



## JORNADA TÉCNICA SOBRE INSPECCIONES DE PUENTES.

VALENCIA . 9 de Mayo de 2011

Campañas de ensayos y auscultaciones para la caracterización de daños en puentes



Prof. Jorge Ley Urzaiz  
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Director del Laboratorio  
del Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (INTEMAC)

## 1. INTRODUCCIÓN

El envejecimiento progresivo de nuestros puentes obliga a su mantenimiento, reparación y/o refuerzo o sustitución dependiendo de la trascendencia estructural de los daños que presenten o de su falta de funcionalidad.

Para hacernos una primera idea de estas necesidades de actuación será positivo refrescar algunos datos sobre el estado actual de la situación de nuestras estructuras.

En España en la Red de Carreteras del Estado existen aproximadamente unos 12.000 puentes de los cuales 7.200 son de hormigón (armado o postesado), 3.900 de piedra y 900 de tipologías diversas (metálicos, mixtos, etc).

En el año 1995, D. Francisco Criado Ballesteros, entonces Subdirector de Conservación y Explotación del Ministerio ya indicaba la necesidad de acometer en los próximos ocho años actuaciones de rehabilitación estructural por importe de 76 millones de euros, frente a los 210 millones de euros que en ese periodo de tiempo deberían destinarse a las pequeñas reparaciones y actuaciones preventivas (reparación de juntas, sellados, inyecciones, impermeabilización de tableros, etc).

Como orden de magnitud el valor patrimonial de nuestros puentes (hablando exclusivamente de la Red de Carreteras del Estado), puede ser cifrado en 12.000 Ud x 500 m<sup>2</sup>/Ud x 1000 €/m<sup>2</sup> = 6.000 Millones de Euros. Aplicando a este valor patrimonial los porcentajes habituales de los costes de gestión de puentes llegaremos a las siguientes cifras:

- \* Inspección: **3 Millones de euros anuales.**
- \* Conservación, pequeñas reparaciones, investigación de las mismas: **30 Millones de Euros anuales.**
- \* Reconstrucción, Ampliación, Refuerzo y grandes reparaciones: **90 Millones de euros anuales.**

Ello significaría que un presupuesto anual adecuado para la Conservación, Rehabilitación y Gestión de Puentes superaría los **123 Millones de Euros**, cantidades muy superiores a las que en la actualidad dispone el Ministerio.

Por todo lo anterior, un esfuerzo añadido que debe realizarse es que el escaso dinero que se invirtiera tanto en inventario como en inspecciones principales y especiales y en proyectos de rehabilitación y/o ampliación se utilizase de la mejor forma posible.

## 2. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE UN PUENTE

Como ya se ha indicado en ponencias anteriores el proceso comúnmente aceptado de evaluación estructural de un puente consta de las siguientes etapas.

1. Inspección preliminar "in situ"
2. Recopilación y análisis de la documentación existente incluyendo historia de cargas, operaciones de mantenimiento y eventuales reparaciones y/o ampliaciones o refuerzos.
3. Realización de campañas de ensayos y medida.
4. Análisis de los datos obtenidos para definir la capacidad estructural del puente y sus condiciones de durabilidad.
5. Toma de decisiones.

La complejidad del proceso antes esquematizado radica en la alta especialización necesaria para llevar a cabo todas y cada una de las etapas antes mencionadas. En la ponencia que vamos a desarrollar describiremos las campañas de ensayos más habituales y detallaremos los aspectos que habitualmente condicionan estas campañas.

### 3. TÉCNICAS DE ENSAYO MÁS COMUNES

En función de la propiedad o característica que se desee verificar, las técnicas existentes pueden ser clasificadas de la forma que presentamos en el cuadro adjunto.

PROPIEDAD OBJETO DE INVESTIGACIÓN	TÉCNICAS
Características de los materiales	Extracción de testigos Pull-out Pull-off Break-off Índice de rebote esclerométrico Velocidad de ultrasonidos Métodos combinados Gatos planos
Calidad del hormigón, durabilidad, deterioros, presencia de armaduras	Velocidad de ultrasonidos Contenido de sulfatos, contenido de aire. Tipo y contenidos de cemento Radiografía Petrografía
Corrosión	Inspección de calas Potenciales eléctricos Resistividad Recubrimientos Profundidad de carbonatación Concentración de cloruros
Integridad estructural	"Tapping" Eco-Sónico Respuesta dinámica Emisión Acústica Termoluminiscencia Termografía Rádar Medida de evolución de fisuras Pruebas de carga

