

CUADERNOS INTEMAC

**Las pruebas de carga de recepción de las estructuras de la
circunvalación de Madrid M-50, y las radiales R-3 y R-5**

**Madrid M-50 ring road and national roads R-3 and R-5. Final
loading tests**

Angel Huertos Rodríguez
Ingeniero Técnico de O. P.

Jorge Ley Urzaiz
Dr. Ing. Caminos, Canales y Puertos

José Juan Rozas Hernando
Ingeniero Técnico de O. P.



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 59

3.º TRIMESTRE '05

INTEMAC



INTEMAC

INSTITUTO TÉCNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

CONTROL DE PROYECTO

CONTROL DE OBRA

GARANTÍA DE CALIDAD

(O.C.T.) CONTROL PARA EL SEGURO DE DAÑOS

INFORMES DE PATOLOGÍA, REHABILITACIÓN Y REFUERZOS DE CONSTRUCCIONES

OBRAS PÚBLICAS
EDIFICACIÓN
INSTALACIONES



INTEMAC
A U D I T

AUDITORIA TÉCNICO-ECONÓMICA DE CONSTRUCCIONES

- ASESORÍA EN EL PLANTEAMIENTO Y EN LA CONTRATACIÓN DE LA OBRA
- SEGUIMIENTO DE COSTOS Y PLAZOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN
- VALORACIONES DE TERRENOS, INMUEBLES Y CONSTRUCCIONES
- AUDITORÍAS DE TRABAJOS PARCIALES Y DE LIQUIDACIÓN DE LA OBRA



INTEMAC
E C O

AUDITORÍA TÉCNICA MEDIOAMBIENTAL

CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL

Obras Públicas
Edificación
Instalaciones

CONTROL DE CALIDAD AMBIENTAL

Aire
Agua
Ruido

AUDITORÍA MEDIOAMBIENTAL

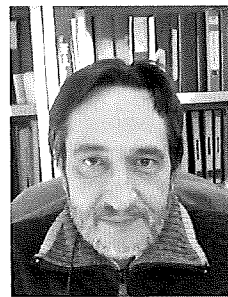
ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE

**Las pruebas de carga de recepción de las estructuras de la
circunvalación de Madrid M-50, y las radiales R-3 y R-5**

**Madrid M-50 ring road and national roads R-3 and R-5. Final
loading tests**



Jorge Ley Urzaiz
Dr. Ing. Caminos, Canales y Puertos
Director del Área de Ensayos
de Estructuras de Intemac
PhD, Civil Engineering



José Juan Rozas Hernando
Ingeniero Técnico de Obras Públicas
Associate Civil Engineer
Intemac

Angel Huertos Rodríguez
Ingeniero Técnico de Obras Públicas
Associate Civil Engineer

Copyright @ 2005, INTEMAC

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida o distribuida de ninguna manera ni por ningún medio, ni almacenada en base de datos o sistema de recuperación, sin el previo permiso escrito del editor.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

ISSN 1133 - 9365

Depósito legal: M-10340-2006

Invoprint, s.l.

CONTENTS

1. INTRODUCTION
2. DESCRIPTION OF STRUCTURES TESTED
 - 2.1 NUMBER OF STRUCTURES, SPANS, M² TESTED
 - 2.2. CLASSIFICATION OF STRUCTURES
 - 2.3 MOST DISTINCTIVE STRUCTURES
3. DESCRIPTION OF INSTRUMENTS USED
 - 3.1 CONVENTIONAL EQUIPMENT FOR DEFLECTION MEASUREMENT
 - 3.2 CONTINUOUS RECORDING AND DYNAMIC RANGE EQUIPMENT
4. LOAD CASES AND LOAD TRAINS
5. ANALYSIS OF RESULTS
6. SUMMARY AND FINAL CONSIDERATIONS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS PROBADAS
 - 2.1 NUMERO DE ESTRUCTURAS, NUMERO DE VANOS, M² ENSAYADOS
 - 2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS
 - 2.3 ESTRUCTURAS MAS SINGULARES
3. DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN COLOCADA
 - 3.1 EQUIPOS CONVENCIONALES DE MEDIDA DE FLECHAS
 - 3.2 EQUIPOS DE REGISTRO CONTINUO Y RANGO DINÁMICO
4. HIPÓTESIS DE CARGA Y TRENES DE CARGA MATERIALIZADOS
5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS
6. RESUMEN Y CONSIDERACIONES FINALES

ABSTRACT

INTEMAC conducted final loading tests on 167 road structures in motorways M-50, R-3 and R-5. Testing was performed without interfering with the pace of the works; the equipment used ensured total traceability of the measurements recorded. In non-standard structures, measurements were taken with continuous recording instruments requiring no reference to the terrain and equipped to monitor test results in real time.

1. INTRODUCTION

The final load testing of a structure consists in conducting a series of operations that reproduce one or several load scenarios before the facility in question is commissioned. The primary objective is to confirm design and construction suitability, judging the soundness of the structural engineering model used in the design from the deflection and recovery measurements obtained. Other objectives include compiling the most significant documentation on the structure and verifying the degree to which actual construction reflects design provisions. Certain organizations (the Spanish Directorate General of Railways, the Railway Infrastructure Management Body, new franchisees and so on) also use the information gathered during load testing to inventory structures for entry in a management system or simply in their records. On occasion this process involves a comprehensive inspection to detect possible damage or deterioration in the structure and its fittings.

In Spain, the existing legislation on the subject, contained in the "*Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP)*" (code on actions to be considered in road bridge design), provides that all new structures with a span of over 12 m must be load tested prior to commissioning. Static tests are always obligatory and dynamic tests must also be conducted in structures with spans over 60 m long or an unusual design, footbridges and city bridges with areas for pedestrian traffic. Technological progress has made it feasible to test even simple structures with dynamic, continuous recording equipment. Thanks to the real-time deflection monitoring provided by such instruments, for instance, testing can be suspended as soon as a structure fails to perform as stipulated, with no need to proceed with all the load cases initially planned. Moreover, since the transducers built into these instruments make reference to the terrain unnecessary, tests can be conducted in areas where traditional measuring equipment is unusable due to obstacles such as rivers, electric wires or heavy traffic.

The Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC) conducted the final loading tests on 167 new bridges built by Radiales U.T.E., a joint venture company, on ring road M-50 and radial toll roads R-3 and R-5. The present report briefly describes the structures tested, the measuring equipment used and the results obtained.

2. DESCRIPTION OF STRUCTURES TESTED

2.1 NUMBER OF STRUCTURES, SPANS, M² TESTED

A total of 167 structures were tested, 66 on the M-50 ring road, 52 on toll road R-3 and 49 on toll road R-5 (see Figure 1).

Of the 814 spans tested, 314 were on structures forming a part of M-50, 282 were on R-3 and the remaining 214 on R-5 (Figure 2).

Over 246,000 m² of bridge deck and 22.2 km of road were tested.

RESUMEN

INTEMAC ha realizado las pruebas de carga de 167 estructuras pertenecientes a la M-50, R-3 y R-5. Los ensayos se han llevado a cabo sin alterar el ritmo de obra, utilizando equipos que permiten realizar una trazabilidad total de las medidas registradas. En el caso de estructuras singulares se han empleado equipos de registro continuo que no precisan de referencia al terreno y permiten realizar en tiempo real el seguimiento del ensayo.

1. INTRODUCCIÓN

La prueba de carga de recepción de una estructura consiste en la realización de un conjunto de operaciones que reproduzcan uno o varios estados de carga sobre la misma, antes de que se efectúe su puesta en servicio. Su objetivo primordial es confirmar que el proyecto y construcción de la obra se han realizado de forma satisfactoria juzgando la bondad del modelo de cálculo utilizado en el proyecto a partir de los resultados de flechas y recuperaciones obtenidos. Otros objetivos adicionales son recopilar la información más significativa sobre la estructura y verificar la adecuación de la realidad ejecutada a lo plasmado en dicha documentación. En la actualidad algunas administraciones (la Dirección General de Ferrocarriles, el Ente para la Gestión de Infraestructuras Ferroviarias, nuevas concesionarias, etc) utilizan también esta actividad para inventariar las estructuras e incorporarlas a un sistema de gestión o simplemente a un registro. En este proceso, en ocasiones se realiza una completa inspección para la eventual detección de daños o deterioros que pudiera presentar la estructura y su equipamiento.

En España, la vigente "Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP)" recoge la obligatoriedad de que todas aquellas estructuras de nueva planta cuya luz supere los 12 m sean sometidas a ensayo de prueba de carga antes de su puesta en servicio. Las pruebas estáticas son siempre obligatorias, siendo necesaria la realización de pruebas dinámicas si algún vano de la estructura posee más de 60 m de luz, si se trata de una pasarela o de un puente urbano con zonas de tránsito peatonal o si responde a un diseño inusual. El avance de la tecnología ha permitido que incluso en estructuras simples se estén utilizando equipos de registro continuo y características dinámicas para realizar estas pruebas. Con estos equipos se puede conseguir un seguimiento en tiempo real de las flechas que se van produciendo, lo que permitiría, por ejemplo, no llegar a materializar la totalidad de las cargas inicialmente previstas al detectarse un comportamiento inadecuado de la estructura. Por otra parte, estos equipos integran transductores que no precisan referir la estructura al terreno permitiendo la realización de pruebas en zonas donde la presencia de ríos, catenarias o simplemente el tráfico impide utilizar los equipos de medida tradicionales.

El Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC) ha llevado a cabo la realización de las pruebas de carga de recepción de 167 nuevos puentes construidos por Radiales U.T.E. en las obras de la autovía de circunvalación M-50 y de las autopistas radiales de peaje R-3 y R-5. En este documento se describen brevemente las estructuras probadas y los equipos de medida utilizados y se analizan los resultados obtenidos en las pruebas.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS PROBADAS

2.1 NÚMERO DE ESTRUCTURAS, NÚMERO DE VANOS, M² ENSAYADOS

Como ya se ha mencionado, se han probado 167 estructuras; de ellas 66 pertenecen a la autovía de circunvalación M-50, 52 a la radial R-3 y 49 a la radial R-5 (ver Figura nº 1).

Se ha ensayado un total de 814 vanos de los que 318 corresponden a estructuras de la M-50, 282 a estructuras de la R-3 y los restantes 214 vanos pertenecen a estructuras de la R-5 (Figura nº 2).

El número de kilómetros de paso ensayado asciende a 22,2, habiéndose probado más de 246.000 m² de tablero.

NUMBER OF STRUCTURES

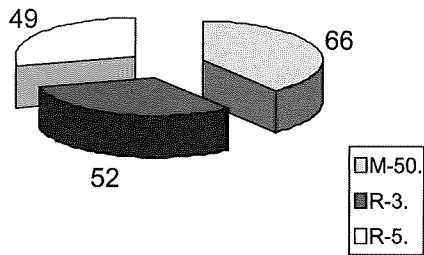


FIGURE 1

NUMBER OF SPANS

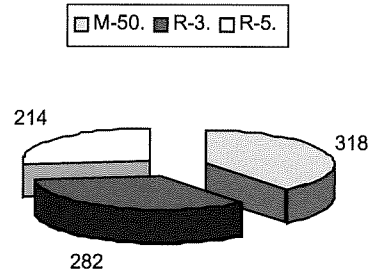


FIGURE 2

2.2 CLASSIFICATION OF STRUCTURES

The structures tested can be classified by constituent material, typology, structural design or length, as illustrated in the pie charts below :

CLASIFICATION BY CONSTITUENT MATERIAL

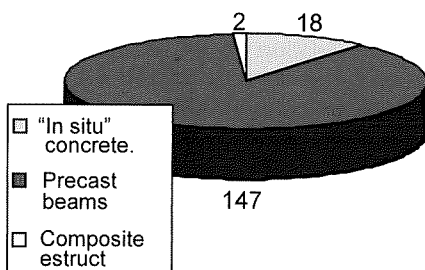


FIGURE 3

STRUCTURAL SCHEME

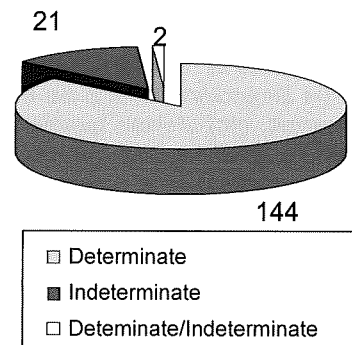


FIGURE 4

TIPOLOGY

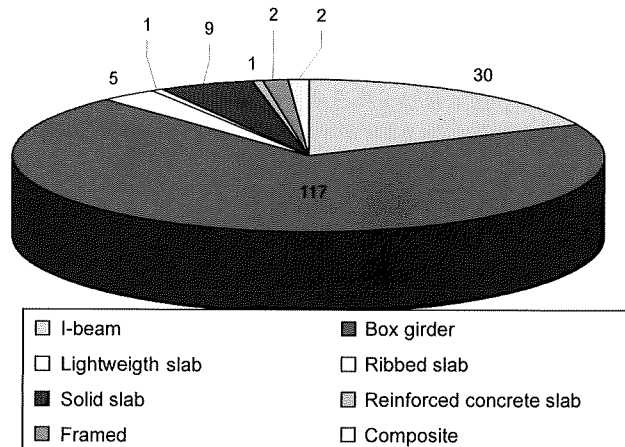


FIGURE 5

NÚMERO DE ESTRUCTURAS

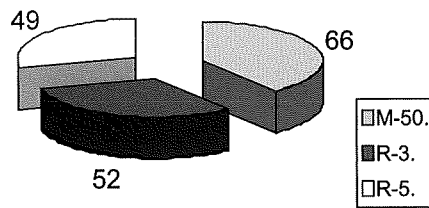


FIGURA N° 1

NÚMERO DE VANOS

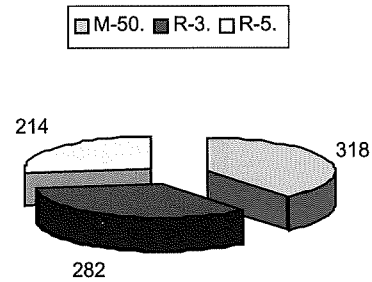


FIGURA N° 2

2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

Las obras de paso ensayadas se pueden clasificar atendiendo a su material constituyente, a su tipología, a su esquema estructural ó a su longitud. En los gráficos siguientes se pueden observar estas clasificaciones:

CLASIFICACIÓN POR EL MATERIAL CONSTITUYENTE

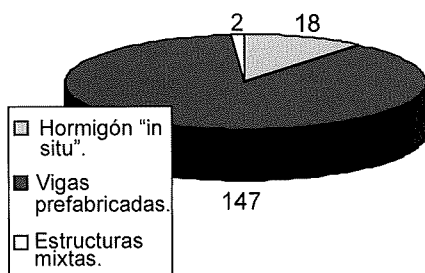


FIGURA N° 3

ESQUEMA ESTRUCTURAL

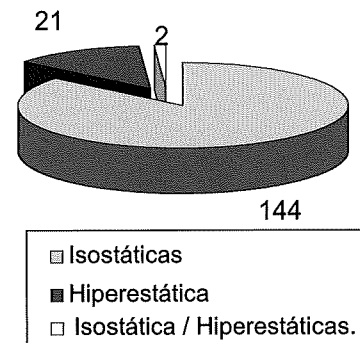


FIGURA N° 4

TIPOLOGÍA

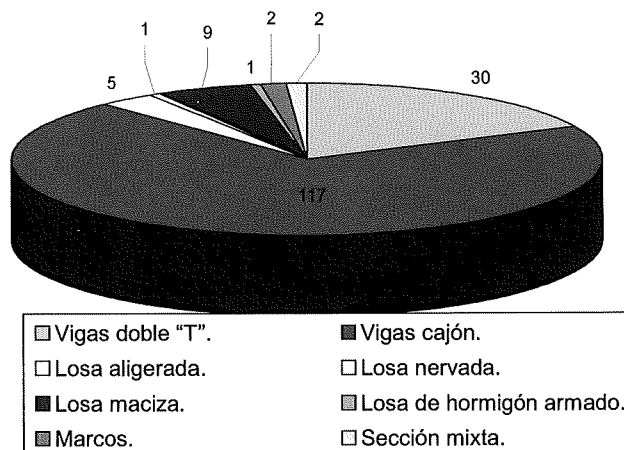


FIGURA N°5

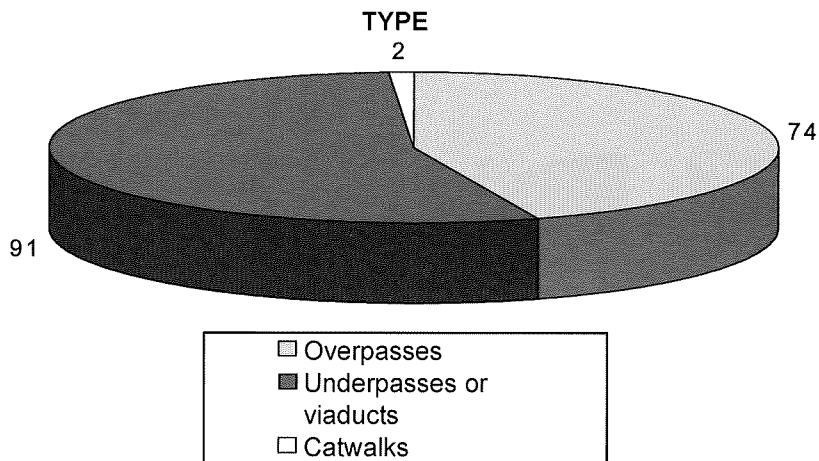


FIGURE 6

CLASSIFICATION BY LENGTH

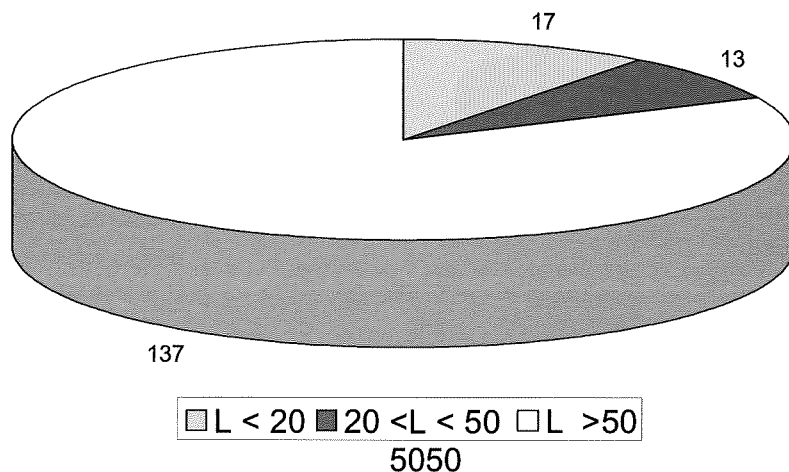


FIGURE 7

As the above charts show, most of the structures tested were statically determinate precast concrete box girders over 50 m long (the mean length was 132 m).

