

MOPU

23

Pruebas de carga en puentes de Carretera

Pruebas de carga en puentes de Carretera

INDICE

PRESENTACION	7
INTRODUCCION	9
CAPITULO I	
PRUEBAS DE RECEPCION DE OBRA NUEVA	11
1. CAMPO DE APLICACION	13
2. DIRECCION DE LAS PRUEBAS	13
3. PROYECTO DE LA PRUEBA	14
3.1 Memoria	14
3.2 Planos	14
3.3 Pliego de prescripciones técnicas particulares	14
3.4 Presupuesto	14
4. POSIBLES REDUCCIONES	15
5. PREPARACION DE LA PRUEBA	15
6. INSPECCION DE LAS OBRAS	15
7. NIVELACION DE LA OBRA	16
8. ELEMENTOS AUXILIARES	16
9. MAGNITUDES A MEDIR	16
10. APARATOS DE MEDIDA	16
11. PRUEBAS DE CARGA ESTATICAS	16
11.1 Plazo de ejecución	16
11.2 Tren de cargas	17
11.2.1 Materialización del tren de cargas	17
11.2.2 Zonas de aplicación de la carga	18
11.2.3 Forma de aplicación de la carga	18
11.2.3.1 Ciclos de carga	18
11.2.3.2 Escalones de carga	
11.2.3.3 Duración de la aplicación de las cargas	20
11.3 Criterios de estabilización	20
11.4 Valores remanentes	23
11.5 Criterios de aceptación	25

INDICE

12.	PRUEBAS COMPLEMENTARIAS	26
13.	PRUEBAS DE CARGA REDUCIDAS	26
14.	EFFECTOS AMBIENTALES	26
15.	PRUEBAS DINAMICAS	27
15.1	Excitación de la estructura	27
15.2	Magnitudes a medir	28
15.3	Análisis de los resultados	28
16.	ACTA DE LA PRUEBA DE CARGA	28

CAPITULO II

PRUEBAS DE CARGA DE OBRAS EN SERVICIO	31
---------------------------------------	----

CAPITULO III

OBSERVACION A LARGO PLAZO	35
---------------------------	----

ANEJOS

1. Definiciones	41
2. Prueba de carga estándar. Ejemplo	43
3. Presupuesto de prueba de carga	45

PRESENTACION

En el año 1974 la Dirección General de Carreteras publicó unas «Recomendaciones para el proyecto y ejecución de pruebas de carga en puentes de carretera». Como ya se decía en la Introducción de dichas recomendaciones, era un primer intento de definir la sistemática de actuación, tanto en lo que se refería a problemas puramente técnicos como a los económicos y formales de las pruebas de carga.

Reconociendo la utilidad y el servicio prestado por estas Recomendaciones, pioneras en España en esta materia, la experiencia acumulada durante los años transcurridos desde su publicación hace aconsejable una revisión de las mismas que, aún conservando parte de su contenido, proceda a modificar, ampliar e incluir algunos temas no contemplados anteriormente.

Por ello, este documento no sólo se refiere a las pruebas de carga obligatorias según la Instrucción de acciones (1972) vigente y a las que las Recomendaciones citadas iban dirigidas, sino que se ha ampliado a pruebas de carga de obras en servicio y al seguimiento de puentes especiales evolutivos (voladizos sucesivos, atirantados, etcétera).

Esta publicación se basa en un trabajo realizado por el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX) en conexión con el Servicio de Puentes y Estructuras del Área de Tecnología y a cuya redacción final han hecho observaciones valiosas algunas entidades expertas en la materia, entre las cuales cabe citar a INTEMAC, GEOCISA y EUROCONSULT.

Por el Servicio de Puentes y Estructuras

R. del Cuvillo

J. Galindo

INTRODUCCION

La prueba de carga de una estructura es un proceso que, mediante la reproducción de un estado de carga sobre la misma, pretende obtener datos suficientes de su respuesta frente a dicho estado, de forma que pueda deducirse su comportamiento funcional. Se distinguen los siguientes casos según la finalidad que se pretenda conseguir:

a) **Pruebas de recepción de obra nueva**, en las que, tal como se cita en los comentarios al artículo 6 de la «Instrucción relativa a acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera», se pretende controlar la adecuada concepción y la buena ejecución de las obras, demostrando experimentalmente, antes de su puesta en servicio, su capacidad para resistir adecuadamente las cargas de explotación.

b) **Pruebas de obras en servicio**. Se incluye en este grupo cualquier tipo de ensayo no comprendido en el caso anterior. Unas veces se trata de verificar que la estructura sigue manteniendo la capacidad portante necesaria para resistir adecuadamente las cargas de explotación; otras veces, en un cierto momento de la vida de una estructura, o después de un proceso de reforma, se pretende aportar datos para la evaluación de su capacidad portante.

Debe añadirse que de las pruebas de carga pueden obtenerse valiosos datos de investigación, ya que, en definitiva, se trata de ensayos a escala natural de una estructura real de los que pueden deducirse conclusiones útiles para futuros proyectos, confirmaciones de supuestos de diseño, etcétera, máxime cuando ello puede representar tan sólo un pequeño incremento de costo y, en ocasiones, ninguno.

Consta la presente publicación de tres capítulos y otros tantos anejos.

El capítulo I contiene el núcleo principal de esta publicación y está dedicado íntegramente a las pruebas de recepción de obra nueva. Como novedades más importantes se detalla la metodología a seguir en las pruebas de carga: ciclos de carga, escalones, criterios de estabilización, valores remanentes, etcétera; se exponen unos criterios de aceptación o rechazo y se contemplan las pruebas de carga reducidas y complementarias.

Además, en este capítulo I se amplía el apartado correspondiente a las pruebas dinámicas que será necesario realizar en aquellos puentes en los que se prevea un efecto considerable de vibración. También se incluye, para cierto tipo de puentes, la necesidad de efectuar una nivelación completa de toda la obra en estado de descarga y referida a puntos de referencia fijos exteriores al puente. Esta nivelación, junto con la inspección visual de la obra efectuadas una vez terminada la prueba de carga y antes de su puesta en servicio, constituyen datos iniciales de la mayor importancia a los que poder referirse en el futuro cuando se lleven a cabo los programas de inspecciones rutinarias, principales o especiales, de forma que pueda seguirse la evolución del estado del puente a lo largo de su vida útil.

El capítulo II, aunque brevemente, se refiere a las pruebas de carga de puentes en servicio. En este caso, la variedad de objeti-

vos no permite abordar el tema de una forma sistemática y general. Por esta razón la presente publicación se refiere, fundamentalmente, al caso de las pruebas de recepción de obra nueva, aunque, de forma genérica, gran parte de la metodología contemplada en el capítulo I puede ser aprovechada para el caso de pruebas de carga de puentes en servicio.

Con independencia de las inspecciones que con carácter rutinario, periódico o especial realicen los correspondientes servicios para vigilar el estado general de la estructura, existen ciertos tipos de puentes especiales en los que es aconsejable efectuar un seguimiento continuo de la evolución de sus características. En este caso, será necesario incluir en el Proyecto de la obra un plan de seguimiento de dicha evolución que contemple las magnitudes a medir, los puntos de medida, la frecuencia de las medidas, etc. En este plan se deberá especificar la instrumentación necesaria prevista para su colocación durante la fase de construcción de la obra. A estas observaciones a largo plazo de puentes especiales se les dedica el nuevo capítulo III.

A la redacción principal ya indicada se acompañan tres anejos:

- 1) Anejo de definiciones, necesario para aclarar algunas de las expresiones usadas en esta Publicación.
- 2) Anejo de prueba de carga estándar que, a título de ejemplo, expone los aspectos más importantes a tener en cuenta en el proyecto y ejecución de pruebas de carga de puentes de pequeña o mediana luz.
- 3) Anejo de ejemplo de presupuesto.

1. Campo de aplicación

El contenido de esta Publicación es de aplicación para obras de paso de carreteras (puentes, viaductos, pontones, etc.) y pasarelas. Se excluyen los casos singulares tales como puentes mixtos de carretera y ferrocarril, de acueducto y carretera, etc.

En el caso de puentes nuevos la prueba de carga estática es preceptiva, según la «Instrucción de Acciones» vigente, que establece lo siguiente:

«Todo puente deberá ser sometido a una prueba de carga antes de su puesta en servicio. Las pruebas podrán ser estáticas o dinámicas. Las primeras serán siempre obligatorias; las segundas lo serán en aquellas estructuras en las que se prevea un efecto considerable de vibración.»

Los ensayos dinámicos estarán indicados, y se recomienda su realización, en los puentes de gran luz, puentes de diseño inusual y en el caso de utilización de nuevos materiales.

Los casos de pruebas de carga, a realizar tras obras importantes de reforma o refuerzo de la estructura, se considerarán del mismo modo que si se tratase de una obra nueva.

No se considera, sin embargo, objeto de esta Publicación la comprobación de elementos estructurales aislados, tales como pilotes, vigas prefabricadas, etc, consideradas como unidades parciales de la estructura global. Las pruebas que podrían llamarse de recepción de tales elementos o unidades estructurales corresponden a ensayos de control a realizar antes o después de la ejecución de las obras, aunque a veces un comportamiento distinto al supuesto para tales elementos sea detectado en las pruebas de carga.

2. Dirección de las pruebas

La dirección de las pruebas estará a cargo del Ingeniero Director de la Obra, el cual podrá, ante las incidencias habidas durante la ejecución de la misma, introducir cuantas modificaciones al programa general sean necesarias, ordenar la realización de pruebas complementarias, modificar o adaptar el tren de carga a las condiciones de las pruebas o a las características de la estructura, intensificar las medidas a realizar, ampliar los tiempos de carga, etcétera.

Será quien, una vez que las considere realizadas en todas sus fases, dará por terminadas las pruebas, y deberá en su caso ordenar la suspensión de las mismas cuando así lo exija el comportamiento de la estructura durante el ensayo.

Deberá efectuar una inspección previa a la realización del ensayo y otra posterior al mismo en la que se refleje el estado final de la obra después del proceso de carga. Con todos estos datos, descripción del ensayo, incidencias y presentación de resultados redactará el Acta de la prueba.

El Director de la Obra podrá encargar la realización de las pruebas a personal cualificado, al frente del cual figurará un Ingeniero especializado en este tipo de trabajos, a quién en adelante denominaremos Director de las Pruebas. En el caso de obras singulares, entendiéndose por tales bien las de cierta magnitud o bien las que presenten alguna característica técnica no usual, puede ser conveniente la asesoría del Autor del Proyecto.

