminados a la obtención del ID.

Con independencia de la solución adoptada, que es la que parece la más idónea para el fin que se persigue, en el capítulo siguiente se describe un ensayo dinámico normalizado que especifica, en términos más generales, puesto que en ciertos aspectos son también igualmente válidas otras soluciones diferentes, las líneas maestras para su realización.

3.1 EXCITACION DE LA ESTRUCTURA

Se pretende utilizar los dos sistemas citados anteriormente para la excitación del puente:

- Pasadas con un vehículo normalizado.
- Tráfico normal sobre la estructura.

Para el primer tipo de excitación se utiliza un camión Pegaso Comet de dos ejes (**foto 1**), del que se dispone en el Laboratorio Central para transporte y manipulación de una plataforma de inspección en puentes. Se acondiciona su plataforma para permitir su lastre mediante unos bloques de hormigón que permiten aumentar el peso total hasta un valor de 12 t.



FOTO 1
VEHICULO PARA ENSAYOS DINAMICOS

3.2 SISTEMAS DE MEDIDA

Las magnitudes normalmente utilizadas para la determinación del ID son los desplazamientos verticales y las deformaciones.

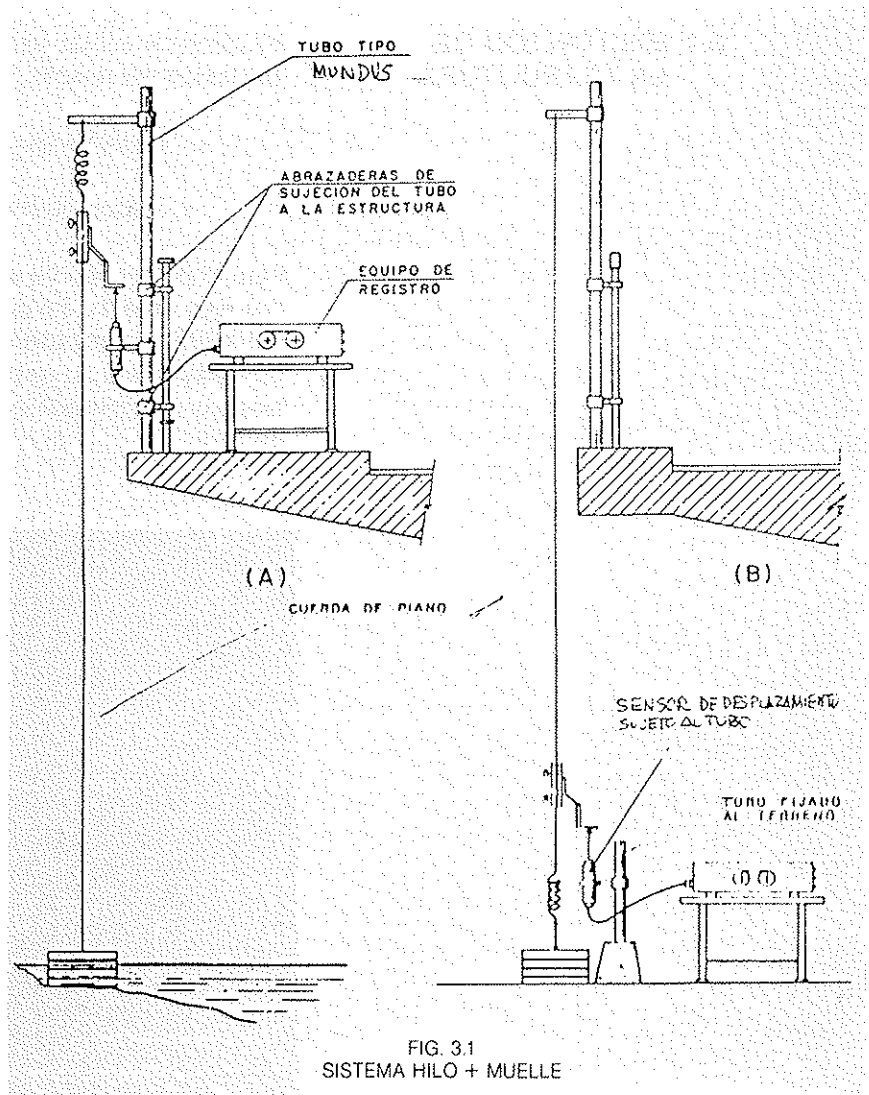
La medida de deformaciones presenta, sobre todo en los puentes de hormigón, algunas características peculiares que la hacen más delicada que la medida de desplazamientos: por lo que en la mayoría de los casos los ID se obtienen a partir de la respuesta de la estructura a desplazamientos.