3. DESCRIPTION OF INSTRUMENTS USED

3.1 CONVENTIONAL EQUIPMENT FOR DEFLECTION MEASUREMENT

Most of the structures were monitored with conventional digital indicators with a range of 25 mm and a resolution of 0.01 mm, attached to the deck or beams with steel ropes. All the instruments used were duly calibrated to ensure full traceability of all measurements. Normally, four indicators were positioned at the centre of each span and one each at the two lines of support. The sketches in the figures below show how the instruments were positioned in each structural typology.

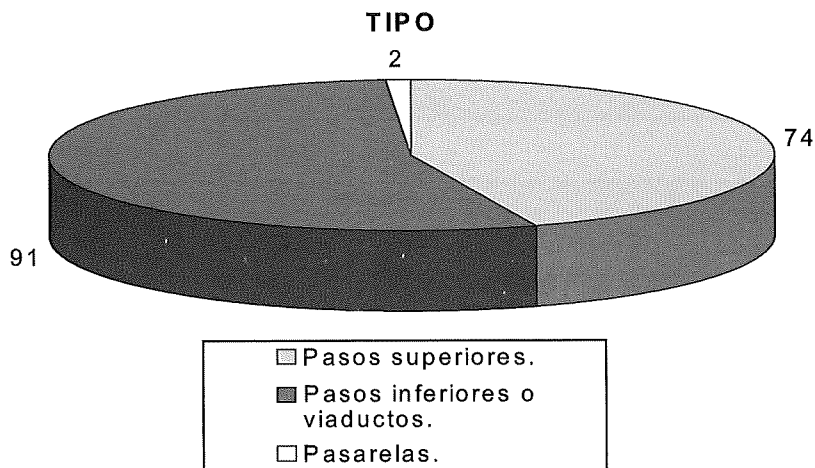


FIGURA N° 6

CLASIFICACIÓN SEGÚN SU LONGITUD

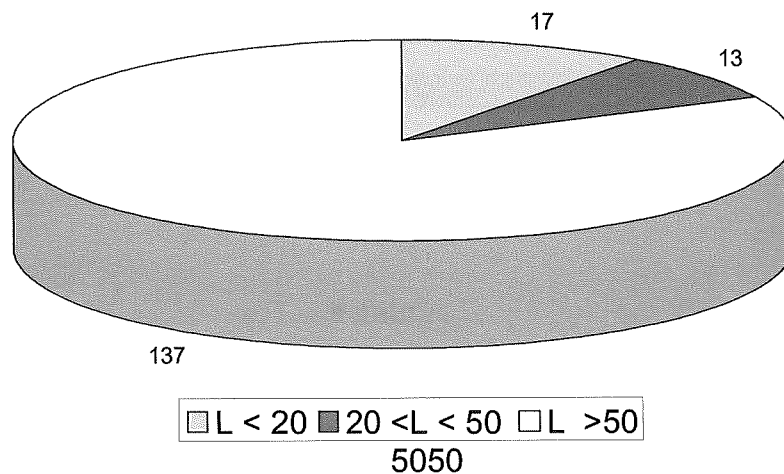


FIGURA N° 7

Como puede apreciarse en los gráficos anteriores la mayoría de las estructuras probadas tiene mas de 50 m. de longitud (la longitud media de las estructuras ensayadas es de 132 m), y se trata de estructuras de tramos isostáticos constituidos por vigas artesas de hormigón prefabricado.

3. DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN COLOCADA

3.1 EQUIPOS CONVENCIONALES DE MEDIDA DE FLECHAS

La mayoría de las estructuras se monitorizó utilizando instrumentación convencional constituida por comparadores digitales de 25 mm de rango y 0.01 mm de apreciación que se referían al tablero o vigas mediante cables de acero. Todos los equipos empleados estaban debidamente calibrados pudiéndose realizar la trazabilidad de las medidas con total seguridad . Lo habitual era disponer cuatro comparadores en el centro de cada vano y otros dos en cada una de las líneas de apoyo. En las figuras siguientes se recogen los croquis de la instrumentación colocada en función de la tipología de la estructura.

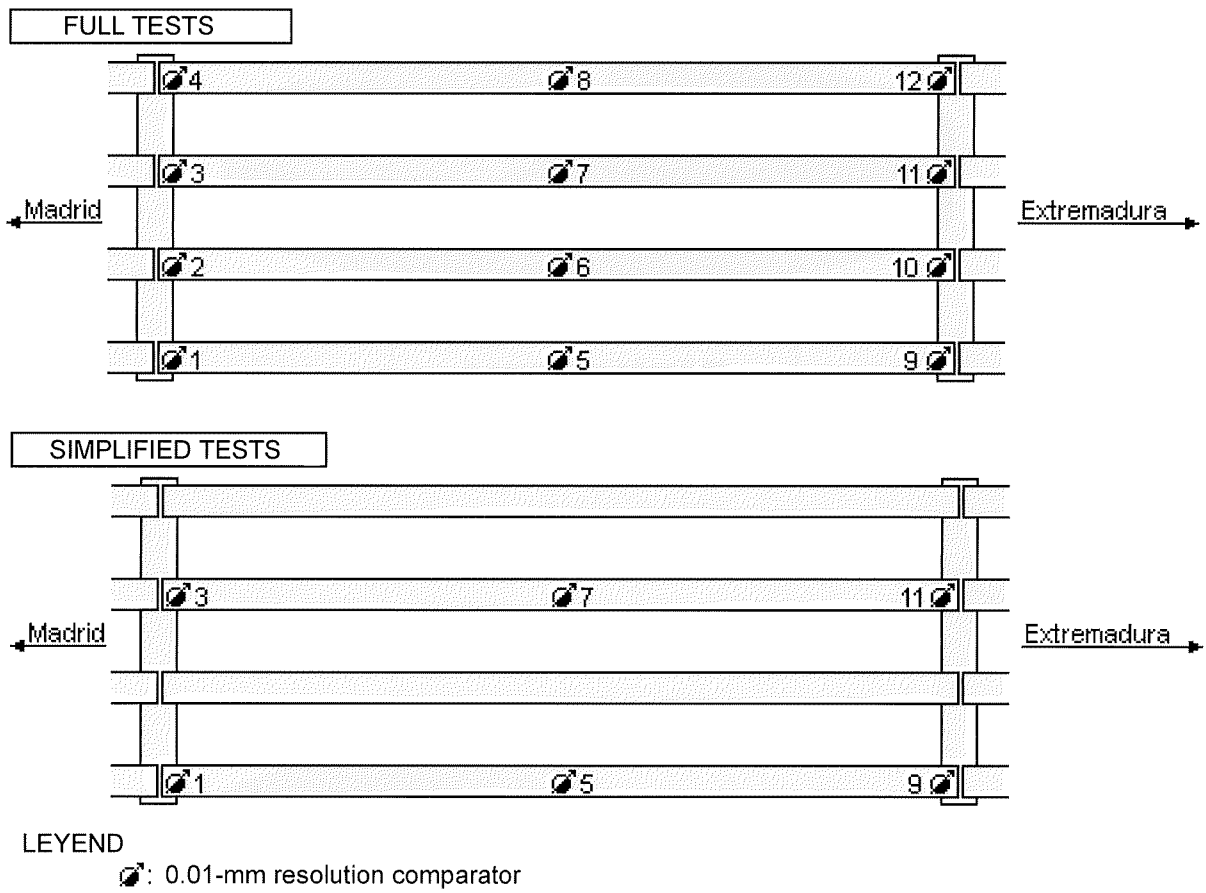


FIGURE 8

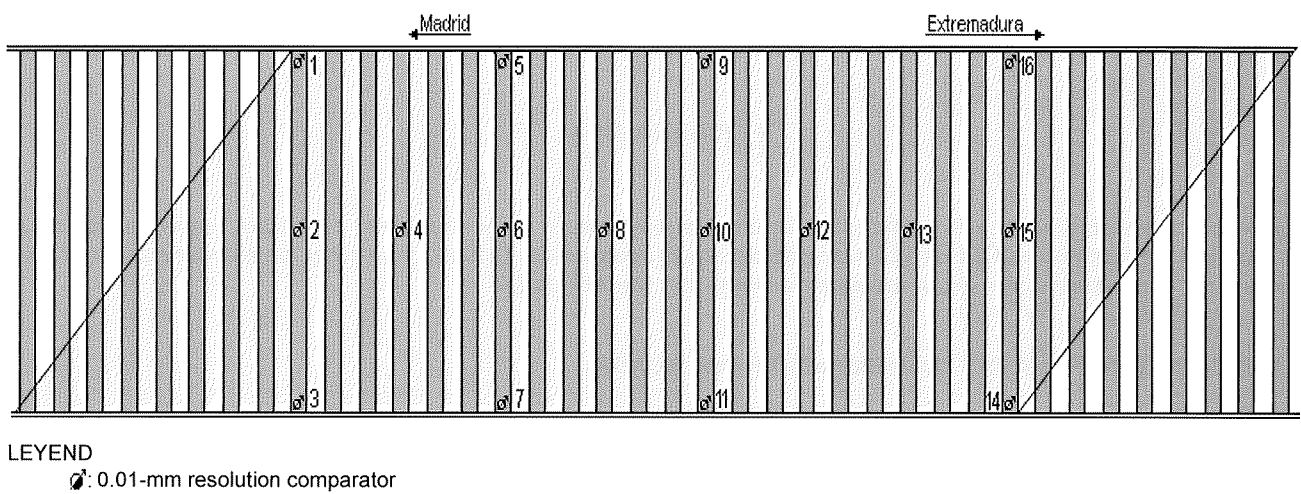
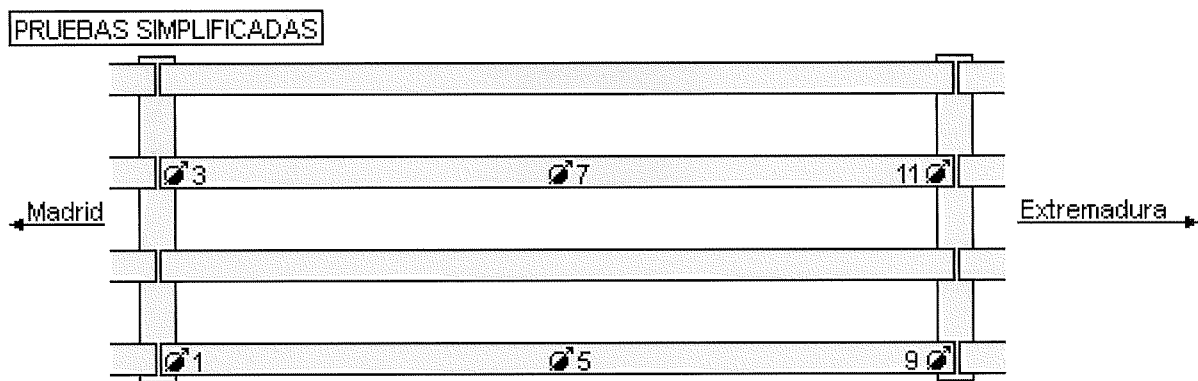
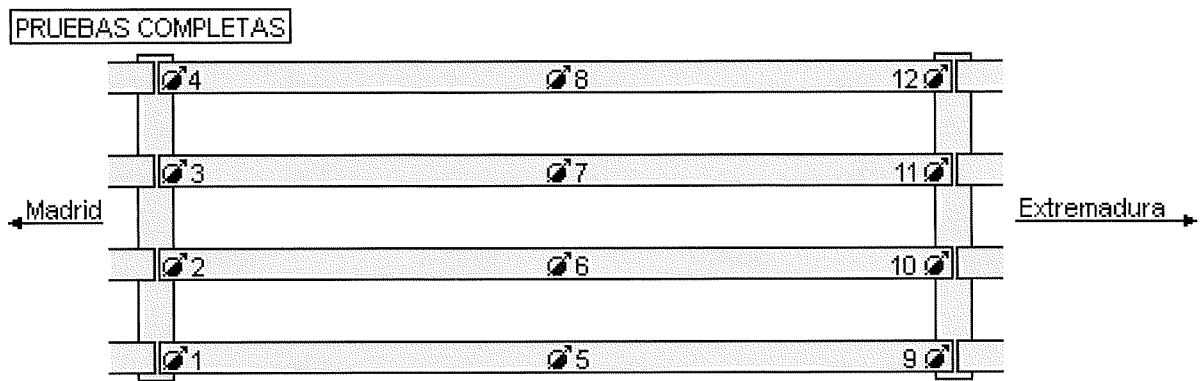
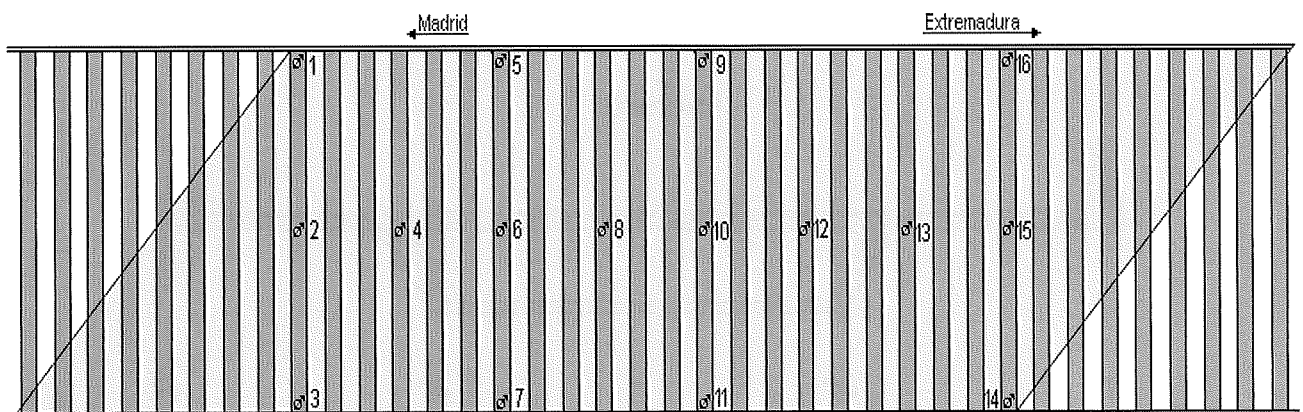