3. Proyecto de la prueba

El proyecto de la prueba de carga deberá estar incluido en el Proyecto de la obra, correspondiendo, por tanto, su redacción al autor de dicho Proyecto.

El documento constará de las siguientes partes:

3.1 Memoria

Se describirán con detalle la prueba de carga a realizar, los elementos a controlar en la misma y el tren de cargas que se ha de utilizar, así como las distintas fases de que constará, los estados de carga y los puntos de medida correspondientes. Se especificarán los aparatos de medida, y se definirán cuantos detalles sean necesarios para una completa descripción de la prueba.

Caso de considerarse necesarios, se describirán los medios auxiliares precisos para la inspección de la estructura y para la colocación y control de los aparatos de medida.

En el Anejo de Cálculo se determinarán, a partir del tren de cargas definido en el proyecto de la prueba, los valores previstos de las magnitudes a medir.

En el Anejo de Justificación de precios se obtendrán los valores de las partidas alzadas que contenga el Presupuesto.

3.2 Planos

Se incluirán los croquis o planos necesarios para describir con carácter general los distintos estados de carga y la posición de todos los aparatos de medida.

Caso de ser necesario, se incluirá un plano de los andamiajes y medios auxiliares que sea preciso instalar.

3.3 Pliego de prescripciones técnicas particulares

Se incluirán las especificaciones a tener en cuenta en la realización de las pruebas, y se determinarán la precisión y rango mínimo que deban tener los aparatos de medida que vayan a utilizarse, así como los valores de los parámetros a tener en cuenta en los distintos criterios de aceptación de los resultados.

Se incluirán también los conceptos que incluyan el abono de las partidas y unidades detalladas en el presupuesto.

3.4 Presupuesto

El Presupuesto de la prueba de carga podrá realizarse:

A) Por partida alzada de abono íntegro al contratista (y que como tal deberá figurar como precio en el cuadro de precios).

En ella se incluirán: andamiajes, medios auxiliares, puntos fijos, bases de nivelación y cuantas obras sean necesarias para la realización de la prueba de carga, así como la dotación de los vehículos para la realización de los distintos estados de carga y el personal y equipo técnico especializado encargado de la realización de la misma.

Si en el Proyecto se prevén dos o más pruebas de carga, estas partidas podrán unirse y constituir una sola.

B) Por partida alzada a justificar mediante precios unitarios. Estos precios unitarios, que deberán figurar como tales en los cuadros de precios correspondientes serán:

- a) Camión cargado/día
- b) Equipo de ensayo/día

Se incluirán en el equipo de ensayo los gastos de personal,

gastos de viaje, dietas, amortización de aparatos, material fungible, etc.

El precio b) podrá suprimirse en el caso de que se prevea que la realización de la prueba de carga será llevada a cabo por la propia Administración, a través de los Servicios adscritos a la obra.

Los puntos anteriores se incluirán en los propios documentos del Proyecto de la obra y formando parte de los mismos.

4. Posibles reducciones

En las pruebas de carga de obra nueva se presentan casos en los que parece lógico adoptar alguna reducción en cuanto a la intensidad y detalle en su ejecución, siempre de acuerdo con el criterio del Ingeniero Director de las obras. Los casos más frecuentes son los siguientes:

- a) Puentes con varios vanos iguales
- b) Obras iguales e independientes

En el caso a) deberán ensayarse todos los vanos, pero la prueba de carga completa puede reducirse a un número de ellos, siempre que el control llevado en la obra fuera del tipo intenso, realizando en el resto pruebas de carga reducidas.

En el caso de puentes hiperestáticos con vanos iguales deberá efectuarse la prueba completa en los vanos extremos y en, al menos, el 30% de los interiores. Si se trata de vanos isostáticos iguales, será suficiente realizar la prueba completa sobre un 30% del número total de vanos.

En el caso b) la prueba se realizará en todas las obras, pero podrá hacerse prueba de carga reducida en un número de ellas no superior al 50% siempre que hayan sido ejecutadas en las mismas condiciones y con tipo de control normal o intenso.

5. Preparación de la prueba

Las pruebas de carga exigen una organización y preparación previa en las que se llegue a los últimos detalles y previsiones, pues las adaptaciones posteriores suelen ser difíciles y, a veces, imposibles.

Deberá tenerse conocimiento exacto del tren de cargas a utilizar, de los puntos de medida y de las características y condicionantes de los aparatos de medida utilizados; deberán preverse e inspeccionarse los medios auxiliares necesarios para el acceso a todos los puntos de medida que lo requieran y a las zonas que deban ser observadas o controladas durante la prueba, y deberá estudiarse la distribución y organización del personal que interviene en la misma, los movimientos del tren de carga en las distintas fases de la prueba, tiempos para cada estado de carga, criterios de aceptación de resultados, etc.

La preparación completa de la prueba incluye también un estudio previo y pormenorizado del proyecto de la misma, que permita prever el comportamiento de la obra durante las distintas fases del ensayo, así como los puntos en que se producirán los esfuerzos o movimientos más desfavorables y que habrá que observar para evaluar los resultados que se vayan produciendo.

6. Inspección de las obras

Antes de realizar cualquier prueba de carga se realizará una inspección de la obra que incluirá, además de la estructura resistente, los aparatos de apoyo, juntas y otros elementos singulares.

Hay que destacar la importancia de esta inspección, pues pudiera dar lugar, en ocasiones, a modificar las condiciones en que la prueba de carga estaba concebida e incluso a desaconsejar la realización de la misma, además de permitir la observación de detalles que pueden ser concluyentes a la hora de interpretar los resultados de la prueba.

Durante la prueba se realizarán controles periódicos de los elementos más característicos de la obra, señalándose los defectos que se vayan observando.

En las estructuras de hormigón es fundamental y del mayor interés un control riguroso del posible proceso de fisuración.

Al finalizar las pruebas volverá a realizarse una última inspección de la obra.

7. Nivelación de la obra

En el caso de puentes con luces superiores a 25 metros, así como en el caso de estructuras con sustentación hiperestática o de estructuras de hormigón en las que se prevea la existencia de deformaciones diferidas de cierta importancia, se realizará, una vez concluida la prueba de carga, una nivelación general de la obra referida a puntos fijos que deberán quedar materializados en el terreno circundante y de cuya situación se dejará constancia en el Acta de la prueba.

8. Elementos auxiliares

Para una correcta inspección de la obra, así como para la colocación y control de los aparatos de medida serán necesarios, en general, un cierto número de elementos auxiliares. Resulta de la mayor importancia el buen funcionamiento, colocación y nivel de seguridad de dichos elementos.

Deberá cuidarse que, en consecuencia con la precisión de las medidas y el detalle de las observaciones que hayan de realizarse, se disponga de accesos adecuados, fáciles y seguros, de plataformas de trabajo rígidas, de medios de protección contra los agentes atmosféricos, etc., medidas todas ellas encaminadas a la mejor ejecución de los ensayos.

9. Magnitudes a medir

Las magnitudes a medir serán aquellas que especifique el autor del Proyecto, de forma que permitan deducir el correcto comportamiento de la obra frente a las solicitaciones producidas por los trenes de carga utilizados en las pruebas.

Asimismo, el proyectista fijará los puntos de la estructura en los que deban medirse las magnitudes correspondientes.

En el caso de medida de desplazamiento se referirán las medidas a puntos fijos que, siempre que sea posible, serán independientes de la estructura del puente. En el Acta de la prueba se dejará constancia de la situación de dichos puntos de referencia.

10. Aparatos de medida

Los aparatos de medida que se utilicen deberán estar sancionados por la experiencia en pruebas similares y deberán garantizar una apreciación mínima del orden de un 5% de los valores máximos esperados de las magnitudes que se vayan a medir.

Su campo deberá ser como mínimo superior en un 50% a los valores esperados de dichas magnitudes.

11. Pruebas de carga estáticas

11.1 Plazo de ejecución

La prueba de carga de recepción se realizará antes de la puesta en servicio de la estructura.

En el momento de iniciarse las pruebas, el hormigón de cualquier elemento resistente de la obra deberá tener una edad mínima de 90 días. Dicho plazo podrá disminuirse a 28 días siempre que el hormigón hubiese alcanzado en ese plazo la resistencia caracterís-

tica exigida en el Proyecto y que la obra hubiera estado sometida durante su construcción a control normal o intenso (dentro del concepto «hormigón» debe incluirse cualquier unidad resistente a base de cemento, como es el caso de la inyección de los conductos de pretensado).

Estas mismas condiciones son aplicables a obras antiguas después de un proceso de reforma.

En los elementos metálicos no se exigen plazos mínimos para la realización de las pruebas.

En general la prueba de carga se realizará después de concluida totalmente la obra. Si por alguna circunstancia fuera necesario realizarla antes de la ejecución de algunas de las unidades no estructurales que forman parte de la carga permanente, tales como el pavimento, aceras, barandillas, etc., pueden seguirse dos caminos:

a) Materializar una carga permanente supletoria equivalente a esas unidades de obra, colocándola, en este caso, con una antelación no inferior a 12 horas en los puentes de hormigón y de 4 horas en los metálicos.

b) Incrementar la carga de ensayo en la proporción que la ausencia de tales unidades represente.

En cualquier caso esta circunstancia se reflejará en el Acta de la prueba.

11.2 Tren de cargas

11.2.1 Materialización del tren de cargas

En el caso de puentes, dada la dificultad práctica de materializar el tren de cargas de la Instrucción, se empleará, normalmente, un tren de carga constituido por camiones u otros vehículos análogos, que deberán ser entre sí lo más parecidos que sea posible en cuanto a forma, peso y dimensiones. Su número y características deberán ser los necesarios para adaptarse a los distintos estados de carga definidos en el proyecto de las pruebas.

En ningún caso las solicitaciones a que dé lugar el tren de cargas real podrán ser superiores a los valores que teóricamente produciría la aplicación del tren de cargas definido en la «Instrucción de Acciones». Se aconseja no superar el 90% de dichos esfuerzos, y se estima suficiente que los mismos alcancen entre el 70 y el 80% de los valores máximos producidos por el tren de la Instrucción.

Antes de comenzar el ensayo se deberá disponer de las características de todos los vehículos, tales como sus dimensiones, pesos por eje y distancias entre dichos ejes. Se comprobará especialmente el peso real de cada uno de los vehículos o elementos de carga, debiendo quedar garantizado que su valor se ha obtenido con una precisión no inferior al 5% y que se mantiene sensiblemente constante durante el ensayo.