Para la medida de desplazamientos se pueden emplear varios sistemas diferentes:

- Sistemas electro-mecánicos.
- Sistemas electro-ópticos.

Dentro de los sistemas electro-mecánicos hay tres sistemas:

- 1) Sistema hilo + anillo.
- 2) Sistema hilo + ménsula.
- 3) Sistema hilo + muelle.



De acuerdo con la experiencia, se considera idóneo el sistema constituido por un hilo metálico de cuerda de piano, un muelle que lo mantiene tenso y un transductor de desplazamiento (LVDT, o sea transformador diferencial de variación lineal). Este sistema, que aparece en la figura 3.1, permite la colocación según dos configuraciones distintas, y tiene buena respuesta para alturas hasta 6 m. y es de prever que funcione con normalidad hasta alturas de 20 metros o más.

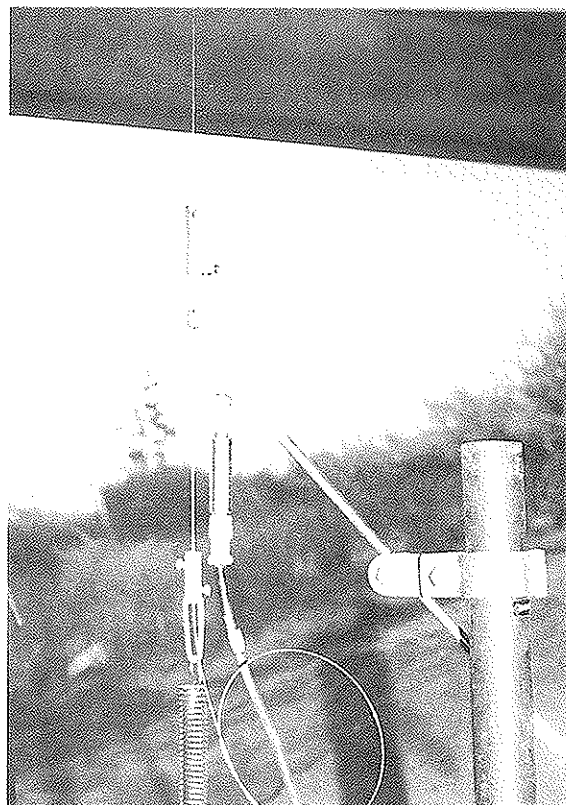


FOTO 2
DETALLE SISTEMA HILO + MUELLE

Dentro de los sistemas electro-ópticos hay dos distintos de medida de desplazamientos, ambos basados en el láser. Estos métodos con buenas condiciones ambientales presentan un funcionamiento correcto, y muchas veces son el único sistema fiable para la medida dinámica de flechas en estructuras de gran luz y altura considerable; aunque presentan el inconveniente del elevado coste del equipo por punto de medida.

Normalmente, los LVDT de 6 mm. (± 3 mm.) permiten cubrir la mayoría de las situaciones y, solamente en los casos de puentes con una respuesta muy grande, habría que utilizar los LVDT de 12 mm. (± 6 mm.). Para casos excepcionales habría que emplear transductores de 50 mm. (± 25 mm.) de rango (**foto 3**).