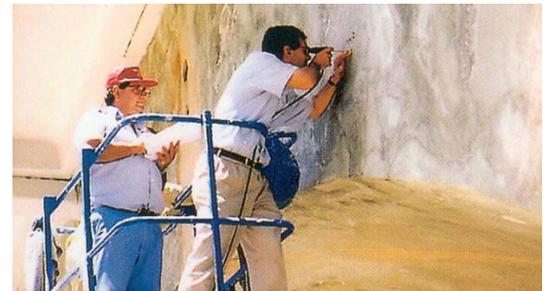
PROPIEDAD OBJETO DE INVESTIGACIÓN	TÉCNICAS
Dimensión de elementos estructurales	Localización de armaduras Sondas magnéticas Ultrasonidos
Deformación y flechas	Extensómetros Comparadores mecánicos Transductores Potenciométricos LVDT Sensores de fibra óptica GPS Láser Medidas de deformación Levantamiento o descenso de apoyos Medida de inclinaciones
Respuesta dinámica	Medidas de velocidad y aceleración Pruebas de carga dinámicas.

Dado el reducido tiempo de esta charla me circunscribiré a exponer los aspectos más relevantes de las técnicas más habituales.

#### 4. INSPECCIÓN OCULAR, SISTEMÁTICA DE LA RECOPIACIÓN DE DAÑOS.

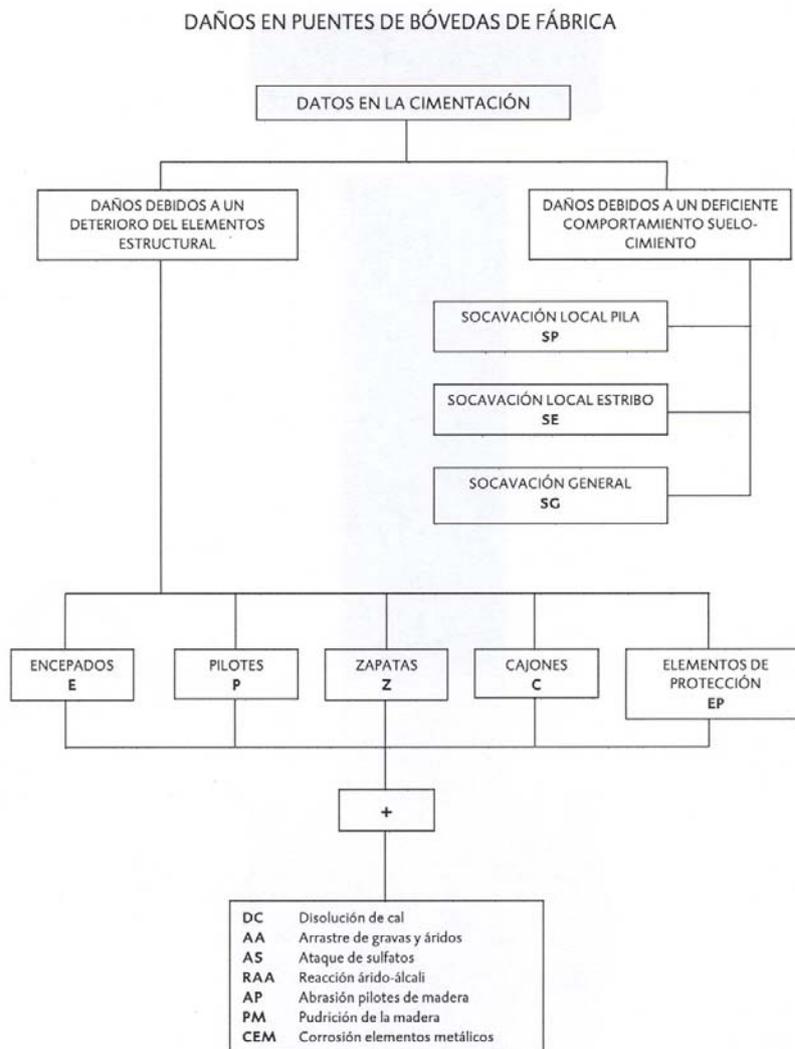
La inspección ocular debe ser realizada por técnicos especialistas con experiencia tanto en el diseño y evaluación estructural de puentes como en la investigación y estudio de la patología estructural. Sólo de la conjunción de ambas habilidades será posible realizar un correcto diagnóstico de la sintomatología que presenta la estructura investigada.