En el caso de pasarelas la carga uniforme de cálculo, de difícil materialización, podrá sustituirse por cargas concentradas. En particular, cuando se trate de elementos simplemente apoyados, podrá sustituirse la sobrecarga de 0,4 t/m² (3,92 KN/m²), con un valor total:

$$Q = 0,4 b L$$

donde b es el ancho, L la luz de cálculo en metros y Q la carga total en toneladas, por tres cargas puntuales de valor:

$$P = Q/3$$

situadas una en el centro y las otras dos a L/8 de los apoyos.

De esta forma el esfuerzo cortante en la zona de apoyos y el

momento flector en la sección central se corresponden a los producidos por la sobrecarga uniforme, siendo la flecha en el centro sólo ligeramente menor.

11.2.2 Zonas de aplicación de la carga

Como norma general, la sobrecarga que sustituye al tren de la Instrucción se aplicará solamente en la calzada y arcenes, sin que sea necesario someter a prueba las aceras. Sin embargo, en aquellos casos en que se desee ensayar también las aceras, estando éstas en voladizo, dicha prueba podrá realizarse cargando únicamente una zona de longitud igual al triple del ancho de la misma con una sobrecarga de $0,4 \text{ t/m}^2$ ($3,92 \text{ KN/m}^2$). En todo caso, y con objeto de acelerar el proceso de carga y descarga, podrá sustituirse la sobrecarga uniforme ($0,4 \text{ t/m}^2$ según la Instrucción de Acciones), por cargas puntuales, empleando vehículos de peso apropiado para producir valores aproximados a dicha solicitud.

Los estados de carga serán determinados por el proyectista de la prueba de forma que, cargando convenientemente distintas zonas de la estructura, se alcancen los porcentajes deseados de los esfuerzos máximos producidos por el tren de carga de la Instrucción en las secciones críticas.

Como norma general se aconseja la aplicación de los siguientes criterios:

En los tramos simplemente apoyados se cargará la luz total.

En puentes continuos se cargarán escalonadamente dos vanos consecutivos y alternos.

En el caso de los pórticos se cargará la luz entre apoyos, la luz total y las zonas en voladizo.

En el caso de puentes de arcos se cargará cada tramo en escalones sucesivos, una mitad de la luz, la otra mitad, la luz total y la mitad central.

Normalmente se distribuirán uniformemente los vehículos de carga en el ancho de la calzada y arcenes, si bien pueden definirse estados de carga en los que ésta se distribuya únicamente en la mitad izquierda o derecha de la misma.

En la figura 1 se representan los estados de carga recomendados para algunos de los casos anteriores.

11.2.3 Forma de aplicación de las cargas

11.2.3.1 Ciclos de carga

Se aconseja efectuar un mínimo de dos ciclos para cada uno de los estados de carga definidos en el proyecto de la prueba, con el fin de observar la concordancia de las medidas obtenidas. Una vez realizado el segundo ciclo y a la vista de los resultados obtenidos y del comportamiento general de la estructura, el Director de la prueba podrá determinar la necesidad de realizar algún ciclo adicional.

Asimismo, en el caso de puentes con varios vanos iguales o análogos el Director de la prueba podrá reducir el número de ciclos, incluso a uno solo, cuando se vayan ocupando posiciones de carga similares en otros vanos, si el comportamiento es satisfactorio y concordante con el de los vanos precedentes.

11.2.3.2 Escalones de carga

Una vez decidida la carga de ensayo es corriente que ésta se

aplique de forma progresiva en varias fases o escalones de manera que, mediante la medida simultánea de la respuesta de la estructura en las zonas críticas, se pueda tener conocimiento del correcto comportamiento de ésta dentro de las condiciones adecuadas de seguridad.

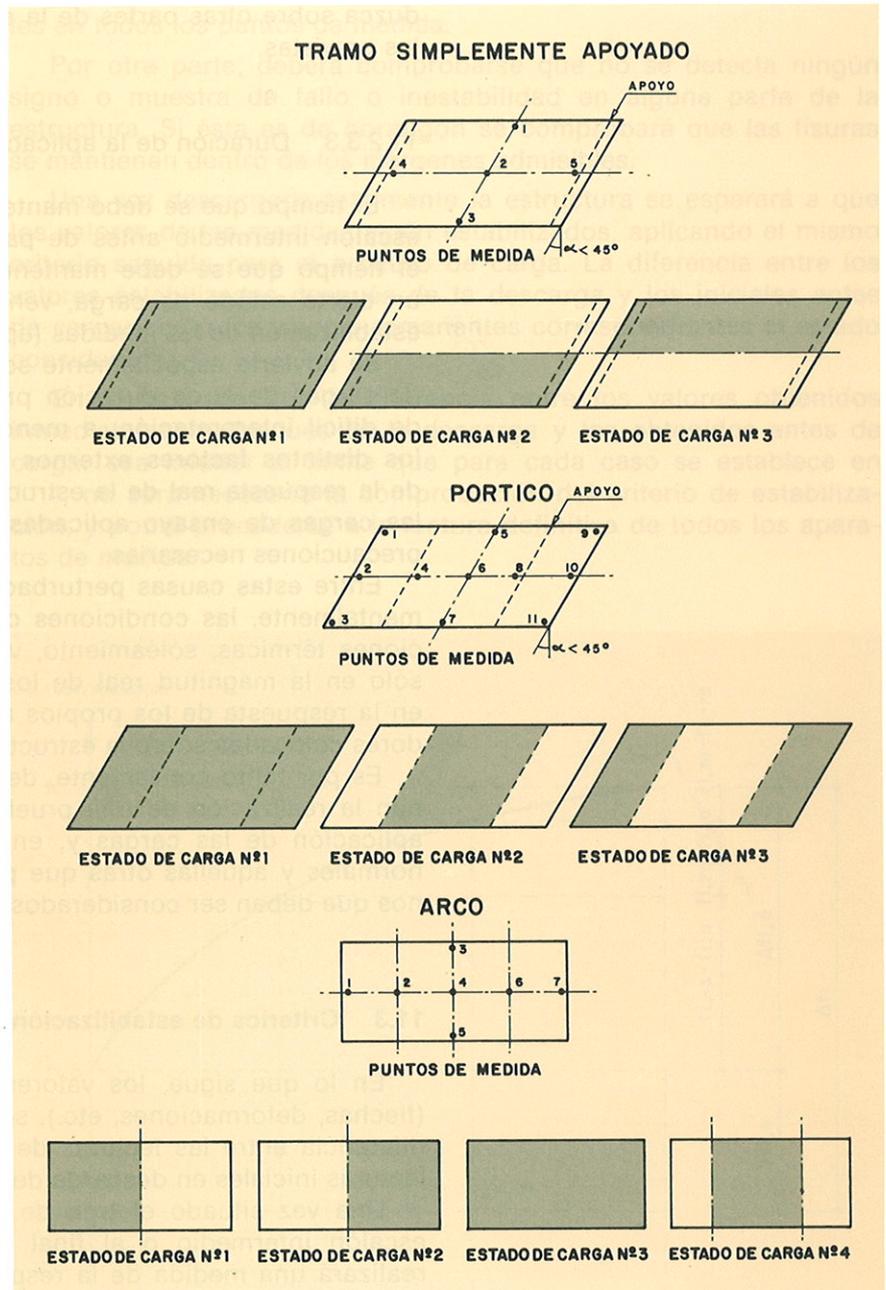


Fig. 1

La carga de ensayo se aplicará en un mínimo de dos escalones, si bien en el caso de puentes con varios vanos iguales o análogos podrán, a juicio del Director de la prueba, reducirse, e incluso limitarse, a uno solo, cuando se vayan ocupando posiciones de carga similares en otros vanos, si el comportamiento en los anteriores ha sido satisfactorio

También podrá reducirse el número de escalones en los ciclos de carga posteriores al primero, una vez visto el comportamiento de la estructura en los ciclos anteriores.

La descarga se realizará, en general, en un solo escalón. No obstante, el Director de las pruebas podrá, si lo juzga oportuno, disponer su realización en escalones análogos a los del proceso de carga.

En cualquier caso, el número de ciclos y de escalones vendrá determinado por las condiciones previstas en el proyecto de la prueba de carga.

Los movimientos de los vehículos en cualquier fase del proceso de carga o de descarga se efectuarán con la suficiente lentitud para no provocar efectos dinámicos no deseados, y se organizarán de forma que la realización de cualquier estado de carga no produzca sobre otras partes de la estructura sollicitaciones superiores a las previstas.

11.2.3.3 Duración de la aplicación de las cargas

El tiempo que se debe mantener la aplicación de la carga en un escalón intermedio antes de pasar al escalón siguiente, así como el tiempo que se debe mantener la carga total correspondiente a un cierto estado de carga, vendrá determinado por el criterio de estabilización de las medidas (apartado 11.3).

Se advierte especialmente sobre el hecho de que, la aplicación de cargas de larga duración producirá frecuentemente resultados de difícil interpretación, a menos que se controlen los efectos de los distintos factores externos que pueden perturbar las medidas de la respuesta real de la estructura frente a la acción exclusiva de las cargas de ensayo aplicadas y se tomen, en consecuencia, las precauciones necesarias.

Entre estas causas perturbadoras habrá que considerar, fundamentalmente, las condiciones climatológicas y ambientales: variaciones térmicas, soleamiento, viento, lluvia, etc., que incidirán no sólo en la magnitud real de los parámetros a medir sino también en la respuesta de los propios aparatos de medida y de los captadores colocados sobre la estructura.

Es por tanto conveniente, dentro de los márgenes que determinan la realización de una prueba, reducir al mínimo el tiempo de aplicación de las cargas y, en su caso, distinguir entre pruebas normales y aquellas otras que precisen la observación de fenómenos que deban ser considerados de media o larga duración

11.3 Criterios de estabilización

En lo que sigue, los valores de la respuesta de la estructura (flechas, deformaciones, etc.), se obtienen en cada momento como diferencia entre las lecturas de los aparatos en ese instante y las lecturas iniciales en descarga del ciclo que se está realizando.

Una vez situado el tren de carga correspondiente, bien a un escalón intermedio o al final de cualquier estado de carga, se realizará una medida de la respuesta instantánea de la estructura, y se controlarán los aparatos de medida situados en los puntos en que se esperen las deformaciones más desfavorables desde el punto de vista de la estabilización.