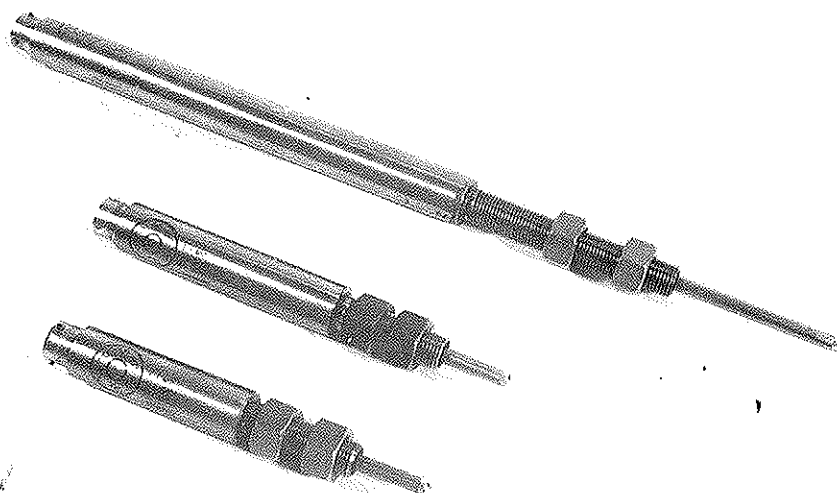


FOTO 3
TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO (LVDT)

La **fotografía 2** muestra un detalle del sistema hilo + muelle instalado en un puente.

3.3 TOMA DE DATOS

Dado que el análisis de los datos de los ensayos para la obtención del ID no suele realizarse en tiempo real, sino que es posterior a la toma de aquéllos, es necesario su almacenamiento hasta su análisis.

Existen dos posibilidades de almacenamiento:

- Sistemas gráficos.
- Sistemas magnéticos.

con ventajas e inconvenientes cada uno de ellos.

Por otra parte, dada la cualidad dinámica de la respuesta de la estructura, es necesario medirla de forma continua en el tiempo (o discretizarla con una frecuencia de muestreo suficientemente alta) para poder obtener de forma correcta los valores del ID: es decir, no pueden utilizarse sistemas de toma de datos que multiplexen o discreticen las distintas señales de los transductores con frecuencia de lectura o muestreo excesivamente bajas.

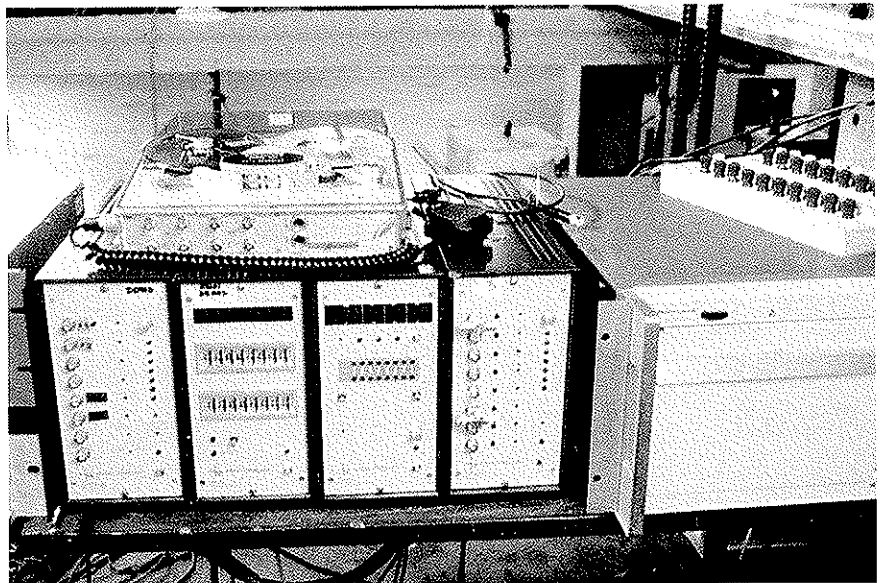


FOTO 4
SISTEMA DE REGISTRO

Las fotografías 4 y 5 muestran equipos de registros que pueden ser instalados en un Laboratorio móvil.