FIGURE 9



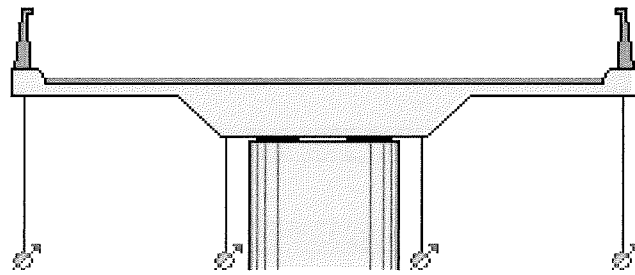
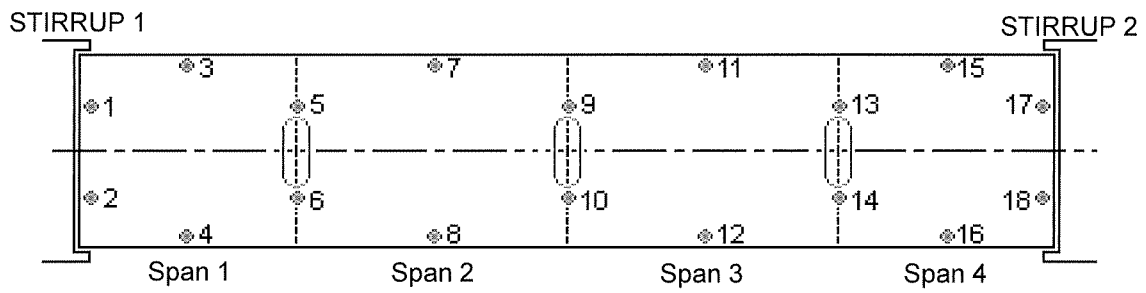
CÓDIGO
 ⚙: Comparador de 0.01 mm de apreciación

FIGURA Nº 8



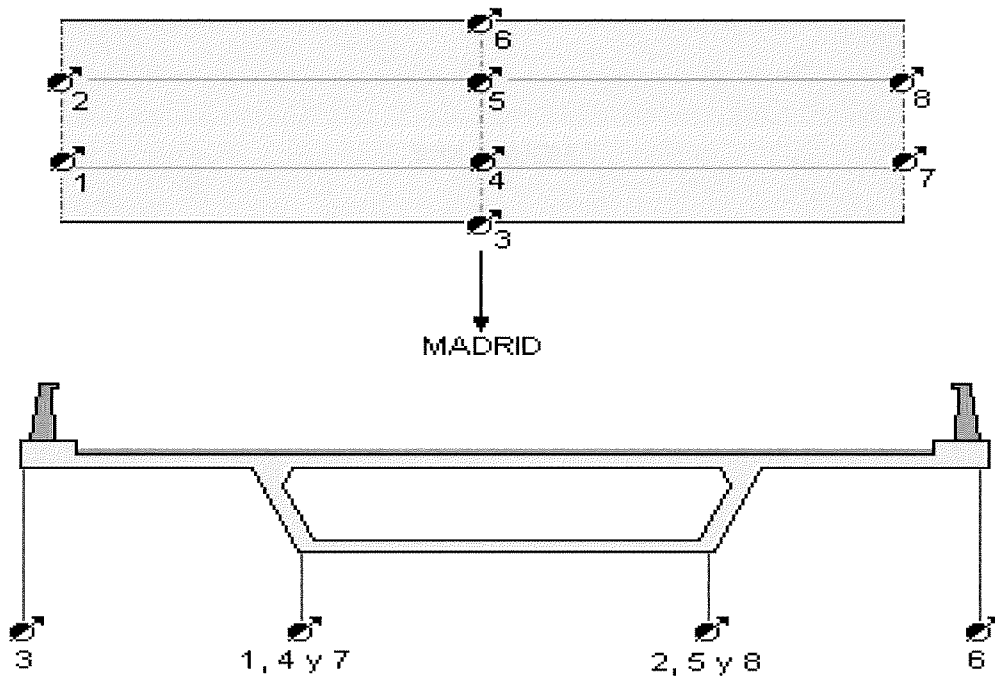
CÓDIGO
 ⚙: Comparador de 0.01 mm de apreciación

FIGURA Nº 9



LEGEND : \odot^a = 0.01-mm resolution comparator

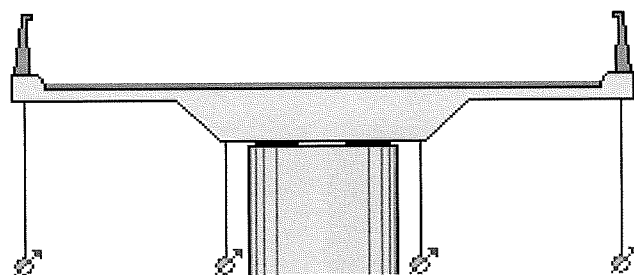
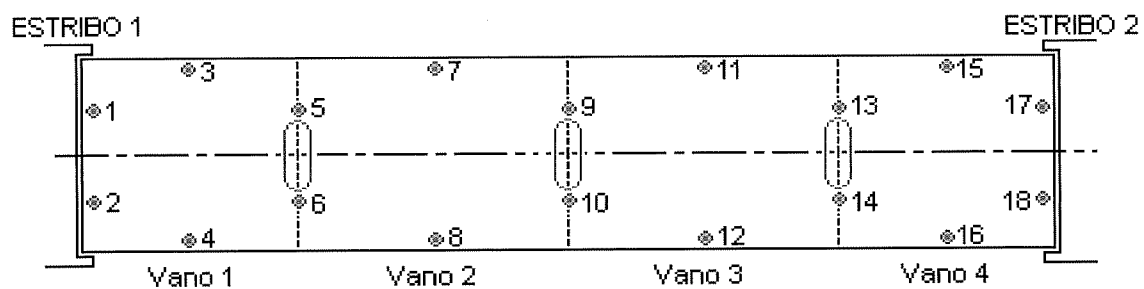
FIGURE 10



LEGEND

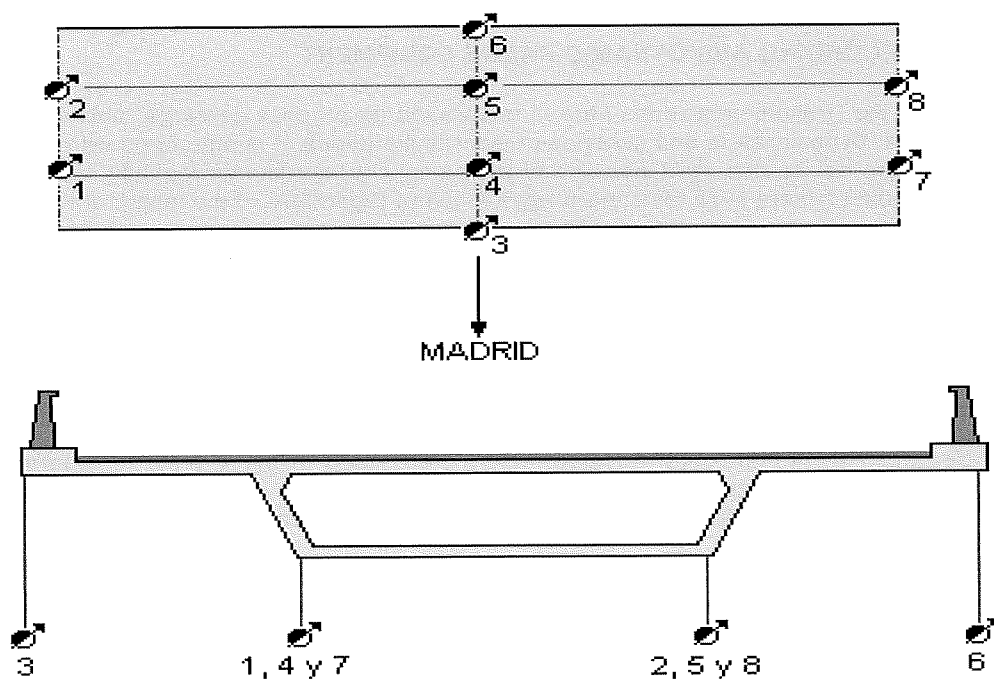
\odot^a : 0.01-mm resolution comparator

FIGURE 11



CÓDIGO : \odot = Comparadores de 0,01 mm de apreciación

FIGURA 10



CÓDIGO

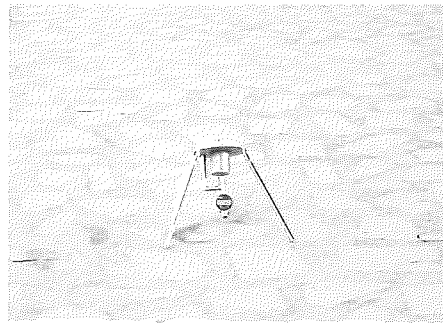
\odot : Comparador de 0,01 mm de apreciación

FIGURA 11

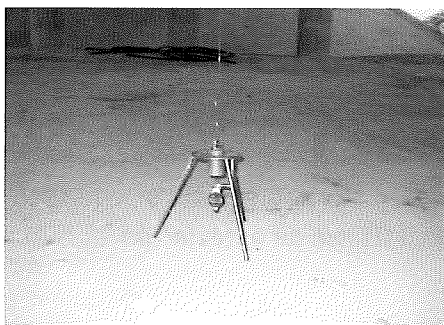
Various views of the conventional instruments used are shown in Photographs 1-4.



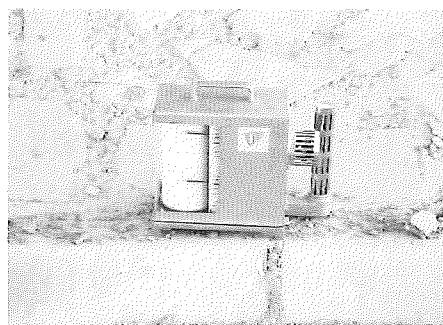
PHOTOGRAPH 1



PHOTOGRAPH 2



PHOTOGRAPH 3



PHOTOGRAPH 4

3.2 CONTINUOUS RECORDING AND DYNAMIC RANGE EQUIPMENT

As mentioned above, the "Recomendaciones para la realización de pruebas de carga" published by the Ministry of Public Works call for dynamic tests and continuous recording equipment in structures with spans of over 60 m long. In such cases, the device deployed was one of the compliant instruments routinely used by INTEMAC for railway bridge load testing (where such tests are always required regardless of the length of the span in question) and to monitor structures during construction. These instruments can simultaneously gather information from 64 channels at a rate of 200,000 readings per second and channel (see Photographs 11 and 12). INTEMAC also has three displacement and speed transducers that operate with no need to refer the structure to the surrounding terrain, thereby eliminating the problem of interference generated by traffic under the structure tested. In other words, such equipment can take measurements in conditions in which conventional (LVDT or strain gage) displacement transducers, which do require the structure to be referred to the terrain, are unusable due to the existence of tall piles or the presence of some geographic impediment (river, steep gully or similar).

In addition to displacement transducers, accelerometers were used in these tests to determine the vertical acceleration of the deck. Specialized software developed by the Institute not only provides for real-time monitoring of deflections, strain and temperatures in the structure, but also calculates its dynamic parameters (natural frequency, damping and so on).

Photographs of the LVTD displacement transducers used (Photographs 5 and 6), the laser transducers that obviate the need to refer the structure to the terrain (Photograph 10), strain gauges (Photographs 7 and 8) and a piezoelectric accelerometer (Photograph 9) are given below.

While the use of such equipment naturally entails higher instrumentation costs (including the depreciation of unfortunately very expensive equipment and the wiring for connection to the respective control and recording facilities), testing can be conducted more speedily, since the results obtained can be analyzed in real time and the findings (deflections, measurement stabilization and so on) interpreted almost immediately. As a result of this time savings, the overall cost is usually lower than incurred when conventional instrumentation is used, even where measurements are taken with precision topography.

En las fotografías siguientes pueden observarse diversos aspectos de la instrumentación convencional empleada.

3.2 EQUIPOS DE REGISTRO CONTINUO Y RANGO DINÁMICO

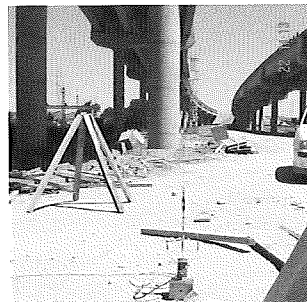
En las estructuras cuyos vanos mayores presentaban mas de 60 m. de longitud donde, como se ha dicho antes, las "Recomendaciones para la realización de pruebas de carga" del Ministerio de Fomento prescriben la realización de pruebas dinámicas y recomiendan el empleo de equipos de registro continuo, se utilizó uno de los equipos de estas características que INTEMAC emplea asiduamente para las pruebas de carga de puentes de Ferrocarril (donde normativamente también es obligado ejecutar este tipo de pruebas independientemente de la luz del paso) y para la monitorización de estructuras durante su ejecución. Estos equipos son capaces de recoger simultáneamente la información procedente de 64 canales con una velocidad de 200.000 lecturas por segundo y canal (ver fotografías nº 11 y 12). INTEMAC cuenta además con tres transductores de desplazamiento y velocidad que no precisan referir la estructura al terreno circundante, lo que permite evitar las interferencias que en otro caso se originan en el tráfico bajo la estructura probada o efectuar las medidas cuando no de pueden colocar los transductores de desplazamiento convencionales (LVDT o extensométricos) que necesitan referenciar al terreno la estructura por existir grandes alturas de pilas o por la presencia de algún accidente geográfico (río, barranco pronunciado, etc) que impide la colocación.

En estas pruebas, además de los transductores de desplazamiento, se emplean acelerómetros para obtener la aceleración vertical del tablero. Mediante el uso del software desarrollado por el Instituto, además de poder seguir en tiempo real las flechas, deformaciones, temperaturas, etc, también se pueden obtener los parámetros dinámicos de la estructura (frecuencia propia, amortiguamiento, etc, etc.).

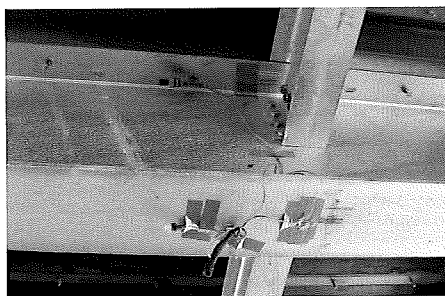
En las fotografías siguientes pueden observarse los transductores de desplazamiento extensométricos utilizados (fotografías nº 5 y 6), los transductores láser que no precisan referenciar la estructura al terreno (Fotografía nº 10), bandas extensométricas colocadas para obtener deformaciones (fotografías nº 7 y 8), y un acelerómetro piezoeléctrico (Fotografía nº 9).



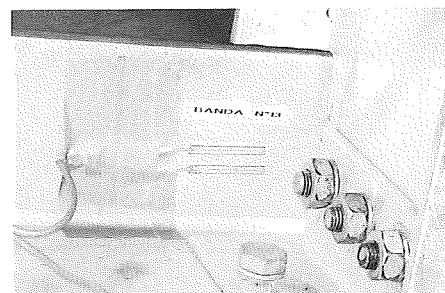
FOTOGRAFÍA Nº 5



FOTOGRAFÍA Nº 6



FOTOGRAFÍA Nº 7



FOTOGRAFÍA Nº 8

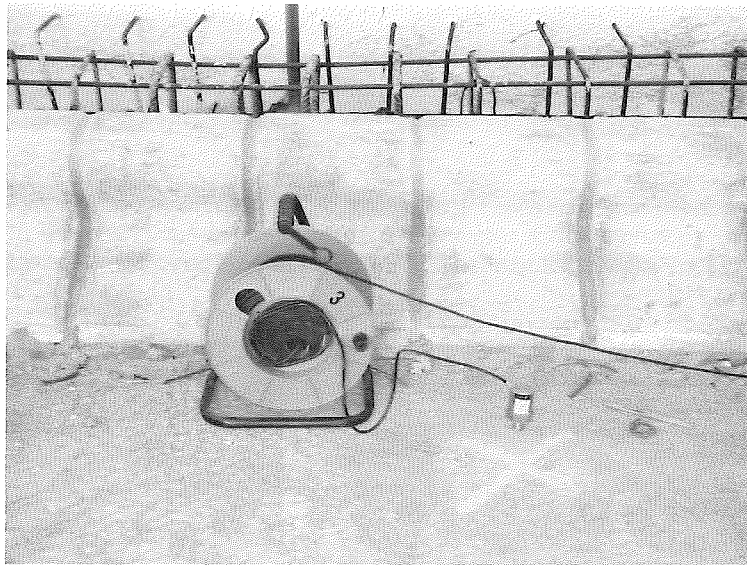
El empleo de estos equipos, que como es lógico conlleva un mayor coste de la instrumentación (hay que imputar las amortizaciones de equipos desgraciadamente muy caros e implica conectar mediante el correspondiente cableado los transductores al equipo de control y adquisición) supone una mayor rapidez de la prueba, ya que se pueden analizar en tiempo real los resultados que se están obteniendo y juzgar los resultados (flechas, recuperaciones, estabilización de medidas, etc.) de forma prácticamente inmediata. Este ahorro de tiempo conduce, en la mayoría de las ocasiones, a que el coste global de la prueba sea menor que el que se tendría empleando instrumentación convencional en la prueba, incluso si se efectuaran las medidas mediante topografía de precisión.

4. LOAD CASES AND LOAD TRAINS

Exceptionally, the test designs for this final load testing campaign were not drawn up by the INTEMAC Special Control Department, but furnished by Radiales U.T.E. These protocols were prepared by eleven different engineering consultant firms, two precast girder manufacturers and the engineering department of one of the construction companies forming the joint venture.