Transcurridos 10 minutos se realizará una nueva lectura en dichos puntos. Si las diferencias entre los nuevos valores de la respuesta y los instantáneos son inferiores al 5% de estos últimos, o bien son del mismo orden de la precisión de los aparatos de medida, se considerará estabilizado el proceso de carga y se realizará la lectura final en todos los puntos de medida.

En caso contrario se mantendrá la carga durante un nuevo intervalo de 10 minutos, y deberá cumplirse al final de los mismos que la diferencia de lecturas correspondiente a ese intervalo no supere en más de un 20% a la diferencia de lecturas correspondiente al intervalo anterior, o bien sea del orden de la precisión de los aparatos de medida.

Si esto no se cumpliera, se comprobará la misma condición en un nuevo intervalo de 10 minutos. Si el criterio de estabilización siguiera sin cumplirse, se procederá, a juicio de Ingeniero Director de las pruebas, a mantener la carga durante un nuevo intervalo, a suspender dicho estado de carga o bien a reducir la carga correspondiente al escalón considerado.

Una vez alcanzada la estabilización se tomarán las lecturas finales en todos los puntos de medida.

Por otra parte, deberá comprobarse que no se detecta ningún signo o muestra de fallo o inestabilidad en alguna parte de la estructura. Si ésta es de hormigón se comprobará que las fisuras se mantienen dentro de los márgenes admisibles.

Una vez descargada totalmente la estructura se esperará a que los valores de las medidas estén estabilizados, aplicando el mismo criterio seguido para el proceso de carga. La diferencia entre los valores estabilizados después de la descarga y los iniciales antes de cargar serán los valores remanentes correspondientes al estado considerado.

En el caso de que la diferencia entre los valores obtenidos inmediatamente después de la descarga y los obtenidos antes de cargar sea inferior al límite que para cada caso se establece en 11.4, no será necesaria la comprobación del criterio de estabilización, y podrá procederse a la lectura definitiva de todos los aparatos de medida.

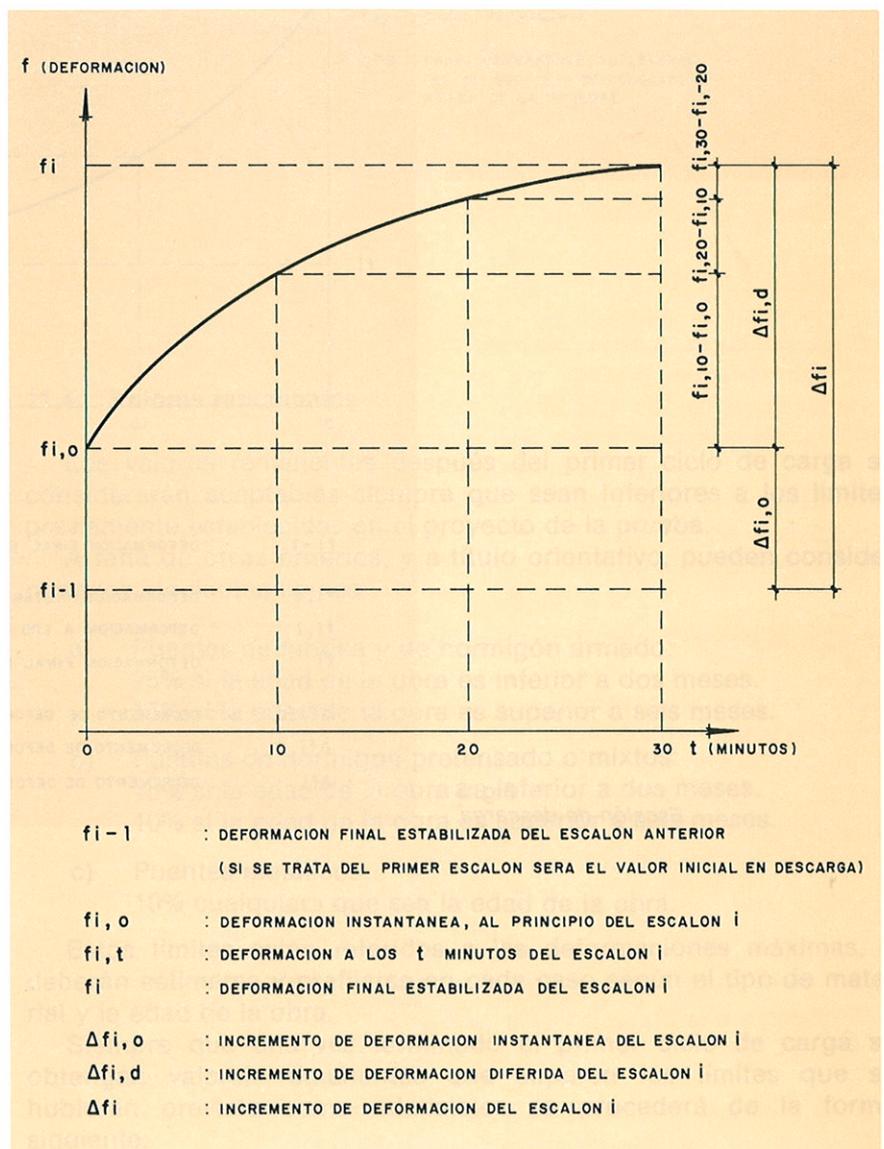


Fig. 2
Escalón de carga.

En ningún caso se iniciará la ejecución de un nuevo ciclo de carga antes de haber transcurrido al menos 10 minutos desde la descarga correspondiente al ciclo precedente.

El proceso general de carga y descarga está detallado en las figuras 2, 3 y 4.

Las figuras 2 y 3 representan el proceso de deformación con el tiempo, bajo carga constante, en un punto de la estructura durante la realización de un escalón de carga o de descarga. El término «deformación» debe entenderse en sentido amplio, es decir, puede referirse a cualquier movimiento absoluto o relativo.

La figura 4 representa el proceso general de deformación en función de la carga durante la ejecución de un ciclo completo de carga y descarga.

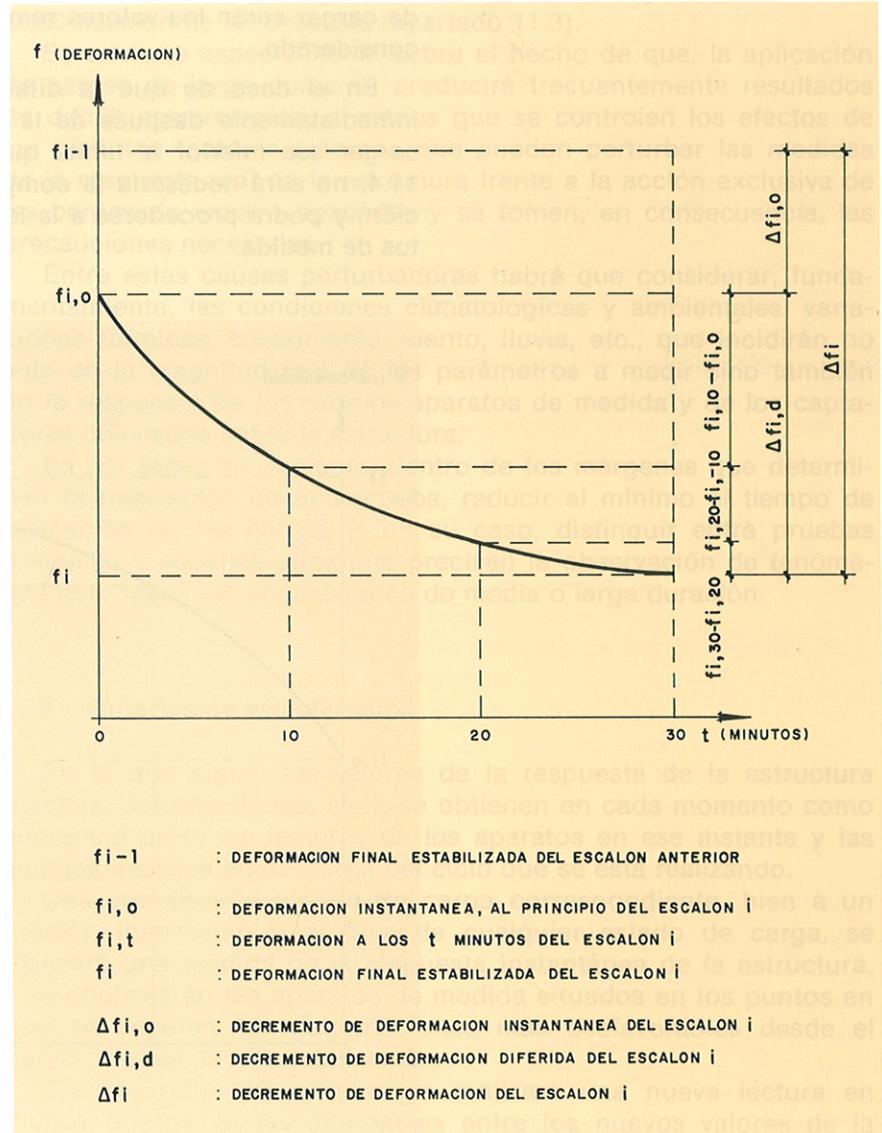


Fig. 3
Escalón de descarga.