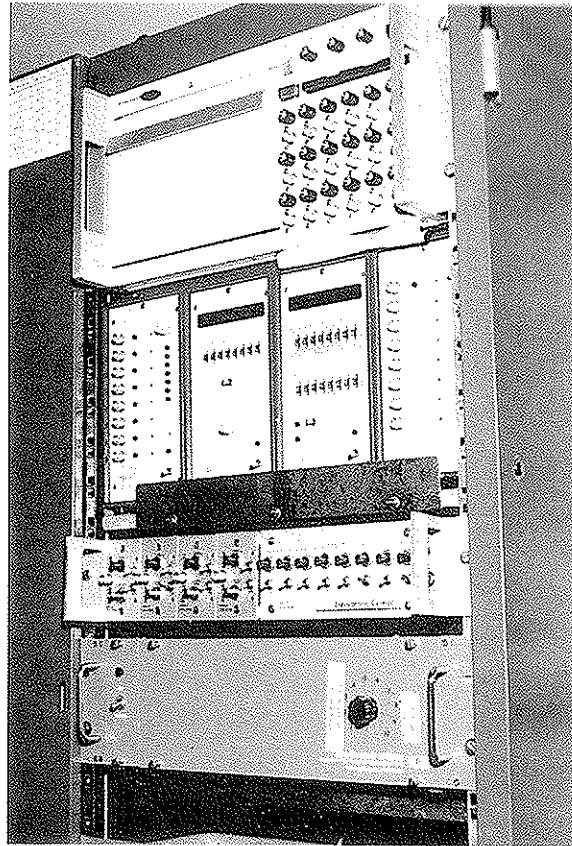


FOTO 5
EQUIPO DEL LABORATORIO MOVIL

3.4 ANALISIS DE SEÑALES

Partiendo de las señales grabadas en un soporte magnético, hay que realizar las fases siguientes para proceder al análisis de las señales:

1. Transferencia de datos desde la cinta al ordenador.
2. Análisis digital de las señales:
 - Identificación.
 - Conservación.
 - Observación visual.
 - Análisis.
 - Filtración.
 - Obtención de valores del ID.
3. Presentación de resultados.

La fotografía 6 muestra un sistema para transferencia de datos y un ordenador necesario para el análisis de señales.



FOTO 6
SISTEMA ANALISIS DE RESULTADOS

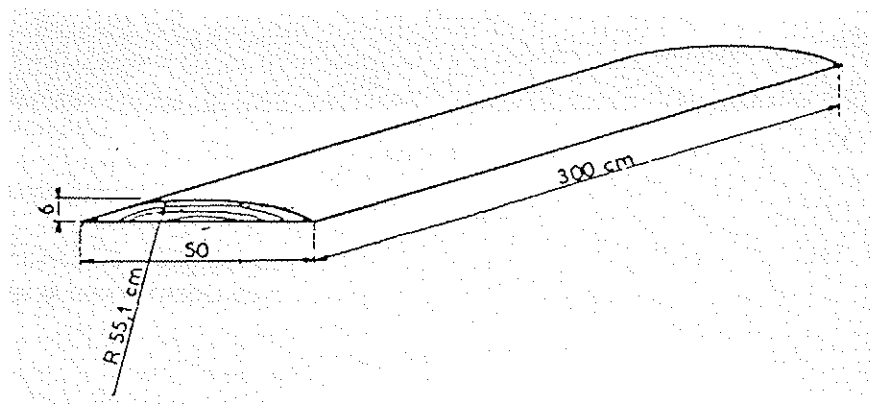


FIG. 4.1 - REFERENCIA PAG. 26
OBSTACULO NORMALIZADO RILEM

4

ENSAYO DINAMICO NORMALIZADO

Con independencia de que el equipamiento del Laboratorio Central para los ensayos de obtención del ID sea el descrito en el capítulo anterior, en el presente apartado se exponen la instrumentación y el método de ejecución de los ensayos y del análisis de los resultados, que constituye la base de un ensayo dinámico normalizado encaminado a la obtención de los valores del incremento dinámico.

4.1 DEFINICIONES

ENSAYO NORMALIZADO

El ensayo dinámico normalizado para la obtención del incremento dinámico en puentes de carretera define las características generales en cuanto a: excitación de la estructura, magnitudes a medir, puntos de medida y análisis de las señales, para la obtención de dicho parámetro.

INCREMENTO DINAMICO

El incremento dinámico en un punto del puente al paso de un vehículo sobre el mismo es el cociente:

$$\frac{A_{din} - A_{est}}{A_{est}} \quad (1)$$

siendo:

A_{din} = Amplitud máxima de la respuesta dinámica en ese punto al paso del vehículo sobre el puente a una cierta velocidad.

A_{est} = Amplitud de la respuesta máxima en ese punto, obtenida situando de forma estática el vehículo sobre el puente o haciéndolo pasar muy lentamente siguiendo la misma trayectoria que en el caso de la obtención de A_{din} .

El valor del ID puede darse también en tanto por ciento, multiplicando el valor (1) por 100.