As a general rule, the load cases for statically indeterminate structures explored alternately loaded and adjacent spans; and depending on stiffness, geometry and the support system, account was likewise taken of torque.

The sketches below illustrate the lorry distribution in the most recurrent cases and load distribution in the lorries most frequently used (28-t six-wheelers and 40-t eight-wheelers).



PHOTOGRAPH 9



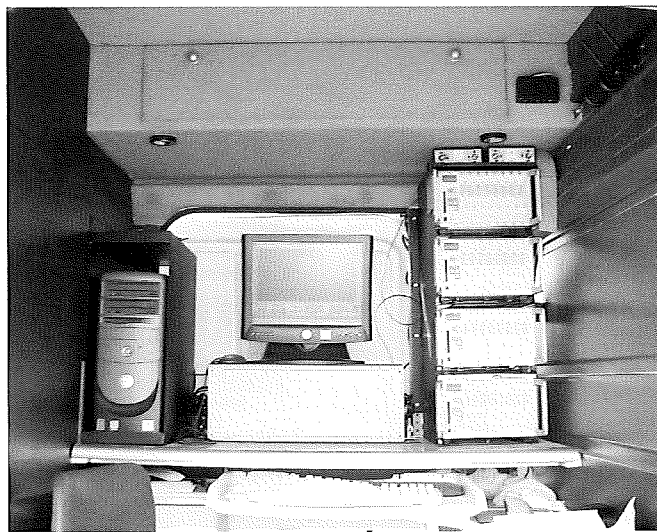
PHOTOGRAPH 10

4. HIPÓTESIS DE CARGA Y TRENES DE CARGA MATERIALIZADOS

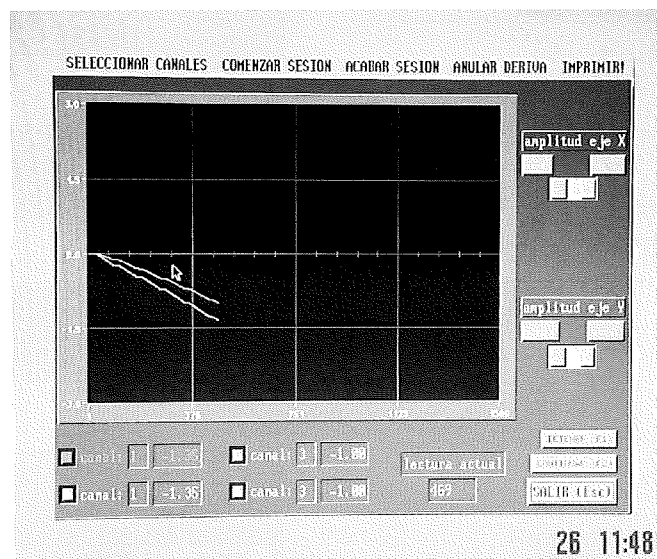
En esta campaña de ensayos de prueba de carga de recepción, los proyectos de prueba no han sido realizados por el Departamento de Controles Especiales de INTEMAC como suele ser habitual, sino que han sido facilitados por Radiales U.T.E. Estos documentos fueron elaborados por once ingenierías distintas, dos fabricantes de vigas prefabricadas y la oficina técnica de una de las empresas constructoras que constituyen la U.T.E..

En general, en las estructuras hiperestáticas se consideraban hipótesis con vanos cargados alternos y contiguos y dependiendo de las características de rigidez, geometría y sustentación también se consideraban las correspondientes hipótesis de torsión.

A continuación, se pueden observar croquis ilustrativos de la distribución de los camiones en algunas de las hipótesis más repetidas y el reparto de carga en los camiones mas utilizados (camiones de tres ejes y 28 t de carga total y camiones de cuatro ejes y 40 t de carga total).



FOTOGRAFÍA N° 11



FOTOGRAFÍA N° 12

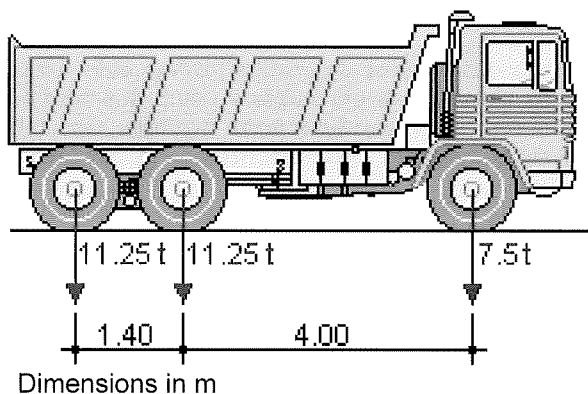


FIGURE 12

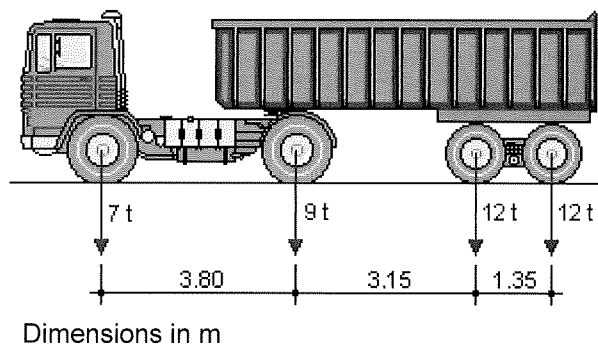


FIGURE 13

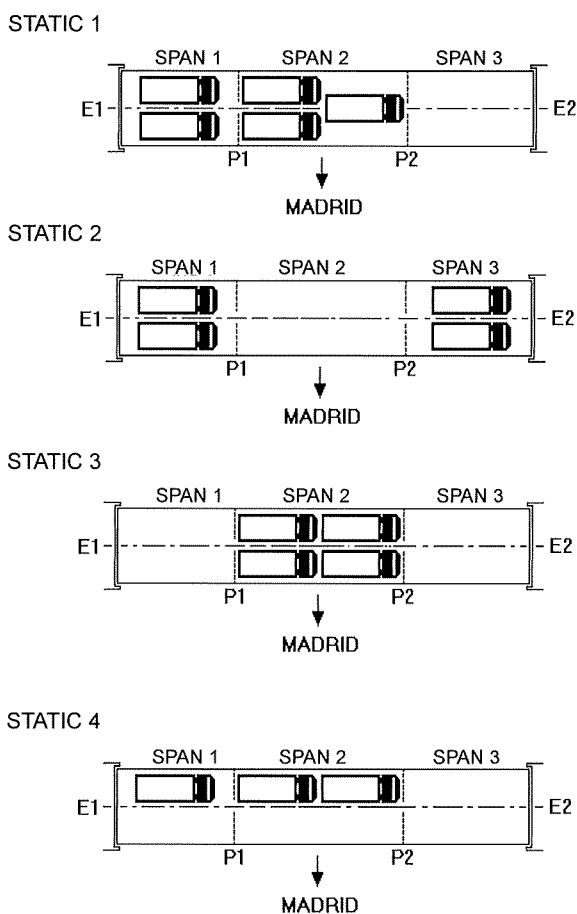


FIGURE 14

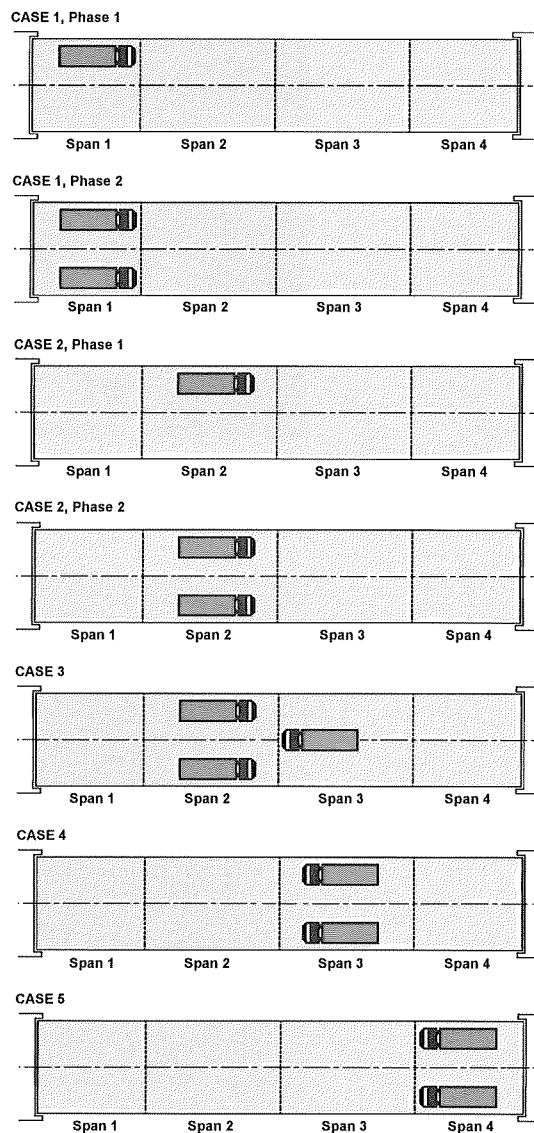


FIGURE 15

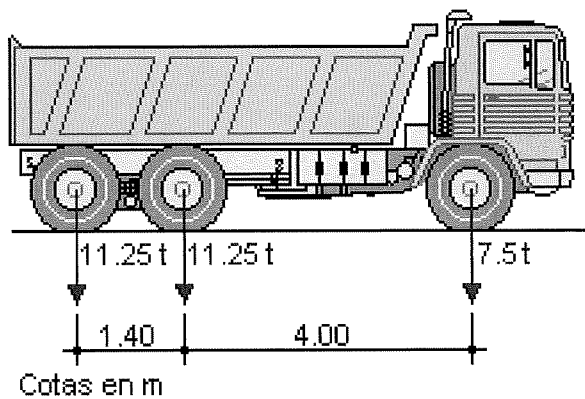


FIGURA Nº 12

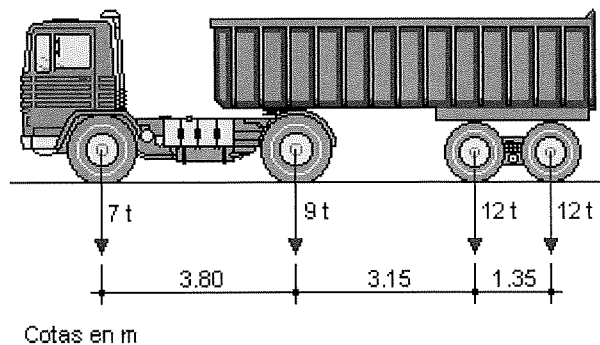


FIGURA Nº 13

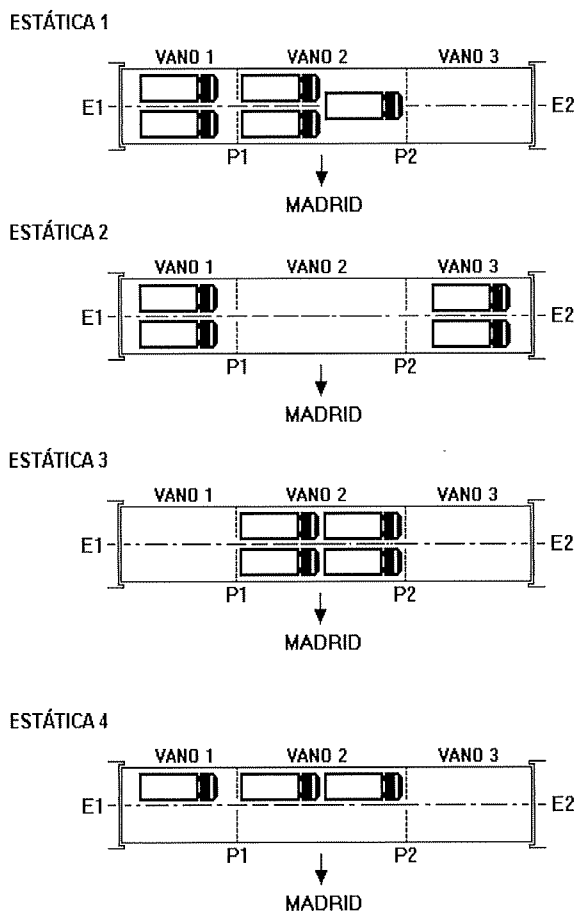


FIGURA Nº 14

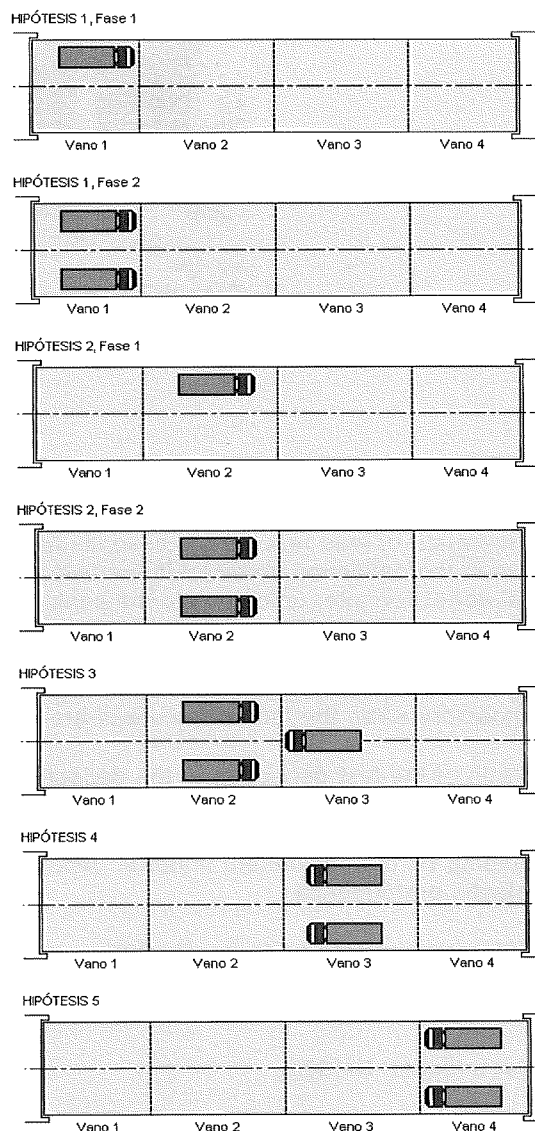
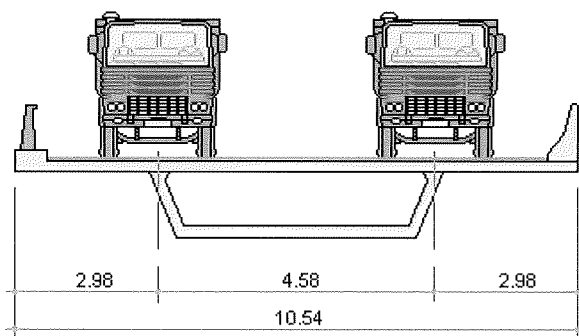


FIGURA Nº 15

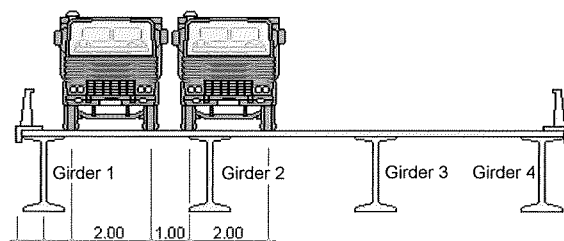
CASE 1



Dimensions in m

FIGURE 16

CASE 1



Dimensions in m

FIGURE 17

5. ANALYSIS OF RESULTS.

The interpretation of load test results essentially involves analyzing three key features of each load case: the ratio between the deflection obtained in the test and the deflection predicted in the test design, recovery (ratio of residual deflection after unloading to the peak deflection recorded) and the absence of any damage that may compromise the load carrying capacity of the structure.

According to Ministry of Public Works recommendations for bridge loading tests, the results may be regarded to be satisfactory when the following criteria are met:

- a) The ratio of the test deflection to the deflection specified in the test design (F) must be between 60% and 110%.
- b) Depending on the constituent material, recovery values (R) must be greater than the following to guarantee elastic performance:
 - Reinforced concrete bridges: $R > 80\%$.
 - Prestressed reinforced concrete or composite bridges: $R > 85\%$.
 - Steel bridges: $R > 90\%$.
- c) The width of any cracks appearing during the load test must be compliant with "*Instrucción de Hormigón Estructural*" (EHE – Spanish structural concrete code) specifications on cracking limit state and no damage should be forthcoming that might compromise the load carrying capacity of any part of the structure.