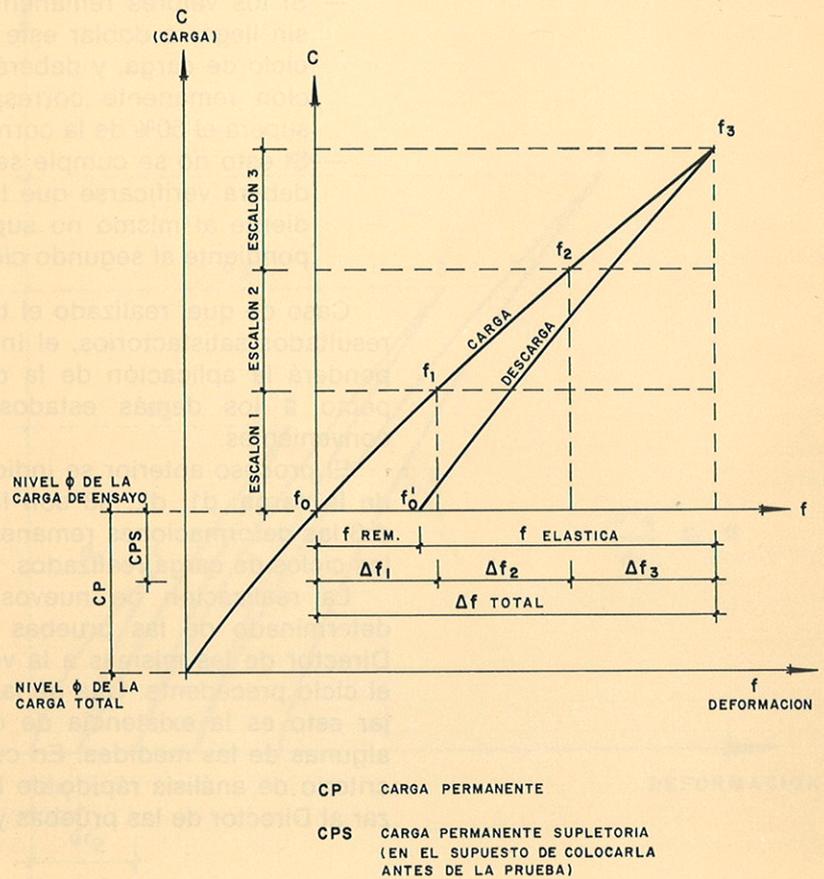


Fig. 4
Proceso de carga/descarga.

11.4 Valores remanentes

Los valores remanentes después del primer ciclo de carga se considerarán aceptables siempre que sean inferiores a los límites previamente establecidos en el proyecto de la prueba.

A falta de otros criterios, y a título orientativo, pueden considerarse los siguientes límites:

- a) Puentes de fábrica y de hormigón armado:
25% si la edad de la obra es inferior a dos meses.
15% si la edad de la obra es superior a seis meses.
- b) Puentes de hormigón pretensado o mixtos:
15% si la edad de la obra es inferior a dos meses.
10% si la edad de la obra es superior a seis meses.
- c) Puentes metálicos:
10% cualquiera que sea la edad de la obra.

Estos límites están referidos a las deformaciones máximas, y deberán estimarse y fijarse en cada caso según el tipo de material y la edad de la obra.

Siempre que una vez terminado el primer ciclo de carga se obtengan valores remanentes que superen los límites que se hubieran previsto como admisibles se procederá de la forma siguiente:

- Si los valores remanentes alcanzan el doble de los admisibles se suspenderá la aplicación de la carga.
- Si los valores remanentes superan el límite admisible, pero sin llegar a doblar este valor, se deberá realizar un segundo ciclo de carga, y deberá entonces cumplirse que la deformación remanente correspondiente a este segundo ciclo no supera el 50% de la correspondiente al primer ciclo.
- Si esto no se cumple se realizará un tercer ciclo de carga, y deberá verificarse que la deformación remanente correspondiente al mismo no supere a la tercera parte de la correspondiente al segundo ciclo.

Caso de que, realizado el tercer ciclo no se hubieran alcanzado resultados satisfactorios, el Ingeniero Director de las pruebas suspenderá la aplicación de la carga correspondiente, tomando respecto a los demás estados de carga las medidas que crea convenientes.

El proceso anterior se indica en la figura 5, donde C es el valor de la carga, d1, d2, d3 son las deformaciones totales y dr1, dr2, dr3 las deformaciones remanentes correspondientes a cada uno de los ciclos de carga realizados.

La realización de nuevos ciclos de carga en un momento determinado de las pruebas podrá ser también decidida por el Director de las mismas a la vista de los resultados observados en el ciclo precedente. Una de las circunstancias que pueden aconsejar esto es la existencia de dudas razonables en las lecturas de algunas de las medidas. En cualquier caso esto forma parte de un criterio de análisis rápido de los resultados que corresponde realizar al Director de las pruebas y decidir en consecuencia.

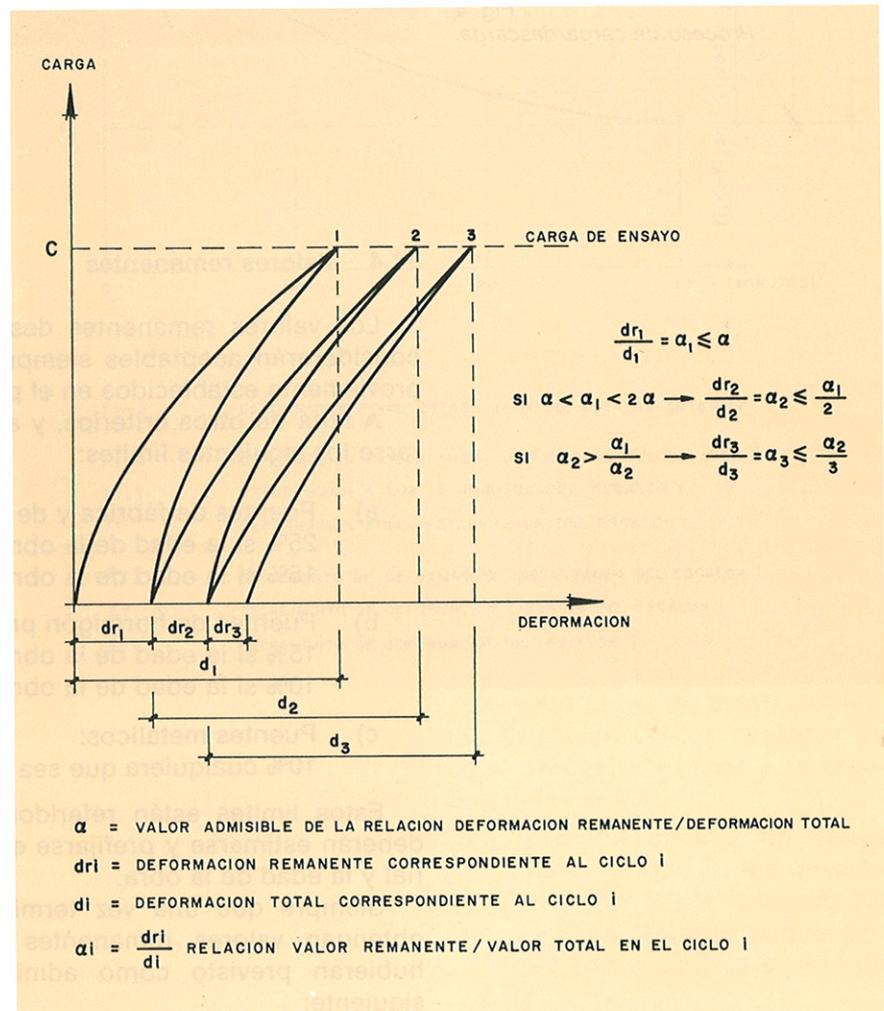


Fig. 5
Valores remanentes.

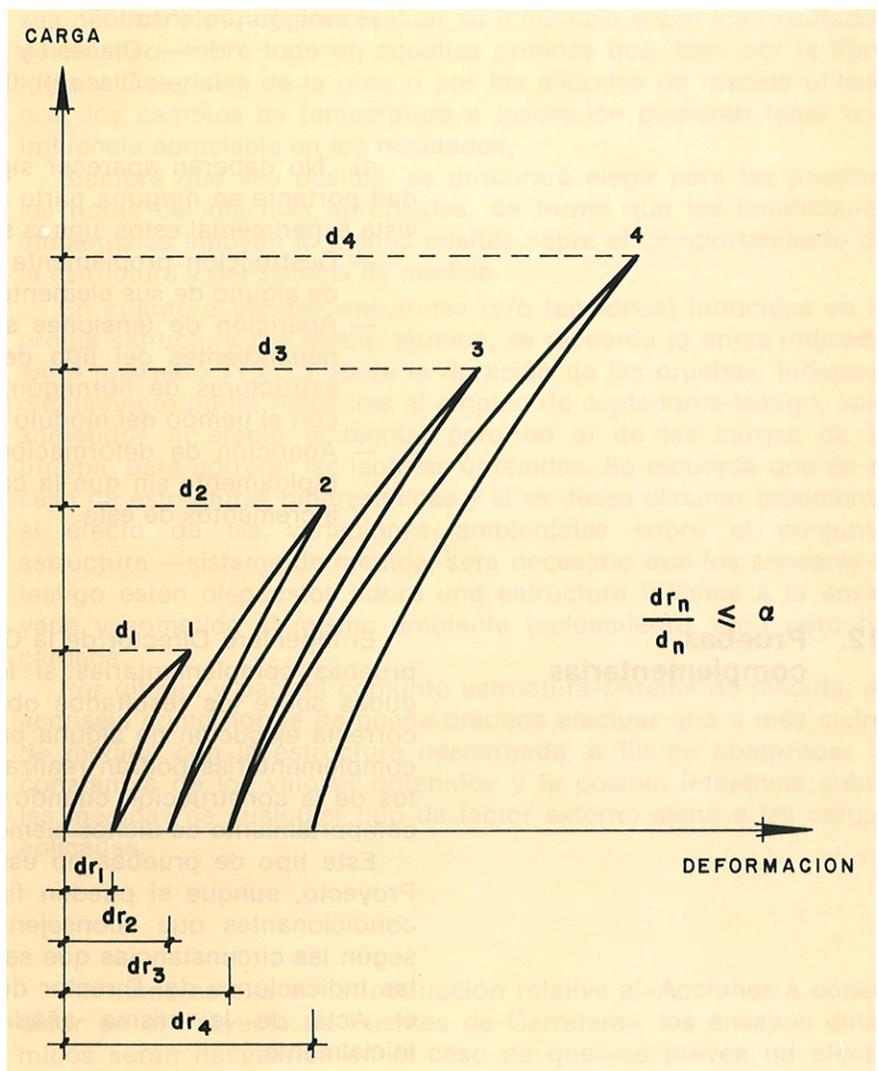


Fig. 6
Determinación de la carga
máxima por el criterio de
las deformaciones remanentes.

11.5 Criterios de aceptación

Además de los criterios expuestos referentes a la estabilización de las medidas y al tratamiento de los valores remanentes, que inciden fundamentalmente sobre el desarrollo del ensayo, se tendrán en cuenta otros criterios referentes a la aceptación de la obra derivados de los resultados de la prueba de carga.

En general estos criterios serán definidos por el Proyectista, quien señalará en el proyecto de la prueba, además de los valores esperados para las medidas, los límites o tolerancias admisibles de los resultados respecto a dichos valores teóricos.