4.2 EXCITACION DE LA ESTRUCTURA

La excitación de la estructura para la obtención del ID se realizará mediante el paso de un vehículo sobre el tablero a distintas velocidades.

VEHICULO: Normalmente se utilizará un solo vehículo, que puede ser un camión de dos o tres ejes, con peso total suficiente para provocar la respuesta de la estructura con la debida amplitud.

La situación ideal para poder establecer comparaciones entre los resultados de varias estructuras es la de utilizar un mismo vehículo con el peso y las mismas condiciones de suspensión (incluida la presión de inflado de las ruedas).

TRAYECTORIA: Solamente sería necesario el paso del vehículo en uno de los dos sentidos posibles.

Normalmente se elegirá aquel sentido que afecte menos a las condiciones normales de realización del ensayo y a las de vibración de la estructura. Se tendrán en cuenta, por tanto, para la

selección del sentido de paso, factores tales como: el estado de la superficie de rodadura, las condiciones de circulación a la entrada del puente, pendiente longitudinal, trazado, etc.

Si el puente tiene varios carriles de circulación en el sentido de paso, lo más lógico es obtener los valores del ID realizando las pasadas del vehículo de ensayo por el carril que utilizaría normalmente el tráfico pesado.

El ensayo consistiría en efectuar algunas pasadas a muy baja velocidad, para obtener los valores correspondientes a la situación "cuasi estática" e ir incrementando la velocidad en escalones de 10 km/h. En la zona para la que se obtenga el mayor ID pueden realizarse pasadas ajustando la velocidad a valores intermedios.

Con independencia de esta forma de paso del vehículo, pueden también realizarse pasadas colocando un obstáculo, que puede ser el previsto por la RILEM (Reunión Internacional de Laboratorios de Ensayo de Materiales), cuyo esquema aparece en la figura 4.1 pág. 24. Este obstáculo se colocaría en el centro de la luz del tramo en estudio. También pueden realizarse algunos ensayos de frenado.

4.3 MAGNITUDES A MEDIR. PUNTOS DE MEDIDA

La magnitud a medir en los ensayos de determinación del incremento dinámico será, normalmente, el desplazamiento vertical de diversos puntos de la estructura.

En el caso de puentes metálicos puede resultar de mayor interés la obtención del incremento dinámico para deformaciones en lugar de desplazamientos.

En cuanto a los puntos de medida, aunque no pueden darse reglas que comprendan todas las tipologías posibles, sí puede establecerse que en el caso de tramos isostáticos se instrumentará la sección del centro de la luz, situando aparatos de medida en los elementos resistentes principales y en la zona de influencia del paso del vehículo de ensayo. Solamente si por dificultades de instrumentación no existiera otra posibilidad, o si la rigidez transversal del puente fuera elevada, se colocarán puntos de medida en los bordes del tablero.

En general serán suficientes las medidas en un número de puntos comprendido entre 2 y 4.

En el caso de puentes continuos se instrumentará el vano que mayor respuesta dinámica presente "a priori", aunque es conveniente completar el sistema de medida instrumentando algún otro de los tramos.

No obstante, en el caso de estructuras importantes, con vanos de gran luz, gran número de tramos o tipologías especiales, habrá que estudiar cada caso particular para decidir los tramos a instrumentar y la posición de los puntos de medida.

Aparte de los desplazamientos y deformaciones, que representan la respuesta de la estructura al paso del vehículo, otra magnitud que hay que medir con cierta precisión es la velocidad real de paso del vehículo de ensayo. El velocímetro del propio vehículo puede servir de indicación aproximada, pero conviene disponer de algún método más preciso, como puede ser el disparo de algún tipo de indicador a la entrada y salida del tramo ensayado.

4.4 INSTRUMENTACION

Cualquiera que sea el tipo de instrumentación utilizado para la medida de desplazamientos o deformaciones, éste deberá permitir el registro continuo de la respuesta de la estructura durante el paso del vehículo sobre la misma y durante el período de tiempo inmediato, una vez que ha salido el vehículo del puente, en el que la estructura queda sometida a un estado de vibración libre amortiguada. En el término "continuo" aplicado al registro de la respuesta, se incluyen no sólo aquella instrumentación de tipo analógico, que proporciona un registro que es efectivamente continuo, sino también la instrumentación de tipo digital, siempre que su frecuencia de muestreo sea lo suficientemente alta como para no perder la información necesaria de las características de la señal.