HIPÓTESIS Nº 1

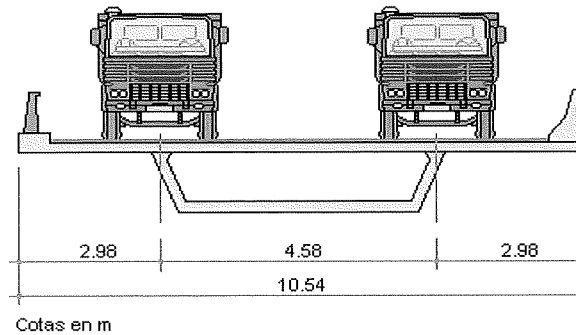


FIGURA Nº 16

HIPÓTESIS Nº 1

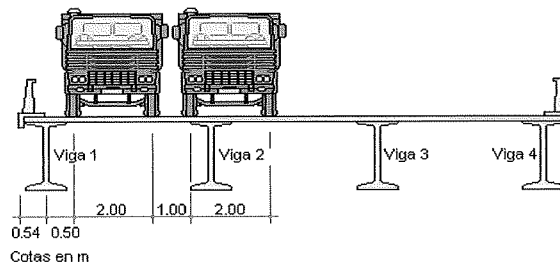


FIGURA Nº 17

5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

Para juzgar los resultados obtenidos en una prueba de carga hay que analizar, básicamente, tres aspectos fundamentales en cada hipótesis de carga: La relación entre la flecha obtenida en el ensayo y la flecha prevista en el proyecto de prueba, la recuperación (relación de la flecha remanente medida tras la retirada de las cargas materializadas frente a la flecha máxima registrada con la carga completa) y la ausencia de daños que comprometan la capacidad portante de la estructura.

Las "Recomendaciones para la realización de pruebas de carga de puentes" del Ministerio de Fomento establecen los siguientes criterios para considerar satisfactorios los resultados de las pruebas:

- a) La relación entre la flecha obtenida en el ensayo y la flecha prevista en el proyecto de prueba (F), ha de estar comprendida entre el 60 % y el 110 %.
- b) En función del material constituyente, los valores de la recuperación (R) han de ser superiores, con el fin de garantizar el comportamiento de la estructura en régimen elástico, a los siguientes:
 - Puentes de hormigón armado: $R > 80 \%$.
 - Puentes de hormigón pretensado o mixtos: $R > 85 \%$.
 - Puentes metálicos: $R > 90 \%$.
- c) La apertura de las eventuales fisuras que se produzcan durante la prueba de carga debe estar en consonancia con los criterios de la "Instrucción de Hormigón Estructural" (EHE) para la comprobación del estado límite de fisuración y no deben aparecer daños que comprometan la capacidad portante en ninguna parte de la estructura

The tables set out below summarize the mean values of the (F) and (R) ratios obtained for the structures tested.

TABLE A – F AND R VALUES FOR STATICALLY DETERMINATE STRUCTURES CLASSIFIED BY ROAD WORKS

ROAD	No. OF STRUCTURES	No. OF SPANS TESTED	TOTAL LENGTH (m) OF STRUCTURES	F	R
M - 50	57	273	6.558	76 %	96 %
R - 3	43	252	7.520	78 %	94 %
R - 5	44	198	5.219	77 %	97 %
<i>TOTAL</i>	<i>144</i>	<i>723</i>	<i>19.297</i>	<i>77 %</i>	<i>96 %</i>

TABLE B – F AND R VALUES OF STATICALLY INDETERMINATE STRUCTURES CLASSIFIED BY ROAD WORKS (results for loaded spans)

ROAD	No. OF STRUCTURES	No. OF SPANS TESTED	TOTAL LENGTH (m) OF STRUCTURES	F	R
M - 50	9	45	1.179	84 %	97 %
R - 3	9	30	1.222	88 %	96 %
R - 5	5	16	573	81 %	94 %
<i>TOTAL</i>	<i>23</i>	<i>91</i>	<i>2.974</i>	<i>85 %</i>	<i>96 %</i>

TABLE C – F AND R VALUES OF STATICALLY INDETERMINATE STRUCTURES CLASSIFIED BY ROAD WORKS (results obtained for spans adjacent to loaded spans)

ROAD	No. OF STRUCTURES	No. OF SPANS TESTED	TOTAL LENGTH (m) OF STRUCTURES	F	R
M - 50	9	45	1.179	80 %	96 %
R - 3	9	30	1.222	82 %	97 %
R - 5	5	16	573	74 %	95 %
<i>TOTAL</i>	<i>23</i>	<i>91</i>	<i>2.974</i>	<i>80 %</i>	<i>96 %</i>

Los cuadros que se presentan a continuación resumen los valores medios de las relaciones (F) y (R) obtenidas en el conjunto de las estructuras ensayadas:

CUADRO A – COMPARATIVA SEGÚN OBRA DE ESTRUCTURAS ISOSTÁTICAS

OBRA	Nº DE ESTRUCTURAS	Nº DE VANOS PROBADOS	LONGITUD (m) TOTAL DE ESTRUCTURA	F	R
M – 50	57	273	6.558	76 %	96 %
R – 3	43	252	7.520	78 %	94 %
R – 5	44	198	5.219	77 %	97 %
TOTAL	144	723	19.297	77 %	96 %

**CUADRO B – COMPARATIVA SEGÚN OBRA DE ESTRUCTURAS HIPERESTÁTICAS
(resultados obtenidos en los vanos cargados)**

OBRA	Nº DE ESTRUCTURAS	Nº DE VANOS PROBADOS	LONGITUD (m) TOTAL DE ESTRUCTURA	F	R
M – 50	9	45	1.179	84 %	97 %
R – 3	9	30	1.222	88 %	96 %
R – 5	5	16	573	81 %	94 %
TOTAL	23	91	2.974	85 %	96 %

**CUADRO C – COMPARATIVA SEGÚN OBRA DE ESTRUCTURAS HIPERESTÁTICAS
(resultados obtenidos en los vanos adyacentes a los cargados)**

OBRA	Nº DE ESTRUCTURAS	Nº DE VANOS PROBADOS	LONGITUD (m) TOTAL DE ESTRUCTURA	F	R
M – 50	9	45	1.179	80 %	96 %
R – 3	9	30	1.222	82 %	97 %
R – 5	5	16	573	74 %	95 %
TOTAL	23	91	2.974	80 %	96 %

**TABLE D – F AND R VALUES OF STRUCTURES CLASSIFIED BY
MAIN MEMBER TYPOLOGY**

CONCRETING	No. OF STRUCTURES	No. OF SPANS TESTED	TOTAL LENGTH (m) OF STRUCTURES	F	R
"In situ"	18	62	1.671	76 %	96 %
Precast	149	752	20.500	78 %	97 %
<i>TOTAL</i>	<i>167</i>	<i>814</i>	<i>22.171</i>	<i>78 %</i>	<i>97 %</i>

**TABLE E – F VALUES OF STRUCTURES CLASSIFIED BY ORIGIN OF
TEST DESIGN**

LOAD TEST DESIGN AUTHORED BY	No. OF STRUCTURES	No. OF SPANS TESTED	TOTAL LENGTH (m) OF STRUCTURES	F
Construction company	68	323	7.298	80 %
Engineering department	21	86	2.438	68 %
Precasting company	78	405	12.435	75 %
<i>TOTAL</i>	<i>167</i>	<i>814</i>	<i>22.171</i>	<i>77 %</i>

**TABLE F – F VALUES OF STRUCTURES CLASSIFIED BY DECK
TYPOLOGY**

DECK TYPOLOGY	No. OF STRUCTURES	No. OF SPANS TESTED	TOTAL LENGTH (m) OF STRUCTURES	F
I-beams	30	198	6.971	73 %
Lightweight slab	5	18	588	88 %
Concrete slab	1	1	13	75 %
Solid slab	9	40	1.025	70 %
Ribbed slab	1	1	17	96 %
Box culvert	2	2	28	88 %
Composite	2	14	662	83 %
Box girder	117	540	12.867	79 %
<i>TOTAL</i>	<i>167</i>	<i>814</i>	<i>22.171</i>	<i>77 %</i>

CUADRO D – COMPARATIVA SEGÚN CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS PRINCIPALES

HORMIGONADO	Nº DE ESTRUCTURAS	Nº DE VANOS PROBADOS	LONGITUD (m) TOTAL DE ESTRUCTURA	F	R
"In situ"	18	62	1.671	76 %	96 %
Prefabricado	149	752	20.500	78 %	97 %
<i>TOTAL</i>	<i>167</i>	<i>814</i>	<i>22.171</i>	<i>78 %</i>	<i>97 %</i>

CUADRO E – COMPARATIVA SEGÚN ORIGEN DEL PROYECTO DE PRUEBA

PROYECTO DE PRUEBA DE CARGA REALIZADO POR	Nº DE ESTRUCTURAS	Nº DE VANOS PROBADOS	LONGITUD (m) TOTAL DE ESTRUCTURA	F
Empresa Constructora	68	323	7.298	80 %
Oficina de Proyectos	21	86	2.438	68 %
Empresa Prefabricadora	78	405	12.435	75 %
<i>TOTAL</i>	<i>167</i>	<i>814</i>	<i>22.171</i>	<i>77 %</i>

CUADRO F – COMPARATIVA SEGÚN TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL

TIPOLOGÍA DEL TABLERO	Nº DE ESTRUCTURAS	Nº DE VANOS PROBADOS	LONGITUD (m) TOTAL DE ESTRUCTURA	F
Vigas doble T	30	198	6.971	73 %
Losa aligerada	5	18	588	88 %
Losa hormigón	1	1	13	75 %
Losa maciza	9	40	1.025	70 %
Losa nervada	1	1	17	96 %
Marco	2	2	28	88 %
Mixta	2	14	662	83 %
Viga cajón	117	540	12.867	79 %
<i>TOTAL</i>	<i>167</i>	<i>814</i>	<i>22.171</i>	<i>77 %</i>

The most prominent findings are discussed below:

- a) In all cases, the F values (ratio between mean and predicted deflection) obtained were within the acceptable range laid down in the Ministry of Public Works recommendations. Nonetheless, the test designs had to be revised in 8% of the structures tested, because the test values recorded were under 60% of the initial design values. The above tables were drawn up after the final revision of each of the test designs.
- b) The R (recovery) values obtained not only complied with the minimum requirement stipulated in the above recommendations, but reached values of over 95% of the peak deflection recorded, a clear indication that the structures exhibited genuinely elastic behaviour.

All the analyses of the above results refer to the tests conducted with conventional instruments. As noted in preceding sections, the Institute also ran load tests with continuous recording and dynamic equipment. By way of example, the measurement procedures followed on a length of steel deck in the Jarama Viaduct that forms a part of toll road R-3 are summarized below.

The Jarama Viaduct structure consists in a pair of 35-span twin bridges (one for each direction of traffic). In the 32 spans on each bridge that are statically determinate structures consisting in precast, prestressed concrete girder decks, static tests were conducted with the conventional instrumentation described above. The 3 spans in each of these two bridges built directly over the riverbed, however, are continuous steel-concrete composite structures. It was on these substructures that static and dynamic load test results were measured with the Institute's continuous recording equipment.

Before conducting the tests, strain gauges with a maximum range of 50 mm were positioned at each of the lines of support and at mid-span in the outer-most spans (50 m long each). Mid-span monitoring in the 75-m long central spans was performed with 2 Doppler effect laser interferometers with a maximum range of 140 mm, installed on one of the banks of the river and oriented towards a light-reflecting membrane lining the deck soffit. A piezoelectric accelerometer was also installed on the upper side of the deck to record acceleration values during the dynamic load tests. Instrument arrangement and positions are shown schematically in the figure below.

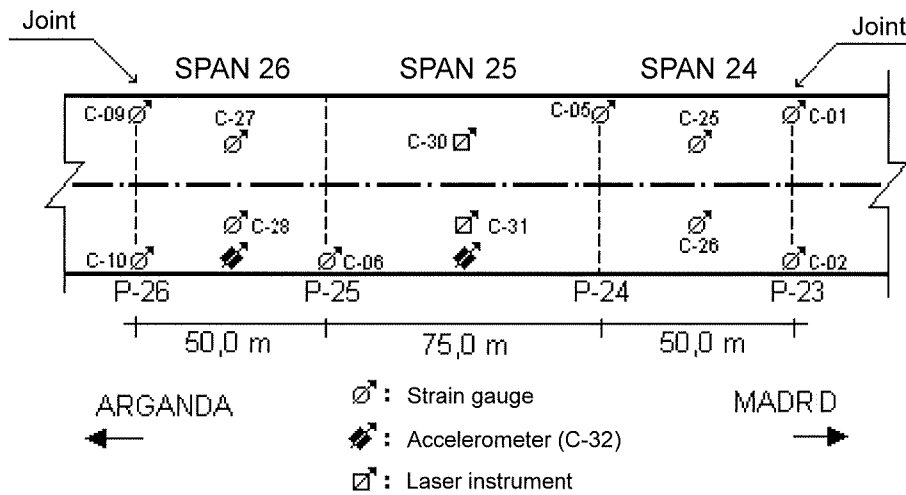


FIGURE 18

The dynamic tests consisted in driving the eight-wheelers used in the static tests over the bridges at different speeds. Quasi-static (at 5 km/h), slow dynamic (30 km/h) and high-speed dynamic (80 km/h) tests were conducted; the dynamic test with a RILEM obstacle was also performed in the central span (at 80 km/h).

Five load cases were explored in the static tests. First, each span was separately loaded with four lorries, after which two adjacent spans were simultaneously loaded with four lorries per span, as shown in the diagram below (see Photograph 13).

A la vista de estos resultados se pueden resaltar los siguientes aspectos:

- a) Los valores F (relación entre la flecha medida y la flecha prevista) obtenidos se encuentran, en todos los casos, dentro del rango de aceptación marcado por las Recomendaciones del Ministerio de Fomento. Hay que señalar, no obstante, que en el 8% de las estructuras probadas hubo que revisar los proyectos de prueba al alcanzarse en las pruebas unas flechas inferiores al 60% de las previstas en los proyectos originales. Los cuadros anteriores han sido elaborados a partir de la última revisión de cada uno de los proyectos de prueba.
- b) Los valores R (recuperación) obtenidos no sólo cumplen los mínimos fijados en las Recomendaciones antes citadas sino que alcanzan, en general, valores superiores al 95 % de las flechas máximas registradas, muestra del comportamiento elástico real de las estructuras.

Todos los análisis de resultados antes expuestos se refieren a las pruebas realizadas con instrumentación convencional. Como se comentó en apartados precedentes, el Instituto realizó también pruebas de carga con equipos de registro continuo y características dinámicas. A modo de ejemplo, se resumen las actuaciones sobre el tramo metálico de uno de tableros del Viaducto del Jarama, perteneciente a las obras de la autopista de peaje R-3.

La estructura Viaducto del Jarama consta de 2 puentes gemelos (uno para cada sentido de circulación en la autopista) de 35 vanos cada uno. En los 32 vanos resueltos en cada una de las obras de paso mediante tableros isostáticos de vigas prefabricadas de hormigón pretensado se realizaron las pruebas estáticas con la instrumentación convencional que se ha comentado en apartados precedentes. Sin embargo, la tipología estructural de los 3 vanos de cada una de las dos estructuras con los que se cruza el río Jarama se corresponde con una estructura mixta acero-hormigón continua. Es sobre estas subestructuras en las que se realizaron pruebas de carga estáticas y dinámicas con un equipo de registro continuo del Instituto.

Previamente a la realización de las pruebas se colocaron anillos resistivos, con un rango máximo de 50 mm, en cada una de las líneas de apoyo y en los centros de los vanos extremos (de 50 m de luz cada uno). La monitorización del centro del vano central (de 75 m de luz) se realizó a partir de 2 interferómetros láser, con un rango máximo de 140 mm, basados en el efecto Doppler, instalados en una de las márgenes del río y apuntando a sendas láminas reflectantes adheridas en la cara inferior del tablero. Además, con el fin de obtener valores de aceleración del tablero durante las pruebas de carga dinámicas, se instaló un acelerómetro piezoeléctrico anclado a la cara superior del mismo. En la figura siguiente se describe esquemáticamente la instrumentación dispuesta.