A título orientativo y a falta de otros criterios se pueden aplicar los siguientes:

a) Los valores de las magnitudes máximas al finalizar el ciclo de carga, medidas después de la estabilización, no superarán en más de un 15% a los valores previstos en el proyecto de la prueba.

b) Por condiciones de servicio, e incluso por razones estéticas, la relación flecha/luz no superará un valor límite determinado en el proyecto de la prueba. Si dicho proyecto no establece condiciones más restrictivas el citado límite será:

$$f/l < 1/300 \text{ para puentes metálicos.}$$

$$f/l < 1/500 \text{ para puentes de hormigón o mixtos.}$$

c) En el caso de puentes de hormigón se establecerá una anchura máxima de fisura. Si el Proyecto no establece valores distintos la abertura máxima será:

Hormigón armado:

— Ambiente normal, 0,2 mm.

— Ambiente agresivo, 0,1 mm.

Hormigón pretensado:

- Clases I y II, no aparecerán.
- Clase III, 0,1 mm.

d) No deberán aparecer signos de agotamiento de la capacidad portante en ninguna parte de la estructura. Desde el punto de vista experimental estos signos son:

- Destrucción propiamente dicha de la estructura ensayada o de alguno de sus elementos.
- Aparición de tensiones superiores a los límites admisibles, dependientes del tipo de material. A estos efectos, en las estructuras de hormigón, se tendrá en cuenta la variación con el tiempo del módulo de elasticidad.
- Aparición de deformaciones o desplazamientos que crecen rápidamente sin que la carga aumente o con muy pequeños incrementos de ésta.

12. Pruebas complementarias

El Ingeniero Director de la Obra podrá ordenar la realización de pruebas complementarias si lo estima necesario, cuando haya dudas sobre los resultados obtenidos en las pruebas o sobre la correcta ejecución de alguna parte de las mismas. Dichas pruebas complementarias podrán realizarse también en uno o más elementos de la construcción cuando exista sospecha sobre la calidad o comportamiento de dichos elementos.

Este tipo de pruebas no estará, por lo general, previsto en el Proyecto, aunque si pueden figurar en el mismo algunos de los condicionantes que aconsejen su realización. En cada caso, y según las circunstancias que se presenten, se ejecutarán siguiendo las indicaciones del Director de la Obra y quedarán reflejadas en el Acta de la misma añadiéndolas a las pruebas previstas inicialmente.

13. Pruebas de carga reducidas

En este tipo de pruebas, citadas en el apartado 4, una vez inspeccionada la obra se la somete a un proceso de carga similar al de las pruebas completas, pero en el que sólo es preciso efectuar medidas en los puntos más característicos, bastando generalmente con la medida de las flechas en el centro de la luz de cada uno de los tramos.

La aplicación de la carga podrá, a juicio del Director de la prueba, reducirse a un solo ciclo y a un solo escalón.

En el proyecto de la prueba podrán definirse estados de carga sencillos para la ejecución de este tipo de pruebas.

14. Efectos ambientales

Normalmente en el transcurso de la prueba se producirá una continua variación de las condiciones ambientales que afectará de dos formas al ensayo:

- Por las deformaciones (y, en el caso de estructuras hiperestáticas, esfuerzos) inducidas en la estructura.
- Por su influencia sobre los aparatos y sistemas de medida.

Con relación a estos últimos, durante la ejecución de las pruebas deberán protegerse convenientemente de la influencia del medio ambiente y tomar las precauciones necesarias para asegurar la máxima concordancia entre los valores reales y los resultados medidos.

Se tomarán los datos relativos a las variaciones que se produzcan durante las pruebas debidas a efectos ambientales. En particular se anotará periódicamente la temperatura en los puntos que

sea necesario para poder evaluar su influencia sobre los resultados del ensayo, sobre todo en aquellas pruebas que, bien por la tipología y materiales de la obra o por los métodos de medida utilizados, los cambios de temperatura e insolación pudieran tener una influencia apreciable en los resultados.

Siempre que sea posible, se procurará elegir para las pruebas las horas del día más apropiadas, de forma que las condiciones ambientales influyan lo menos posible sobre el comportamiento de la estructura y del sistema de medida.

En cuanto a las deformaciones (y/o tensiones) inducidas en la propia estructura por efecto térmico, se recuerda lo antes indicado en el apartado 11.2.3.3 sobre la duración de las pruebas. Independientemente podrá recurrirse al empleo de captadores-testigo, solo sometidos al efecto ambiental pero no al de las cargas de la prueba, para corregir las lecturas obtenidas. Se recuerda que en el caso de estructuras hiperestáticas y si se desea eliminar totalmente el efecto de las variaciones ambientales sobre el conjunto estructura —sistema de medida, será necesario que los sensores—testigo estén dispuestos sobre una estructura idéntica a la ensayada y sometida al mismo ambiente (soleamiento, etc.) pero no cargada.

Por último, y para el conjunto estructura-sistema de medida, se aconseja como norma de buena práctica efectuar uno o más ciclos de medida con la estructura descargada, a fin de comprobar la constancia de los valores obtenidos y la posible influencia sobre las medidas de cualquier tipo de factor externo ajeno a las cargas aplicadas.

15. Pruebas dinámicas

Tal como se cita en la Instrucción relativa a «Acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Carretera», los ensayos dinámicos serán necesarios en el caso de que «se prevea un efecto considerable de vibración».

En general se recomienda la realización de ensayos dinámicos en el caso de puentes con luces superiores a 60 metros o de diseño inusual, así como en el caso de utilización de nuevos materiales.

Asimismo, se recomienda la realización de ensayos dinámicos en el caso de pasarelas en las que por su esbeltez se prevea la aparición de vibraciones que puedan llegar a ocasionar molestias a los usuarios.

La mayor o menor complejidad del ensayo dependerá de la finalidad del mismo y de cuáles sean los parámetros que caracterizan la respuesta dinámica de la estructura cuyo valor se trate de determinar en el ensayo.

El proyecto y realización de este tipo de ensayos deberá estar encomendado a equipos técnicos con experiencia en dichas pruebas.

15.1 Excitación de la estructura

Normalmente la excitación de la estructura para alcanzar un estado de vibración podrá realizarse por:

- Paso de un vehículo pesado a distintas velocidades y en ambos sentidos. Este paso se realizará a velocidad constante y podrán colocarse pequeños obstáculos en la calzada (como podría ser el obstáculo normalizado de la RILEM) para incrementar el efecto dinámico del vehículo.

- Suelta instantánea de un peso colgado del tablero.
- Utilización de sistemas mecánicos o inerciales de vibración.

La utilización de un medio u otro dependerá del tipo de análisis a realizar y de los medios disponibles.

15.2 Magnitudes a medir

Las magnitudes a medir dependerán de la finalidad de la prueba y de los parámetros dinámicos de la estructura que se traten de evaluar.

En general, las magnitudes que habitualmente se miden en este tipo de ensayos son aceleraciones, desplazamientos y deformaciones.

La instrumentación utilizada dependerá de los medios de equipamiento del equipo técnico que realice los ensayos. Se deberá obtener un registro de las señales de tal forma que permita el posterior análisis de las mismas.

15.3 Análisis de los resultados

La profundidad y tipo de análisis a realizar con los registros de las señales procedentes de los ensayos dependerá de cuáles sean los parámetros que se traten de evaluar.

A partir de los registros de cualquiera de las magnitudes antes citadas será posible obtener los valores de frecuencias propias, amortiguamientos y formas modales, siempre que los ensayos se hayan realizado de la forma adecuada (excitación suficiente de los modos cuyas características se pretendan obtener). En el caso de que se traten de obtener valores del coeficiente de impacto, será necesaria la medida de magnitudes tales como desplazamientos o deformaciones que permitan relacionar las amplitudes de la respuesta dinámica máxima de la estructura con la respuesta estática de la misma frente a la misma excitación. En este caso, por tanto, la excitación de la estructura suele realizarse mediante el paso de un vehículo por la calzada.

16. Acta de la prueba de carga

Una vez finalizadas las pruebas el Ingeniero Director de la Obra redactará el Acta de las pruebas, en donde, además de cuantas observaciones crea conveniente añadir, incluirá los apartados siguientes:

Datos generales

Se hará constar la fecha de realización de los ensayos, la clave del Proyecto de la prueba y el Autor del mismo, la finalidad de la prueba, personas que asisten a la realización de la misma en representación de la Administración o, en general, de la Propiedad de la obra, etc.

Descripción de la obra

Se indicará el tipo de la obra y sus características, tales como número de vanos, luces y anchura de los mismos, situación geográfica del puente, y todos aquellos detalles que sirvan para definir de modo claro y preciso la obra a ensayar.

Estado previo de la obra

Se indicarán cuantos detalles de interés se hubieran observado

durante la Inspección Previa, realizada según se indica en el apartado 6.

Tren de cargas

Se indicará el número de vehículos de carga empleados, (o en su caso la descripción del tren de carga utilizado), definiendo sus dimensiones, pesos totales, pesos por eje y distancias entre dichos ejes.

Puntos y aparatos de medida

Se indicará el número y la situación de todos los puntos de medida, así como el sistema de medida utilizado, tipo de captadores y tipo y precisión de los aparatos de medida.

Condiciones climatológicas

Se incluirán, los datos referentes a temperatura, insolación, lluvia, etc.

Puntos de referencia

Se describirán los puntos de referencia utilizados para la medida de flechas, tal como se indica en el apartado 9, y su posición respecto a la obra.

Descripción del ensayo

Se indicará la hora de comienzo de cada estado de carga, la descripción de dicho estado, tiempo transcurrido entre carga y descarga, número de escalones, número de ciclos, medidas realizadas, etc., indicando en cada momento la hora y cualquier otro detalle significativo.

En estructuras de hormigón se hará una descripción detallada del proceso de fisuración, si es que existe.

En hoja aneja se adjuntará una ficha con los resultados obtenidos, y si se dispone de los datos, se incluirán también los valores teóricos de cálculo para su comparación con los obtenidos experimentalmente.

Estado final de la obra

Se anotarán los resultados y observaciones correspondientes a la inspección efectuada una vez realizadas las pruebas.

Nivelación de la obra

Se incluirán los datos referentes a la nivelación de la obra efectuada después de concluidas las pruebas, y se dejará constancia de la situación de los puntos de referencia.

Varios

Se incluirán cuantas incidencias o detalles se observen, no incluidos en los apartados anteriores, y cuyo conocimiento pueda ser necesario para una mejor comprensión del desarrollo de las pruebas y de los resultados obtenidos.