Los captadores de desplazamiento o deformación serán, por tanto, del tipo transductor, es decir: capaces de convertir la correspondiente magnitud física, variable en el tiempo, en una magnitud eléctrica que, variando de acuerdo con aquélla, permita su registro sobre algún tipo de soporte.

Para el caso de desplazamientos pueden utilizarse sistemas como los:

A) Electro-mecánicos:

- hilo + ménsula instrumentada con bandas.
- hilo + muelle + transductor de desplazamiento.
- hilo + anillo instrumentado con bandas.

B) Electro-ópticos:

- Láser.

Para la medida de las deformaciones pueden utilizarse bandas extensométricas o sistemas basados en transductores de desplazamiento.

Cualquiera que sea el método empleado, en el caso de utilizar un sistema electro-mecánico, éste debe ser previamente tarado, y comprobado el efecto de los distintos parámetros del propio sistema (características del hilo, anillo deformable, ménsula, etc.) y del ensayo (longitud del hilo, frecuencias implicadas, etc.), de manera que, para un ensayo determinado, pueden hacerse, si fuera preciso, las oportunas correcciones.

4.5 REGISTRO

El registro de las señales para su posterior análisis puede hacerse utilizando sistemas gráficos o magnéticos.

En ambos casos deberá ser la respuesta del instrumento suficientemente rápida para no recortar ni distorsionar los picos de la señal original.

En general, son preferibles los sistemas de registro magnéticos, que permite un mejor tratamiento de las señales en la fase de análisis.

Entre los sistema gráficos pueden utilizarse, entre otros, registradores térmicos, de plumilla o de luz ultravioleta, y entre los magnéticos: los analógicos con modulación de frecuencia, los digitales (PCM) o los soportes magnéticos (discos rígidos o flexibles, cintas, etc.) de los sistemas de toma de datos con microordenador incorporado.

4.6 ANALISIS

El análisis de las señales procedentes del ensayo dinámico normalizado tiene como finalidad la obtención de los valores del ID según la definición que del mismo se hace en el apartado 4.1.

Para la obtención del ID correspondiente a un punto de medida y a una pasada del vehículo de ensayo habrá que obtener los dos valores de la amplitud de la señal en ese punto que intervienen en la expresión del ID:

- 1) Amplitud dinámica máxima de la señal producida durante el paso del vehículo.

Para la obtención de dicha amplitud, en el caso de que la señal se haya grabado durante el ensayo y que el proceso se realice mediante ordenador, habrá que preparar un algoritmo que obtenga el valor máximo absoluto del conjunto de muestras que constituyen la definición digital de la señal. Los valores de la amplitud estarán referidos a un cero inicial que normalmente será el nivel de amplitud existente antes de que el vehículo entre en el puente.

En el caso de registro gráfico esta amplitud máxima se obtendrá midiendo directamente sobre el dibujo con una escalilla graduada. La amplitud se referirá, como en el caso anterior, al nivel inicial anterior a la entrada del vehículo en el puente.

- 2) Amplitud correspondiente a la aplicación estática o "cuasi estática" de la carga.

Este nivel de amplitud puede obtenerse de la misma forma que la amplitud dinámica, pero pasando el vehículo muy lentamente sobre la estructura, de forma que la componente dinámica superpuesta a la respuesta estática de aquella sea prácticamente nula. Dicha respuesta vendría a ser una especie de línea de influencia de la magnitud que se esté midiendo (desplazamiento o deformación) al paso del vehículo de ensayo sobre el puente.

En el caso de que las señales obtenidas en este ensayo "cuasi estático" estuvieran ligeramente perturbadas por alguna componente dinámica, podría aplicarse algún método de filtración que elimine las componentes de mayor frecuencia contenidas en la señal, pero siempre cuidando que este proceso no perturbe las características de la señal original.

Al igual que con la respuesta dinámica, las amplitudes están siempre referidas al nivel inicial existente inmediatamente antes de que el vehículo entre en el puente.

En el caso de que el ID se obtenga con relación a la respuesta realmente estática de la carga, ésta se habrá obtenido a partir de un ensayo estático, por lo que no será necesario ningún tipo de análisis para su obtención, sino que será un valor numérico A_{est} que se introducirá directamente en la expresión (1).