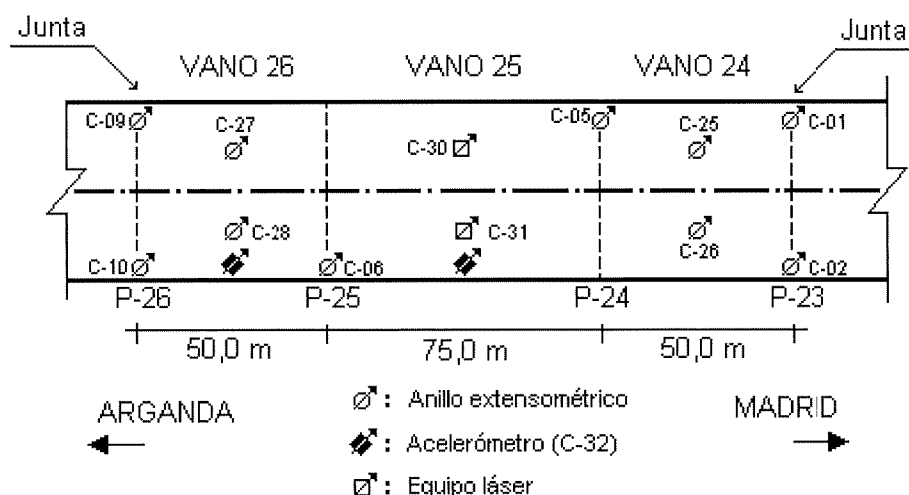
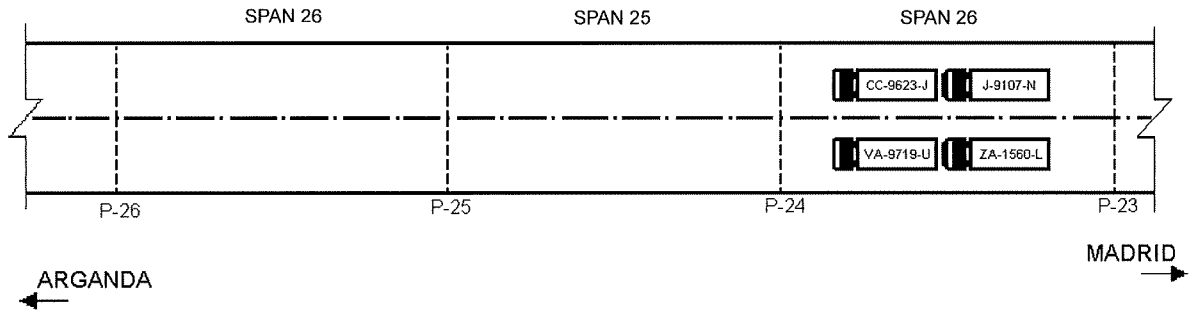


FIGURA Nº 18

Las pruebas dinámicas consistieron en realizar pasadas, con uno de los camiones de 4 ejes empleados en las pruebas estáticas, a diferentes velocidades sobre el tablero. Así, se realizó la prueba cuasiestática ($v=5$ km/h), la prueba dinámica lenta ($v=30$ km/h), la prueba dinámica rápida ($v=80$ km/h) y la prueba dinámica con el tablón RILEM en el vano central ($v=80$ km/h).

JARAMA VIADUCT (right roadway)
Static case load n° 1



JARAMA VIADUCT (right roadway)
Static case load n° 4

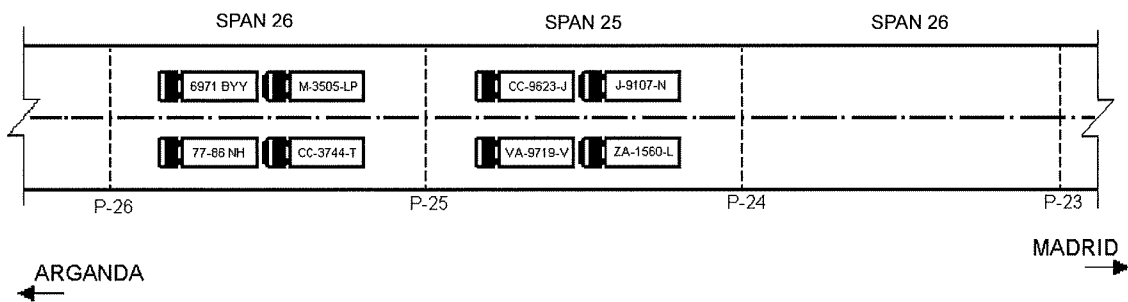
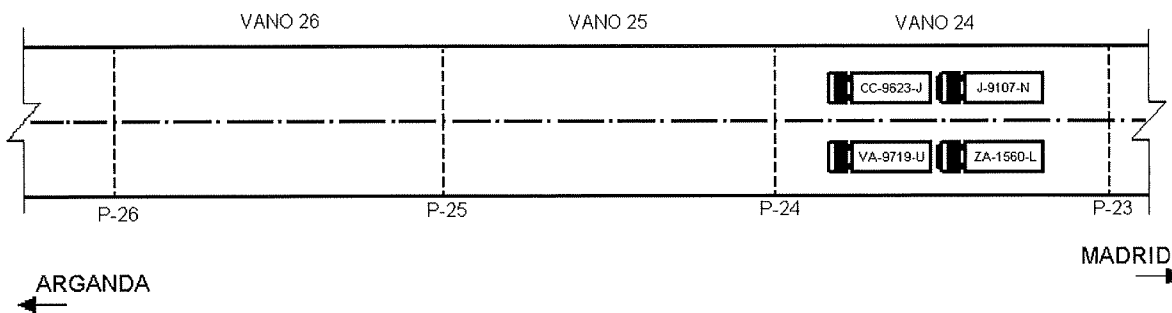


FIGURE 19

En las pruebas estáticas se materializaron cinco hipótesis de carga; por un lado, se cargó con cuatro camiones cada uno de los vanos por separado, y por otro, se cargaron simultáneamente dos vanos contiguos con cuatro camiones por vano, de acuerdo con el esquema de la figura siguiente (ver Fotografía nº 13).

VIADUCTO DEL JARAMA (calzada derecha)
Hipótesis de carga estática nº.1



VIADUCTO DEL JARAMA (calzada derecha)
Hipótesis de carga estática nº.4

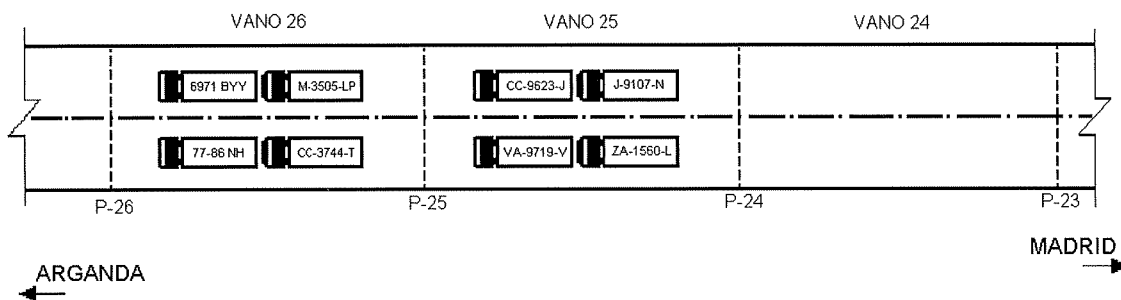
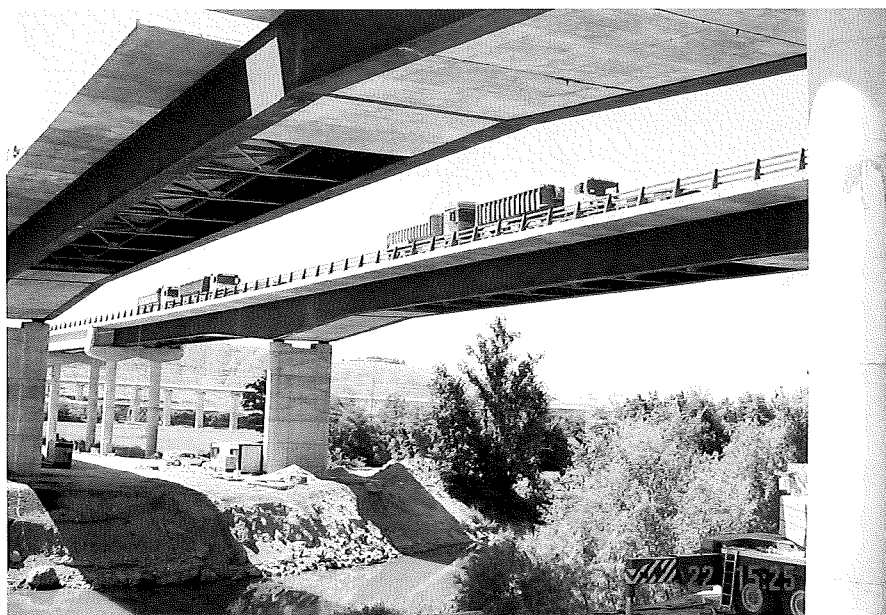


FIGURA Nº 19



FOTOGRAFÍA Nº 13

A graphic representation of the deflection values vs time is given in Figure 20 for one of the load cases. Four clearly differentiated stages can be distinguished: the loading phase when the lorries were positioned over the structure, the deflection stabilization phase with the structure fully loaded, the unloading phase (removal of lorries) and the residual deflection measurement phase (from which structure recovery is found).

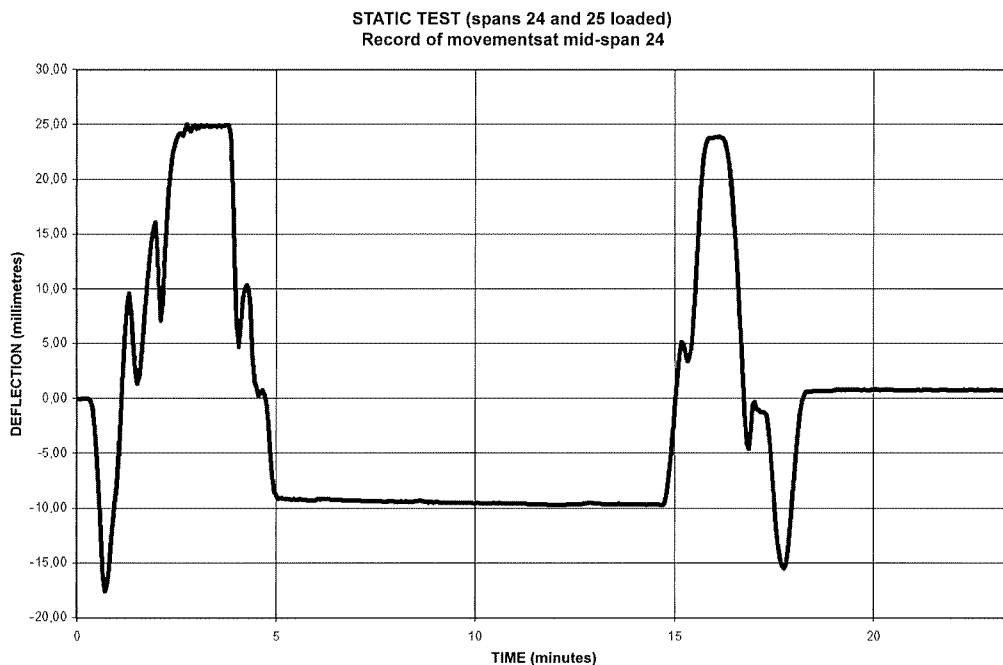


FIGURE 20

Figure 21 shows the deflection values continuously recorded in the centre of each lateral span during the dynamic tests. Since the test consisted in driving a vehicle over the deck, the graph obtained represents the influence line of the parameter measured when the load train crossed the deck.

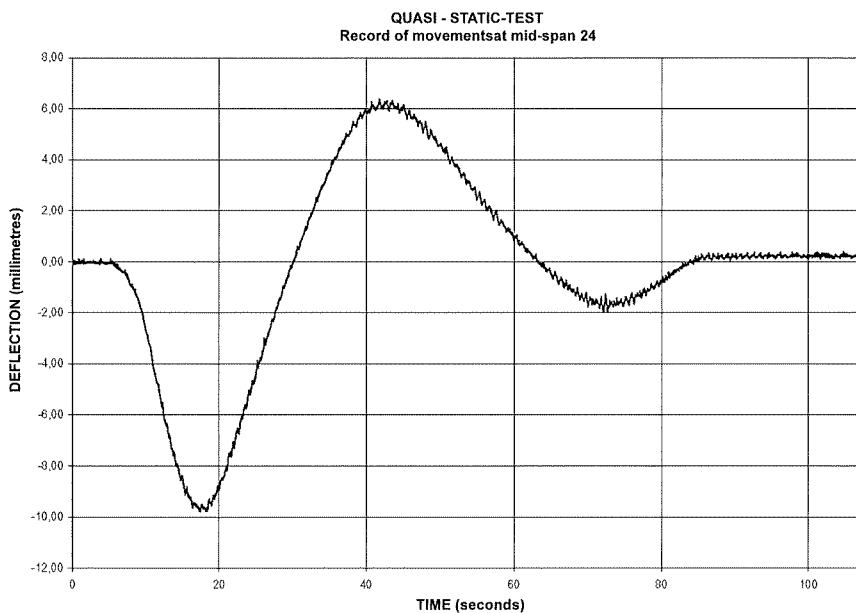


FIGURE 21

La representación gráfica de las flechas obtenidas frente al tiempo en una de las hipótesis materializadas se presenta en la Figura nº 20. En ella pueden apreciarse cuatro tramos bien diferenciados: la fase de carga de la estructura con el posicionamiento de los diferentes camiones, la fase de estabilización de la flecha con la carga completa, la fase de descarga (salida de los camiones) de la estructura y la fase de medida de la flecha remanente (a partir de la cual se obtiene la recuperación de la estructura).

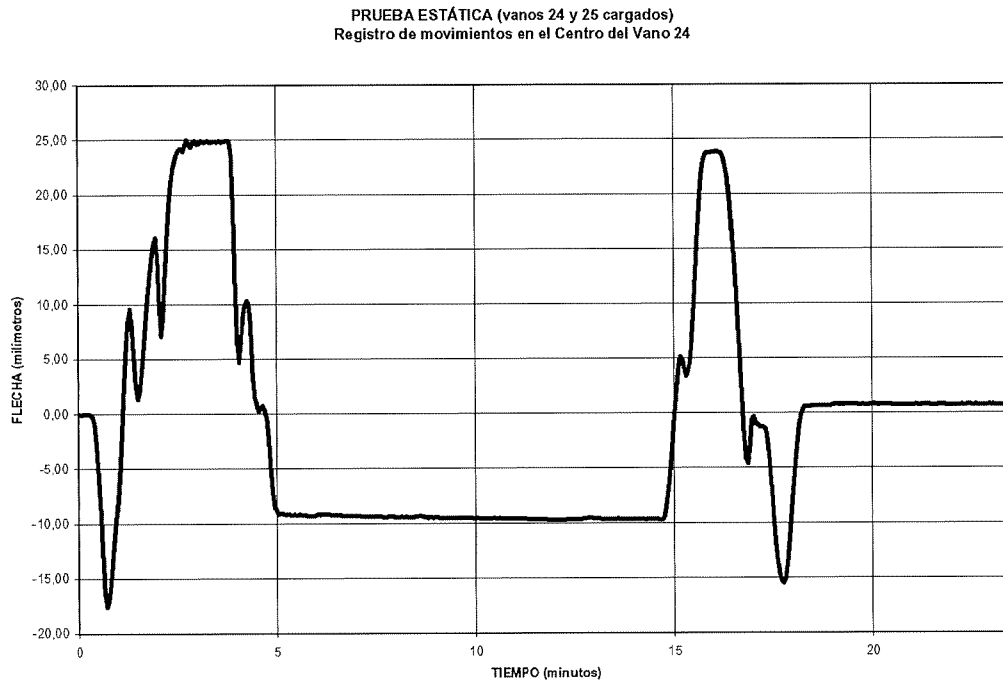


FIGURA Nº 20

En la Figura nº 21 se presenta el registro continuo de la flecha alcanzada en el centro de uno de los vanos laterales durante la ejecución de una de las pruebas dinámicas. Como la prueba consiste en hacer pasar un vehículo sobre el tablero, el registro obtenido representa la línea de influencia de la magnitud instrumentada cuando sobre el tablero se desplaza el tren de cargas.

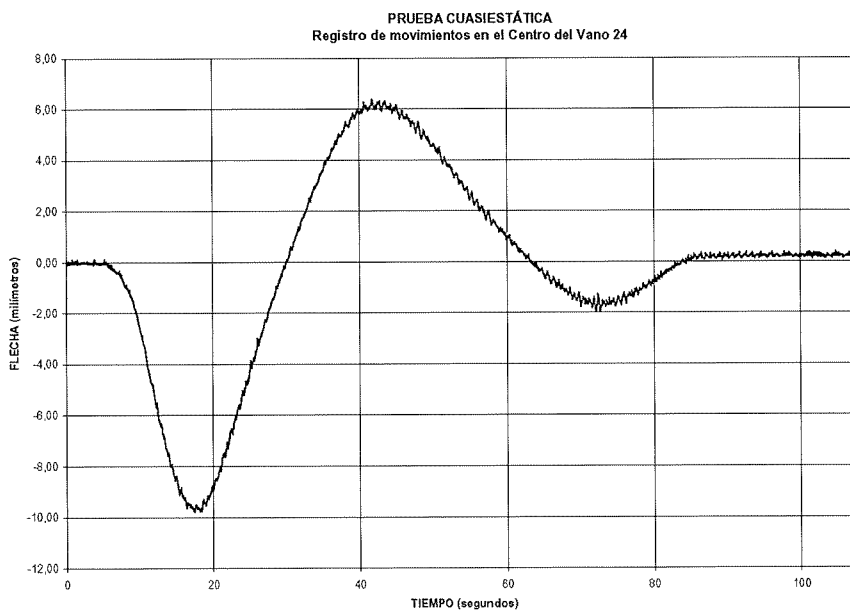


FIGURA Nº 21

Figure 22 shows the graph plotted by the piezoelectric accelerometer when the RILEM panel dynamic test was conducted.