Es conveniente dejar constancia tanto del desarrollo de las pruebas como de los detalles observados durante las inspecciones acompañando la correspondiente documentación fotográfica.

Firma

El Acta será firmada por el Ingeniero Director de la Obra y, en su caso, por el Ingeniero especializado aquí denominado Director de las Pruebas, pudiendo también ser firmada por las demás personas asistentes a la misma por sí mismos o en representación de la Propiedad de la obra o de la Administración.

Además de las copias reglamentarias se enviará una copia del Acta al Ingeniero Autor del Proyecto de la obra.

Capítulo II PRUEBAS DE CARGA DE OBRAS EN SERVICIO

Pueden distinguirse varios tipos de pruebas:

a) **Pruebas de seguimiento.**—En las que se pretende obtener datos que permitan estimar si la obra sigue manteniendo la capacidad portante necesaria para resistir adecuadamente las cargas de explotación.

b) **Pruebas de evaluación.**—En las que se pretende, en un cierto momento de la vida de una estructura, aportar datos para la evaluación de su capacidad portante.

c) **Pruebas especiales.**—Se incluye en este grupo cualquier otro tipo de ensayo bajo carga sobre una estructura en servicio en el que, por motivos específicos, se trate de determinar alguno de los parámetros que definan la respuesta de la misma.

En el caso a) la prueba de carga se realizaría:

- Cuando el plan de seguimiento contemple la realización periódica de pruebas de carga, de forma que la comparación con los resultados de los ensayos anteriores permita analizar la evolución y posible deterioro de la estructura desde el punto de vista resistente, además de suministrar datos útiles para la toma de decisiones sobre su mantenimiento, reparación o refuerzo.
- Con carácter excepcional, cuando los informes emitidos sobre el estado de la estructura en inspecciones periódicas así lo determinen.

Para la realización de este tipo de pruebas podrán seguirse, en líneas generales, las recomendaciones expuestas para el caso de pruebas de recepción de obra nueva, adaptándose en cada caso a las condiciones particulares de la estructura y a los objetivos pretendidos en el ensayo. Se tendrá en cuenta la posible variación con el tiempo de las características elásticas y resistentes de los materiales, efectuando si es preciso los correspondientes ensayos de laboratorio para determinar sus valores.

En el caso b), referido a las pruebas de evaluación, éstas deberán realizarse siempre que se desee estimar la capacidad portante de una estructura, bien porque haya sufrido un proceso de deterioro notable o, bien porque se pretende modificar el uso a que anteriormente estaba destinada la obra. El caso más típico es la adecuación de puentes antiguos a las actuales cargas de tráfico.

En este tipo de ensayos, aunque hay aspectos comunes con los anteriores, su característica distintiva es la aplicación de cargas crecientes que permitan obtener resultados que, junto a un análisis teórico adecuado, permitan estimar la capacidad portante potencial de la estructura.

El nivel máximo de la carga o de los esfuerzos que se lleguen a alcanzar dependerá de la finalidad que se pretende conseguir o del uso a que se pretende destinar el puente.

Se exponen a continuación, en líneas generales y a título indicativo, los pasos a realizar para la ejecución de este tipo de pruebas:

A la vista de la tipología y edad de la obra, de los materiales y de las condiciones de funcionalidad de la misma, se establecerían a priori los siguientes parámetros:

1) Valor máximo de la relación entre la deformación remanente y la total.

A título orientativo, y como ya se especificó en 11.4, este parámetro puede oscilar entre un 10% y un 15%.

2) Límites para los valores absolutos de esfuerzos y deformaciones:

- En función del tipo de material, las tensiones y deformaciones no deberán superar sus valores admisibles.
- Por condiciones de servicio, la relación flecha/luz no superará un cierto valor límite.

3) En el caso de puentes de hormigón, se establecerá una anchura máxima de fisuras.

Bajo cualquier carga la estructura debe quedar estabilizada. Se aplicarán los criterios establecidos en 11.3.

El proceso de carga para determinar la carga máxima por limitación de las deformaciones remanentes está indicado en la figura 6.

Una vez fijado el límite relativo de la deformación remanente de la estructura, α , se someterá a ésta a sucesivos ciclos con cargas crecientes, pudiéndose aumentar la carga siempre que, cumplidas las demás condiciones, se verifique:

$$dr, n/dn \leq \alpha$$

siendo dn y dr , n las deformaciones total y remanente respectivamente después del ciclo n .

En todo caso, la realización de una prueba de carga de una obra en servicio dará lugar a la redacción de un proyecto previo para la misma, cuya amplitud dependerá de la finalidad específica de dicha prueba y en el que, en términos generales, quedaría definido:

- a) La finalidad y alcance de la prueba, así como la definición de la zona de ensayo.
- b) La carga límite de ensayo o los criterios que deban seguirse para fijar la máxima carga alcanzable durante el ensayo.
- c) Las magnitudes que deben medirse y el número y situación de los puntos de medida.
- d) La instrumentación necesaria, con especificación de tipos de aparatos utilizables, así como su resolución y rango.
- e) La forma de aplicación de la carga.
- f) Las medidas de seguridad a adoptar.

Antes de dar comienzo a los ensayos, deberá quedar inequívocamente determinado quién será el técnico responsable del estudio y ejecución de las pruebas. Será éste el que deba juzgar si se dan las circunstancias que aconsejan el empleo de este tipo de pruebas. Además deberá:

- decidir qué ensayos informativos previos deben realizarse.
- decidir qué partes o zonas del puente deben ser ensayadas.
- determinar la magnitud y posición de las cargas previstas para el ensayo, y fijar los escalones necesarios para la aplicación de las mismas.

En el caso de puentes de carretera en los que por su diseño especial, por los materiales utilizados, por los procesos constructivos empleados o por cualquier otro motivo se prevea que pueda existir una evolución importante de su forma de trabajo o de las características físicas, químicas o mecánicas de sus materiales constituyentes, será necesario el estudio y previsión de los medios para el seguimiento de dicha evolución.

Se recomienda que el Proyecto de la obra incluya un plan de seguimiento que contemple las magnitudes a medir, los puntos de medida, el período de auscultación, la frecuencia de las medidas y, en general, todas aquellas observaciones que se estime haya que tener en cuenta en esta etapa de seguimiento.

El plan de seguimiento deberá especificar la instrumentación necesaria y advertir para su correcta colocación durante la fase de construcción de la obra, ya que muchos de los instrumentos de medida (transductores, termopares, etc.), en el caso de elementos de hormigón, deberán ser embebidos en el hormigón fresco.

Será preciso prever el tendido de los cables de la instrumentación y la disposición de una estación de lectura de fácil acceso y que proporcione la protección suficiente a los instrumentos.

En general, se recomienda que dicha instrumentación sea realizada por equipos especializados en este tipo de trabajos y que sean éstos los que con posterioridad, lleven a cabo el seguimiento, o asesoren al personal encargado del mantenimiento de la estructura.

Aparte de la instrumentación «in situ», podrá ser necesaria la previsión de elaborar una serie de probetas de los materiales utilizados, que, almacenados en unas condiciones específicas, permitan su posterior ensayo. Asimismo, en puentes hormigonados «in situ» se recomienda dejar a pie de obra un elemento representativo del hormigón utilizado de dimensiones suficientes (por ejemplo, una losa de $1,00 \times 2,00 \times 0,30$ m.) para poder extraer las probetas testigo necesarias para estudiar la evolución en el tiempo de las características físicas, químicas y mecánicas sin necesidad de dañar el hormigón de la estructura.

Un caso típico de estructura en la que es conveniente disponer de instrumentación para su seguimiento a largo plazo es el de los puentes de hormigón pretensado de voladizos sucesivos, ya que en este caso es de gran importancia el estudio de la fluencia del hormigón a lo largo del tiempo.

En el caso de estudio de los fenómenos reológicos del hormigón (fluencia y retracción) hay que prever la realización durante la fase de construcción de los sistemas necesarios para poder llevar a cabo correctamente este tipo de medidas.

Como ejemplo de instrumentación destinada al seguimiento a largo plazo del comportamiento de la estructura de un puente se pueden citar, entre otros, los termopares, los extensómetros de cuerda vibrante, los dispositivos para la estimación de tensiones en armaduras activas y los destinados a medir las reacciones de apoyo. Como instrumentación más convencional puede citarse la nivelación de precisión referida a bases fijas convenientemente protegidas, extensómetros mecánicos, lupas micrométricas, etc.

ANEJOS

1 DEFINICIONES

- ESTADO DE CARGA.**—Durante la ejecución de las pruebas, cada una de las posiciones del tren de carga en que se realizan medidas u observaciones.
- INSTRUCCION DE ACCIONES.**—Para abreviar se denomina así a la «Instrucción relativa a las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Carreteras». Orden Ministerial de 28 de febrero de 1972. (B.O.E. 18 de abril de 1972).
- OBRA DE PASO.**—Según la Instrucción de Acciones, obra que salva una discontinuidad en un trazado para permitir el paso por ella.
- PASARELA.**—Según la Instrucción de Acciones, obra de paso destinada al tránsito de peatones, animales o vehículos muy ligeros.
- PRUEBA DE CARGA.**—Control que se realiza sobre una obra, estructuralmente terminada, al objeto de determinar si su concepción y ejecución han sido adecuadas, sometiendo a la misma a las acciones producidas por el tren de carga de la prueba.
- PRUEBA DE CARGA COMPLETA.**—Se denomina así a la prueba de carga en la que se realizan la totalidad de las operaciones (inspección, estados de carga diversos, medidas en todos los puntos necesarios, etc.).
- PRUEBA DE CARGA REDUCIDA.**—Se entiende por prueba de carga reducida aquella en la que, aplicando las reducciones citadas en el apartado 4 de esta Publicación, se permite simplificar su ejecución en lo referente a puntos de medida, ciclos y escalones de carga.
- PRUEBAS COMPLEMENTARIAS.**—Se denominan así aquellas pruebas, no previstas inicialmente en el Proyecto, y que el Ingeniero Director de la Obra considere necesario realizar.
- TRAMO.**—Según la Instrucción de Acciones, se entiende por tramo cada una de las partes en que el tablero está dividido en su longitud.
- TREN DE CARGAS DE LA INSTRUCCION.**—Es el tren de cargas definido en el artículo 4.2.1.1. de la Instrucción de Acciones. Como se comenta en la citada Instrucción, es un tren ficticio.
- TREN DE CARGA DEL PROYECTO DE LA PRUEBA.**—Se trata del tren de carga que adopta el proyectista al objeto únicamente de prever las deformaciones que va a presentar la estructura durante la prueba de carga. Debe fijarse de tal forma que pueda luego materializarse en un tren de pruebas, y que los esfuerzos que produzca sobre la estructura no sean superiores a los que produciría el tren de cargas de la Instrucción.
En el caso de vanos independientes de luz superior a 12 metros se da en el Anejo 2 una expresión que el proyectista puede adoptar para dicho tren de cargas.
- TREN DE CARGA DE LA PRUEBA.**—Conjunto de vehículos, generalmente camiones, realmente utilizados en la prueba de carga. Deberán reproducir lo más fielmente que sea posible

los esfuerzos producidos por el tren de cargas del proyecto de las pruebas.