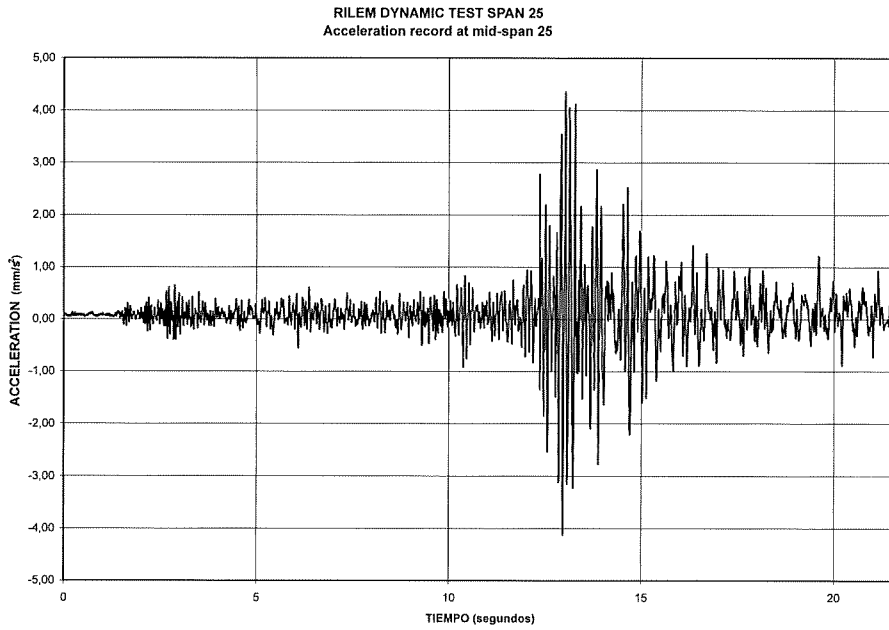


FIGURE 22

Figure 23 gives the frequency analysis of the above signal after application of a Fast Fourier Transform (FFT).

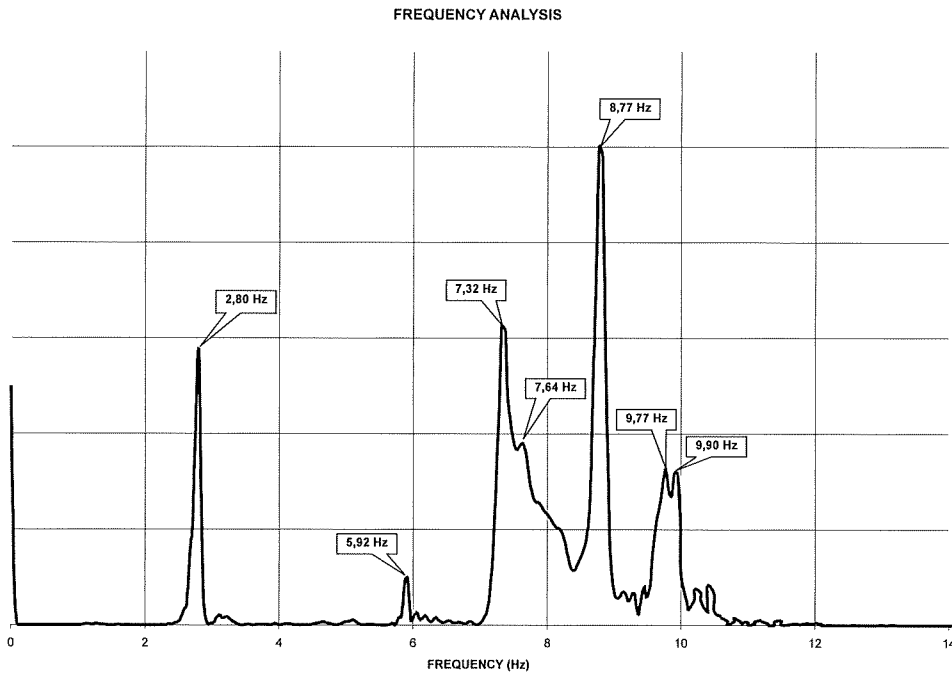


FIGURE 23

En la Figura n° 22 se muestra el registro obtenido mediante el acelerómetro piezoeléctrico colocado en el tablero cuando se realizó la prueba dinámica con tablón RILEM.

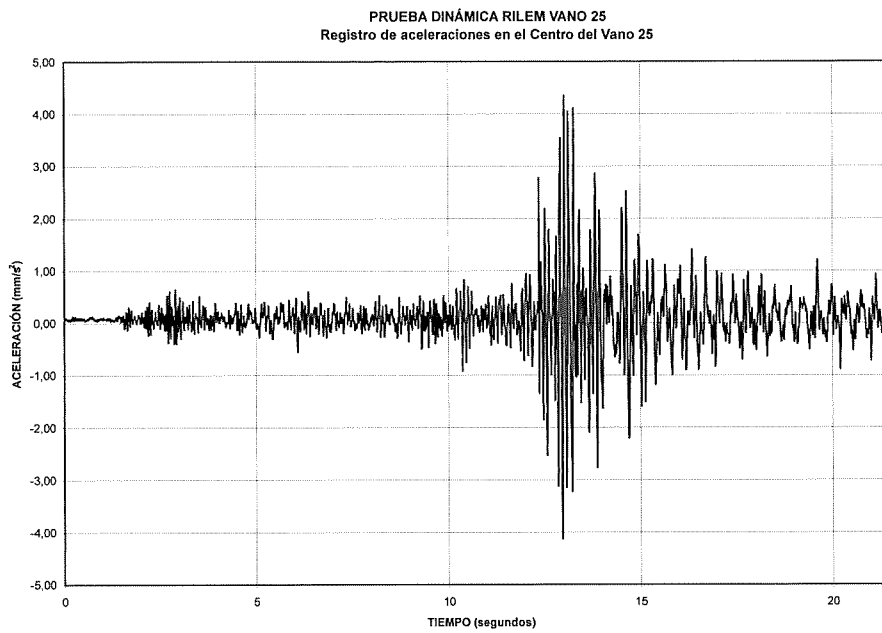


FIGURA N° 22

La Figura n° 23 representa el análisis en el dominio de la frecuencia de la señal anterior, después de aplicarle una Transformada Rápida de Fourier (FFT).

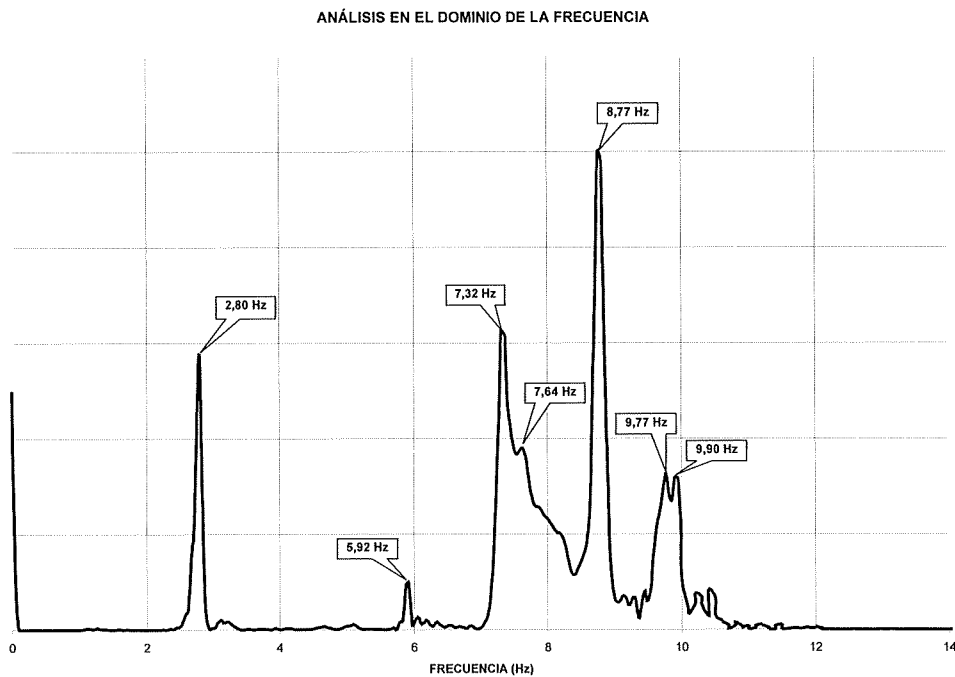


FIGURA N° 23

The results discussed above were obtained in load tests conducted on structures exhibiting no cracks or other types of damage prior to testing, developments that would have called for specific instrumentation and real-time monitoring during the test. Pre-test cracks were detected, however, on the under side of the post-tensioned concrete deck of one of the structures on the M-50 ring road. In addition to the instrumentation described above to measure deflection, a full record was taken of all the cracks prior to the test and each was instrumented with 0.01-mm resolution strain gauge.

Variations in crack geometry were checked during and on completion of the test. The maximum widths recorded ranged from 0.05 to 0.30 mm. The cracks were observed to widen slightly during loading (by 0.28 mm at most), although they all regained their initial width after unloading. INTEMAC's Pathology and Rehabilitation Department studied the damage on the grounds of the test results for deflection and crack control both, concluding that the cracks had no structural impact but should be sealed for reasons of durability.

6. SUMMARY AND FINAL CONSIDERATIONS

The Instituto Técnico de Materiales y Construcciones conducted the final loading tests on structures forming a part of Madrid's M-50 ring road and radial toll roads R-3 and R-5. The structures tested are described and the results analyzed in the preceding sections of this report.

Statistically speaking, the test campaign can be summarized as follows: the 167 structures tested contained 814 spans, a length of over 22 km and 246,000 m² of deck area. The load tests were performed with 700 lorries weighing a total of 26,000 t. Exploring the approximately 1,300 load cases in the test designs involved moving some 160,000 t of cargo.

Coordination of the teams and resources required to conduct the tests (topographic stakeout of the different cases, means to access deck soffits, lorries for the loading tests, provisional detours and so on) was instrumental to prevent interference with construction. Much of the merit in this regard must be attributed to the efforts of José Luis Pancorbo de Rato, Radiales U.T.E. Quality Manager for the three works.

The helpful assistance provided by Antonio Hernando Gil on radial motorway R-3, José Ramón Rodríguez Montilla and Arturo Galle on radial motorway R-5 and Marcos Hernández García on the west stretch of ring road M-50 is likewise much appreciated.

Satisfactory results were obtained for all the structures tested, whose deflection values, both as actually measured and as stipulated in the test designs, were within the range recommended by the Ministry of Public Works. The recovery values were higher in all cases than the minimum requirement specified in the above recommendations and in general exceeded 95% of the peak deformation recorded, an indication of the elasticity of the structures tested.

While the primary aim of final load testing is to confirm, prior to commissioning a structure, that it has been satisfactorily designed and built, sight should not be lost of the fact that the information gathered in such tests is useful for other important applications as well.

With a view to future conservation of the structure, the data obtained from the tests and related parallel activities (detailed inspection of the structural strength of support devices and joints, general levelling after the test, and so on), together with the information on works quality control, form the core of a bridge management system structural inventory. Indeed, final load tests constitute the first major inspection and a reference/benchmark for any subsequent inspections performed during the service life of the structure.

The computerized storage of all the information gathered during testing provided by continuous recording equipment affords an important advantage in this context; just as the traceability of results is particularly useful for comparison with other tests that may be conducted during the service life of the structure, when deemed appropriate in the wake of special inspections.

These instruments, which must necessarily be used in dynamic loading tests, are not generally deployed for static tests due to the higher costs involved. Nonetheless, the agility they afford, with minimal intervals between

Las pruebas de carga cuyos resultados se han expuesto hasta ahora se han efectuado sobre estructuras que no presentaban, antes de las pruebas, fisuras u otros tipos de daños que obligaran a una instrumentación específica y a su seguimiento durante el ensayo. Sin embargo, en una de las estructuras de la autovía de circunvalación M-50 se detectó antes del ensayo la existencia de fisuras en la cara inferior del tablero de hormigón postesado. Además de la instrumentación ya descrita para la medida de flechas, antes de la prueba se realizó un levantamiento de la fisuración existente en la cara inferior del tablero y cada una de las fisuras detectadas se instrumentó mediante bases para extensómetro de 0,01 mm de apreciación.

En el transcurso y a la finalización de la prueba se comprobaron las variaciones ocurridas en la geometría de las fisuras, cuyos anchos máximos entre labios oscilaban entre 0,05 mm y 0,30 mm. Durante las fases de materialización de la carga se observaron ligeros incrementos del ancho de las fisuras (0,28 mm como máximo) y tras la retirada de la carga, las fisuras recuperaron su ancho inicial en todos los casos. Con los resultados obtenidos en el ensayo, tanto de las flechas obtenidas como del control de las fisuras detectadas, el Departamento de Patología y Rehabilitación de INTEMAC realizó un estudio sobre los daños, cuyas conclusiones señalaron que no tenían trascendencia estructural y que su reparación, únicamente de cara a la durabilidad de la estructura, debía consistir en el sellado de las fisuras.

6. RESUMEN Y CONSIDERACIONES FINALES

El Instituto Técnico de Materiales y Construcciones ha efectuado las pruebas de carga de recepción de las estructuras incluidas en las obras de un tramo de la autovía de circunvalación a Madrid M-50 y de las autopistas radiales de peaje R-3 y R-5. Tanto la descripción de las estructuras probadas como el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas se han expuesto en apartados anteriores.

A modo de resumen, puede indicarse que se han probado 167 estructuras, lo que representa la prueba de 814 vanos, con más de 22 km de paso y 246.000 m² de tablero ensayados. Como curiosidad, cabe señalar que las pruebas de carga de recepción mencionadas han supuesto el empleo de más de 700 camiones, con un peso total de unas 26.000 t. Se han materializado, aproximadamente, 1300 hipótesis de carga, para lo que se han movilizado unas 160.000 t.

Para no interferir en el desarrollo de los trabajos de obra, ha sido básica la coordinación de los equipos y medios que ha habido que movilizar para la realización de las pruebas (replanteo de las distintas hipótesis por topografía, medios de acceso a la cara inferior de los tableros, camiones para la materialización de la carga de prueba, señalizaciones, desvíos provisionales, etc). A este respecto hay que señalar, en primer lugar, las labores de coordinación desarrolladas por D. José Luis Pancorbo de Rato, Director de Calidad de Radiales U.T.E. para las tres obras. Igualmente, hay que agradecer la gran ayuda prestada en estas labores por los responsables de calidad de cada una de las obras, D. Antonio Hernando Gil, de la autopista radial R-3, D. José Ramón Rodríguez Montilla y D. Arturo Gallel, de la autopista radial R-5 y D. Marcos Hernández García del tramo Oeste de la autovía de circunvalación M-50.

En las pruebas de todas las estructuras ensayadas se han obtenido resultados satisfactorios, con los valores de la relación entre las flechas obtenidas y las previstas en los proyectos de prueba comprendidas dentro del rango que las "Recomendaciones para la realización de pruebas de carga" del Ministerio de Fomento fija para considerar aceptables. En todos los casos las recuperaciones alcanzadas son superiores a los valores mínimos fijados por las Recomendaciones citadas para considerar satisfactorios los resultados de las pruebas, siendo, en general, superiores al 95% de las deformaciones máximas alcanzadas, lo que demuestra el comportamiento elástico de las estructuras ensayadas.

Si bien la realización de la prueba de carga de recepción de una estructura tiene como primer objetivo confirmar, antes de su puesta en servicio, que el proyecto y la ejecución de la obra se han llevado a cabo de forma satisfactoria, no hay que olvidar que la información que con ella se obtiene sirve para cubrir otros aspectos importantes. De cara a la conservación futura de la estructura, tanto la información obtenida directamente en la prueba como en las actividades que se desarrollan en paralelo a ella (inspección pormenorizada de la estructura resistente de los aparatos de apoyo y juntas, nivelación general tras la prueba, etc) constituyen, junto con la información del control de calidad de la obra, la base para el inventario de la estructura dentro de un sistema de gestión de puentes, de manera que sirva como primera inspección principal y estado de referencia para todas las inspecciones periódicas que se realizarán a lo largo de su vida útil.

A este respecto hay que resaltar la ventaja que supone el almacenamiento en soporte informático de toda la información que se obtiene en la prueba, tal y como se consigue con los equipos de registro continuo, así como la trazabilidad de los resultados para su posible comparación con otras pruebas a realizar en la vida útil de la estructura en caso de que las inspecciones especiales así lo aconsejen.

load cases, shortens the duration of testing substantially. This translates, in turn, into lower spending on other items that contribute significantly to overall testing costs, such as deployment times for lorries, ancillary access and signage facilities, road closures and so on.

Estos equipos, que deben emplearse en la realización de las pruebas de carga dinámicas necesariamente, no suelen utilizarse en la realización de pruebas estáticas ya que, en principio, el coste de su empleo es superior al de los equipos de medida tradicionales. Sin embargo, la agilidad con que pueden desarrollarse las pruebas, sin apenas tiempos muertos entre las distintas hipótesis de carga, hace que el tiempo total empleado en la prueba se reduzca notablemente, lo que se traduce en un menor coste de otras partidas con un peso muy importante en el coste total de la prueba, como son los tiempos de puesta a disposición de los camiones y medios auxiliares de acceso durante el ensayo, los medios de señalización, cortes de tráfico, etc.

Relación de Personal Titulado de INTEMAC

Arquitectos

Fernández Sáez, Ana María
Fraile Mora, Serafín
González Balseyro, María José
López-Nava Muñoz, Alberto Ignacio
Luzón Cánovas, José M^a
Sánchez Arroyo, Jesús M^a
Sicilia Mañá, Beatriz

Ingenieros de Caminos

Ayats Calsat, Juan
Baena Alonso, Eva
Barrios Corpa, Jorge
Barrios Corpa, Roberto
Beteta Cejudo, M^a Carmen
* Calavera Ruiz, José
Calderón Bello, Enrique
Carpintero García, Ismael
Castillo Fernández, Luis Javier
Clemente Gutiérrez, Julián Alberto
Corbacho Vicioso, José Angel
Cortés Bretón, Juan María
Corral Folgado, Claudio
De la Cuerda del Olmo, Francisco Javier
De la Fuente Gómez, Ana Isabel
Dávila Sánchez-Toscano, Suyapa
Díaz Heredia, Elena
Díaz Lozano, Justo
Díaz Pavón Cuaresma, Eduardo
Encinar Arroyo, Antonio
Fernández García, Susana
* Fernández Gómez, Jaime Antonio
González González, Juan José
* González Valle, Enrique
* Hostalet Alba, Francisco
* Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M^a
Jiménez Ortiz, Gonzalo
Ley Urzaiz, Jorge
Munugarren Martínez, Miguel Angel
Prieto Tomé, Alfonso
Recio Cañadas, Alba
Rodríguez Escribano, Raúl Rubén
Rodríguez Romero, Jesús M^a
Rueda Contreras, Jorge Ladislao
Ruiz Fuentes, María Josefa
Ruiz Jiménez-Alfaro, Felipe
Sanz Pérez, Lorenzo
Sirvent Sirvent, Enrique
Tapia Menéndez, José
Torre Cobo, María Carmen
Torres Pérez, Elisa
Valdés Fernández de Alarcón, Pablo
Villanueva Ramírez, Santiago

Ingeniero en Cartografía y Geodesia

López-Canti Casas, Elisa

Ingeniero I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo

Ingenieros Industriales

* Alvarez Cabal, Ramón Amado
Arroyo Arroyo, José Ramón
Bayonne Sopo, Enrique
De la Cruz Morón, Diego
Estrada Gómez, Rafael
González Carmona, Manuel
Muñoz Fuentes, Miguel Angel
Suárez Fernández, Antonio
Torruella Martínez, Josep M^a
* Valenciano Carles, Federico

Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

Dra. en Geografía e Historia

Calavera Vayá, Ana María

Licenciada en Administración y Dirección de Empresas

Perales Gómez, Natalia

Licenciado en Ciencias Ambientales

Gil Esteban, Luis Miguel

Licenciado en C. Económicas y Empresariales

González Chavero, Antonio

Licenciados en Ciencias Químicas

Fernández Sendino, Marta
Grandes Velasco, Sylvia María
Iglesias Hernaiz, María Angeles
López Sánchez, Pedro
Morgado Sánchez, José Carlos

Licenciados en Derecho

González del Olmo, Alfredo
Jarillo Cerrato, Pedro

Licenciada en Filología Hispánica

Valentín Sierra, M^a Consuelo

Licenciados en Geología

Blanco Zorroza, Alberto
Casado Chinarro, Alejandro
Catalán Navarro, Antonio
Díaz Castañeda, Esteban
García Tascón, Jorge
López Velilla, Oscar
Pedrosa Ortiz, Germán
Peguero Orta, Carlos
Salado Rodilla, Luis
Usillos Espín, Pablo

Arquitectos Técnicos

Carrato Moñino, Rosa M^a
Carrera Ríos, José María
Debasa Novas, Elena
Fernández Jiménez, Amelia
Galán Rivera, Sofía

Gallego Castro, Sergio
Montejano Jiménez, María del Carmen
Muñoz Mesto, Angel
Sanz Burgueño, Miguel Angel
Vaquero Navarro, Carlos

Ingenieros Técnicos Industriales

Alcubilla Villanueva, Rubén
Díaz-Trechuelo Laffón, Antonio
García Campos, María de la Luz
Madueño López, Javier
Madueño Morano, Antonio
Muñoz Garijo, Francisco Javier
Sánchez Bueno, Juan Jesús
Santos Barrero, Francisco Javier
Villar Riñones, Jesús

Ingeniero Técnico en Informática de Gestión

Esteban Pérez, Ramón

Ingeniero Técnico de Minas

Gallego Preciados Algora, Juan Manuel
Sillero Arroyo, Andrés

Ingenieros Técnicos Obras Públicas

Carrero Crespo, Rafael
Eleno Silvo, Montserrat
Estudillo Herrera, Francisco José
Galán de Cáceres, M^a del Puerto
González Isabel, Germán
González Nuño, Luis
Gutiérrez Garrosa, Raul
Magro Oliveros, Pedro
Mata Soriano, Juan Carlos
Mazuecos Salas, Ildefonso
Montiel Sánchez, Ernesto
Muñoz Mesto, Angel
Ortiz del Campo, Natalia
Pardo Losada, José Manuel
Ramos Valdés, Raquel
Rivera Jiménez, Marta

Romero García, Daniel
Rosa Moreno, José Andrés
Rozas Hernando, José Juan
Salgado Vinuesa, Beatriz
Sánchez Tomé, Elena
Sánchez Vicente, Andrés
Sillero Olmedo, Rafael
Soto López, Elena del
Vaquero Andrés, Laura
Vicente Girón, Susana
Zapatera Alvarez, M^a José

Ingeniero Técnico de Telecomunicación

Vicent Cantero, Francisco José

Ingenieros Técnicos Topógrafos

Blasco Talaván, Rubén
Barragán Bermejo, M^a Vicenta
Carreras Ruiz, Francisco
Lana Campos, Rebeca
López Jiménez, Luis
Molero Vicente, M^a Isabel
Perazzo Puncel, José Luis
Ruiz Iglesias, Antonio
Sánchez Martín, María de la O
Shaw Molina, María Belén
Torés Campos, Ana M^a
Vicente Conde, M^a Isabel
Vidania Muñoz, Juan M^a

Técnicos en Administración de Empresas

Cebrián Sobrino, M^a José
González del Olmo, M^a de la Peña de F.

Técnico en Publicidad

Blanco Armas, Cristina

Topógrafo

Alquézar Falceto, Ricardo

NOTA: Todo el personal de INTEMAC trabaja en dedicación completa y exclusiva, con la excepción de las personas arriba indicadas con*, a las que se autoriza la dedicación a la Enseñanza Universitaria en régimen de dedicación parcial.

CUADERNOS INTEMAC

CUADERNOS INTEMAC es una publicación trimestral, bilingüe en español e inglés, en forma de monografías que recogen trabajos realizados por los técnicos del Instituto o presentados en los Cursos y Conferencias organizados por el mismo.

Los temas tratados cubren tanto el campo de las Obras Públicas como el de la Edificación y sus Instalaciones.

Precio de la suscripción Año 2005: 27 €



ULTIMOS TITULOS PUBLICADOS

Cuaderno N° 57

"Influencia del tipo de refrentado y de la clase de probeta: cúbica o cilíndrica, en la medida de la resistencia del hormigón".

Autores: CLAUDIA PATRICIA GARAVITO; Dra. Ing. de Caminos, J. CALAVERA RUIZ Dr. Ing. de Caminos.

Cuaderno N° 58

"Sistema de posicionamiento global. Fundamentos y aplicación en obras de ingeniería".

Autores: E. LÓPEZ-CANTÍ CASAS; P. VALDÉS FDEZ. DE ALARCÓN.

CUADERNOS DE PROXIMA APARICION

Cuaderno N° 59

"Las pruebas de carga de recepción de las estructuras de la circunvalación de Madrid M-50 y las radiales R-3 y R-5".

Autores: ÁNGEL HUERTOS RODRÍGUEZ, Ing. Tec. O.P., J. LEY URZAIZ Dr. Ing. de Caminos,

JOSÉ JUAN ROZAS HERNANDO, Ing. Tec. O.P.

Consulte lista completa de la Colección

Cuaderno N° 60

"Recintos y huecos para instalaciones en edificios de viviendas".

Autores: G. MARTÍ ESTÉVEZ; Ing. ICI F. VALENCIANO CARLES. Ing. Industrial

MONOGRAFÍAS INTEMAC

A partir de junio de 1998 INTEMAC emprendió una nueva línea de publicaciones con un carácter eminentemente práctico, destinadas a tratar temas muy concretos que, o bien presentan un nivel de problemas acusados en la práctica, o bien están insuficientemente cubiertos por la Normativa y la documentación técnica existente.

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 5

"Mantenimiento y reparación de paramentos de hormigón".

Autores: R. Barrios Corpa, C. Beteta Cejudo, E. Díaz Heredia, Prof. J. Fernández Gómez, J. M^a. Rodríguez Romero.

Precio de la Monografía 33 €

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 6

"Patología, técnicas de intervención y limpieza de fábricas de ladrillo".

Autores: P. López Sánchez, J. M^a. Luzón Cánovas, I. Martínez Pérez, A. Muñoz Mesto, A. Fernández Sáez.

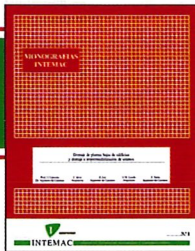
Precio de la Monografía 33 €

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 7

"Estructuras de madera".

Autores: J. M^a. Izquierdo y Bernaldo de Quirós.

Precio de la Monografía 33 €



NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT

En INTEMAC se producen, con frecuencia, notas de información sobre temas que pensamos que no solamente tienen una utilidad interna sino que pueden resultar interesantes para muchos Técnicos de la Construcción.

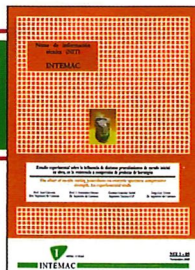
NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT 1 (05)

"Estudio experimental sobre la influencia de distintos procedimientos de curado inicial en obra, en la resistencia a compresión de probetas de hormigón".

Autores: J. Calavera Ruiz, J. Fernández Gómez, G. González Isabel, J. Ley Urzaiz

Edición bilingüe (español e inglés) en color.

Precio 11 €



NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT 2 (05)

"El Incendio del Edificio Windsor de Madrid. Investigación del comportamiento al fuego y de la capacidad resistente residual de la estructura tras el incendio".

Autores: J. Calavera Ruiz, E. González Valle, J. Díaz Lozano, J. L. Cano Muñoz, J. Fernández Gómez, J. M^a. Izquierdo y Bernaldo de Quirós, J. Ley Urzaiz.

Edición bilingüe (español e inglés) en color.

Precio 15,5 €

VÍDEOS TÉCNICOS

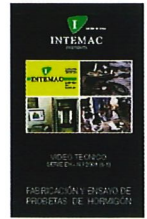
Muestreo de hormigón fresco. Fabricación y ensayo de probetas de hormigón.

N° 2001 (1-1)

Contempla de forma completa y detallada el proceso de toma de muestras de hormigón fresco en obra, la medida de la consistencia con el Cono de Abrams, fabricación de probetas, curado en obra, transporte al laboratorio, curado en cámara, refrentado y ensayo a compresión.

Esta nueva versión del vídeo 8801 (1), introduce las modificaciones de EHE y un sistema de estudio de la distribución de presiones de la prensa sobre la probeta así como los aspectos particulares del ensayo de hormigones de alta resistencia.

30 minutos - 25 €



Fabricación y control de calidad de barras y mallas para hormigón armado.

N° 2002 (1-2)

Muestra el proceso de laminación en fábrica de las barras y alambres, la fabricación de mallas y los ensayos de tracción, doblado, arrancamiento de nudos y determinación de las características geométricas del corrugado y el ensayo de Beam-test para la determinación de las características de adherencia.

30 minutos - 25 €



Compresión centrada en hormigón armado.

N° 2002 (1-4)

Contempla la rotura de siete pilares a escala real, variando resistencias de hormigón desde 25 N/mm² a 100N/mm², las cuantías de armaduras, la separación de estribos y la velocidad de carga conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

35 minutos - 25 €

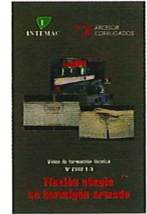


Flexión simple en hormigón armado.

N° 2002 (1-3)

Incluye el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes cuantías y diferentes desarrollos de adherencia conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

35 minutos - 25 €

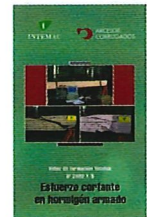


Esfuerzo cortante en hormigón armado.

N° 2002 (1-5)

Muestra el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes formas de rotura por corte (Tracción diagonal, corte flexión, compresión diagonal, etc.) conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

25 minutos - 25 €



BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO

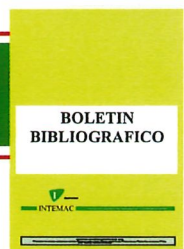
INTEMAC viene realizando desde su fundación un BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO para uso interno, que ofrece, en una lectura rápida, un panorama general de todas las publicaciones técnicas disponibles. Desde 1991, esta publicación bimestral, ha sido puesta a disposición del público.

EL BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO incluye:

Fotocopia del índice y de los resúmenes de los artículos contenidos en las 105 revistas técnicas que se reciben en el Instituto referentes a los campos de la Edificación, Instalaciones, Obras Públicas y Urbanismo. Una sección de Normativa reciente, nacional y extranjera. Secciones de Bibliografía y Cursos.

Una sección de Congresos, Reuniones Técnicas y Ferias de próxima celebración en todo el mundo.

Tarifa de suscripción anual (6 números) 152 €





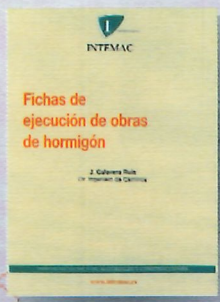
Nueva edición

Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado

2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 120 €

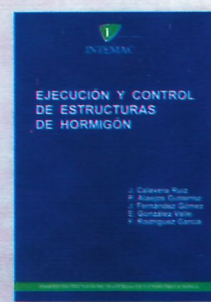


Nueva publicación

Fichas de ejecución de obras de hormigón

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 30 €



Nueva publicación

Ejecución y control de estructuras de hormigón

J. Calavera, P. Alaejos Gutiérrez,
J. Fernández Gómez, E. González Valle,
F. Rodríguez García

Precio: 100 €



Manual para la redacción de informes técnicos en construcción

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 72 €



Manual de Ferralla

3ª edición

J. Calavera, E. González Valle,
J. Fernández Gómez, F. Valenciano

Precio: 38 €



Proyecto de estructuras de hormigón con armaduras industrializadas

J. Calavera, E. González Valle,
J. Fernández Gómez, F. Valenciano

Precio: 47 €



Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación

5ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 100 €



Evaluación de la capacidad resistente de estructuras de hormigón

J. Fernández Gómez, G. González Isabel,
F. Hostalet Alba, J. M. Izquierdo, J. Ley Urzaiz

Precio: 58 €

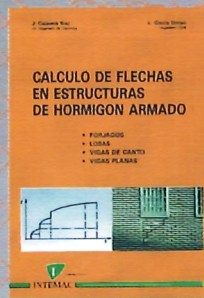


Muros de contención y muros de sótano

3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

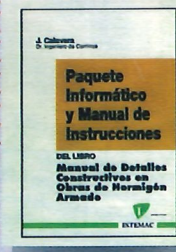
Precio: 71 €



Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)
L. García Dutari (Ingeniero Civil)

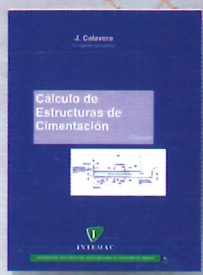
Precio: 50 €



Manual de detalles constructivos en obras del hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Libro: 112 € - Paquete informático: 198 €

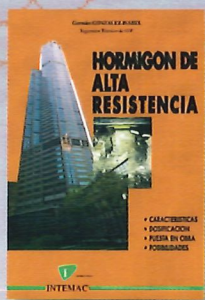


Cálculo de estructuras de cimentación

4ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 71 €



Hormigón de alta resistencia

G. González-Isabel (Ingeniero Técnico de O. P.)

Precio: 44 €



Tecnología y propiedades mecánicas de hormigón

A. Delibes (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 54 €



INTEMAC

Mario Roso de Luna, 29, Ed. 12 - 28022 MADRID
TEL.: 91 327 74 00 • FAX: 91 327 74 20
e-mail: intemac@intemac.es

www.intemac.es