VANO.—Se entiende por vano cada uno de los espacios vacios enmarcados por la estructura. Por extensión se aplica a la estructura que enmarca dicho espacio.

2 PRUEBA DE CARGA ESTANDAR. EJEMPLO

Con carácter general se indica a continuación un método a seguir para el proyecto y ejecución de pruebas de carga de recepción de puentes de carretera.

A título ilustrativo nos referiremos a una obra de características medias, de 25 metros de luz y 12 de ancho (incluyendo calzada y arcenes, pero no las aceras). No obstante las consideraciones que aquí se exponen son de aplicación a puentes de luces superiores, pero teniendo en cuenta las ampliaciones y detalles a que en cada caso dé lugar la complejidad de dichas obras.

1. Proyecto

Bastará indicar que se siguen las recomendaciones contenidas en la presente Publicación, salvo que el autor del Proyecto estime necesario o conveniente ampliar las pruebas.

En la memoria del proyecto se fijarán los distintos estados de carga, las medidas a efectuar y la situación de los puntos de medida. En el anejo de cálculos se indicarán los valores esperados para las distintas magnitudes en cada una de las fases de la prueba.

Como se indicó en el apartado 11.2 no deberán sobrepasarse las magnitudes que produciría el tren de cargas de la «Instrucción de Acciones», bastando conseguir, en general, del 70 al 80% del valor de las mismas.

Cuando se trate de puentes de vanos independientes de más de 12 metros de luz podrá utilizarse como tren de cargas del proyecto de las pruebas una sobrecarga uniformemente distribuida de valor:

$$q = 0.75 (0.4 + 120/b L)$$

donde b es el ancho de la plataforma (calzada y arcenes) y L la luz de cálculo, ambos en metros. La carga vendrá expresada en t/m^2 ($1 t/m^2 = 9,81 KN/m^2$).

Para puentes de luces inferiores a 12 metros, o cuando se trate de estados de carga que produzcan momentos negativos en puentes continuos, el cálculo deberá hacerse de forma más ajustada al tren de cargas de la Instrucción y a la sobrecarga real que se utilizará para la ejecución de la prueba.

Para el cálculo de flechas se tendrán en cuenta las deformaciones elásticas y permanentes de los apoyos.

Los estados de carga y el número y localización de los aparatos de medida se fijarán atendiendo al apartado 11 de la presente Publicación.

2. Ejecución. Proceso general

Para materializar la carga se utilizarán camiones u otros vehículos cuyo peso y dimensiones permitan acomodarse lo más posible al tren de cargas del proyecto de la prueba.

En el ejemplo que estamos considerando la sobrecarga del proyecto de la prueba sería:

$$q = 0.75 (0.4 + 120/12 \times 25) = 0.6 t/m^2 (5.88 KN/m^2)$$

y la carga total sería:

$$Q = 0.60 \times 12 \times 25 = 180 t (1 764 KN)$$

Dadas las dimensiones del puente, distribuiríamos ésta carga en 12 camiones, de forma que el peso de cada uno sería:

$$P = 180/12 = 15 \text{ t (147 KN)}$$

Se realizarán tres estados de carga: en el primero se cargará todo el vano, para lo cual se dispondrán cuatro filas de tres camiones centradas sobre el tablero del puente. En los estados segundo y tercero sólo se cargarán las mitades izquierda y derecha del puente necesitándose, por tanto, únicamente 6 camiones.

Para el primer estado de carga se realizarán dos ciclos. El primero se hará en dos escalones, cargando en el primero las dos filas exteriores y en el segundo las interiores. El segundo ciclo, si los resultados del primero son satisfactorios, se hará en un solo escalón. La descarga se hará en ambos ciclos en un solo escalón.

El segundo estado de carga se realizará en dos ciclos de un solo escalón. El tercero puede realizarse en un solo ciclo si los resultados son concordantes con los del segundo.

En nuestro caso sería preciso medir flechas, como mínimo, en tres puntos de la sección central y en las secciones de apoyo. Si es posible, la medida se realizará con flexímetros; en caso contrario, se hará utilizando niveles de precisión u otro método equivalente. En este caso deberán usarse puntos de estación independientes de la estructura del puente, y si esto no es factible, utilizar puntos fijos de referencia para corregir los posibles movimientos de las estaciones de nivelación. La precisión de las medidas no deberá ser inferior a 0.05 milímetros.

En el caso de que se quisiera obtener una información más completa del comportamiento de la estructura se medirían asimismo las siguientes magnitudes:

- Giros en los apoyos, utilizando clinómetros, cuya precisión no sea inferior a la diezmilésima de radián.
- Tensiones o deformaciones en tres puntos de las fibras superior e inferior de la sección central, para lo cual podrán utilizarse extensómetros mecánicos o, caso de que disponga del equipamiento necesario, extensometría óhmica, inductiva o de otro tipo. La precisión deberá ser al menos de 5 microdeformaciones.

Si el puente es de hormigón o mixto será preciso un estudio detallado de la posible fisuración haciendo inspección en las zonas más críticas: sección central y secciones de apoyos. Se señalarán todas las fisuras que aparezcan antes de la prueba de carga y se estudiará la variación de las existentes y la posible aparición de otras nuevas en los distintos estados de carga.

Se atenderá a lo expuesto en los apartados correspondientes en lo referente a tiempos de carga y criterios de aceptación de los resultados, criterios de estabilización y valores remanentes.

Si fuera necesario, se tendrá en cuenta lo indicado en el apartado 14 a efecto de minimizar la influencia de las condiciones ambientales sobre los resultados de las medidas.

Además de las medidas indicadas se llevará a cabo una detenida nivelación de la obra descargada.

Al final de las pruebas se redactará el Acta correspondiente, a la que acompañará una ficha resumen de las medidas efectuadas.

3 PRESUPUESTO DE LA PRUEBA DE CARGA

A título de ejemplo, y como posible guía para la redacción del Presupuesto del proyecto, se expone a continuación la forma de valoración de una prueba de carga estándar.

PRESUPUESTO DE PRUEBA DE CARGA DE UN TABLERO DE PUENTE DE 25 m DE LUZ, 12 m de ancho (CALZADA Y ARCENES) Y 4,50 m DE GALIBO:

1.1 Datos previos

1.1.1 Datos de la prueba

Se realizará una prueba estática consistente en tres posiciones diferentes del tren de carga: parte derecha, parte izquierda y todo el tablero cargado. Se medirán, mediante flexímetros, las flechas en tres puntos de la sección central y en los puntos centrales de las secciones de apoyo. No se ha estimado necesario realizar prueba dinámica.

Se utilizarán 12 camiones de 15 toneladas (147 KN) cada uno (tara más carga). A efectos de presupuesto y contando con los tiempos de carga, pesaje, etcétera, se supone que los camiones estarán ocupados una jornada completa.

1.1.2 Elementos auxiliares

Andamiaje

Para la inspección de la estructura antes y durante la ejecución de las pruebas se dispondrá un andamiaje en el centro de la luz y otros dos en las proximidades de cada apoyo con un volumen total de:

$$4,50 \times 12 \times 2 + 4 \times 4,50 \times 1 = 125 \text{ m}^3$$

Mano de obra

- Oficial de primera categoría, 2 días.
- 2 peones, 2 días.

1.1.3 Equipo de ensayo

Estará compuesto por:

Personal en obra:

- 1 ingeniero.
- 1 técnico auxiliar.
- 2 laborantes.
- Desplazamiento a obra: 150 km.

Personal de oficina:

- 1 técnico de grado medio.
- 1 mecanógrafa.

Material:

- 5 flexímetros con sus accesorios.

1.2 Precios auxiliares

— Metro cúbico de andamiaje	A1 pts.
— Hora de oficial	A2 pts.
— Hora de peón	A3 pts.
— Hora de laborante y mecanógrafa	A4 pts.
— Hora de técnico auxiliar	A5 pts.
— Hora de técnico de grado medio	A6 pts.
— Hora de ingeniero	A7 pts.
— Kilómetro de recorrido	A8 pts.
— Dieta de laborante	A9 pts.
— Dieta de técnico auxiliar	A10 pts.
— Dieta de ingeniero	A11 pts.
— Dieta de técnico de grado medio	A12 pts.
— Amortización flexímetros y accesorios	A13 pts.

1.3 Precios de los Cuadros de Precios

Equipo de ensayo:

— 1 día de ingeniero	B1 pts.
— 1 día de técnico auxiliar	B2 pts.
— 2 días de laborante	B3 pts.
— 150 km de recorrido	B4 pts.
— 1 dieta de ingeniero	B5 pts.
— 1 dieta de técnico auxiliar	B6 pts.
— 2 dietas de laborante	B7 pts.
— 1/2 día de mecanógrafa	B8 pts.
— 1 día de técnico grado medio	B9 pts.
— Amortización de 5 flexímetros	B10 pts.
— Material fungible	B11 pts.
Total equipo de ensayo	SB pts.
Camión cargado/día	T pts.

1.4 Presupuesto

1.4.1 Partida alzada (de abono íntegro al contratista)

— Andamiaje	C1 pts.
— Mano de obra	C2 pts.
— Material y medios auxiliares	C3 pts.
Total	SC pts.

1.4.2 Partida alzada a justificar

— 12 camiones a T pts.	D1 pts.
— Equipo de ensayo	SB=D2 pts.
Total	SD pts.

1.4.3 Presupuesto de prueba de carga de un puente de 25 m de luz, 12 m de ancho y 4,50 m de gálibo

— Suma anterior	SC+SD pts.
— Gastos generales	GG pts.
— Beneficio industrial	BI pts.
— I.V.A.	V pts.
Total	SC+SD+GG+BI+V pts.