A parte de la propia dificultad técnica, en ocasiones es enormemente complejo acceder a determinadas zonas de la estructura, siendo imprescindible contar con medios auxiliares costosos.

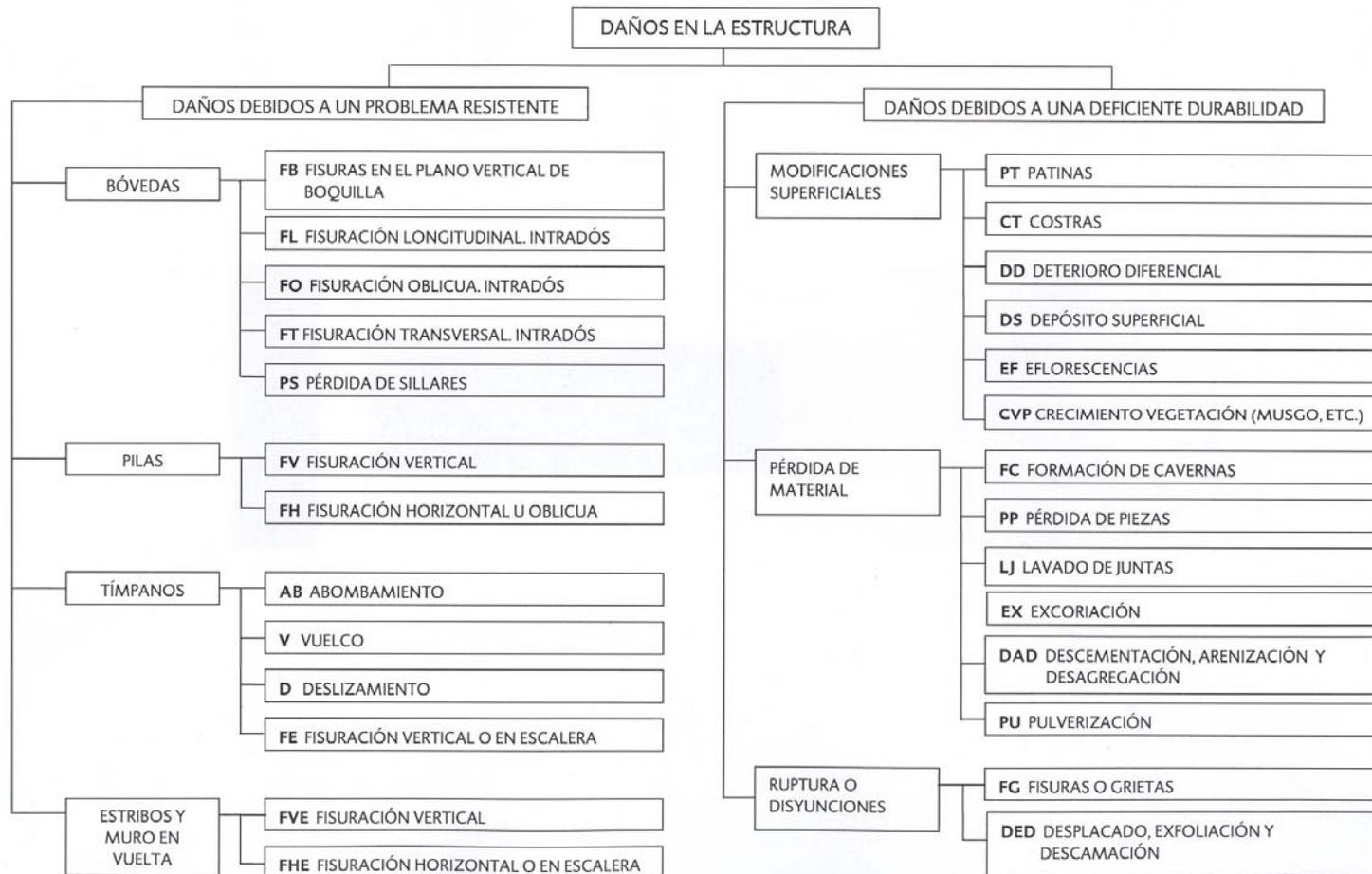


Un aspecto muy importante a tener en cuenta entonces son los costes derivados no solo de la puesta a disposición de los medios auxiliares de acceso (plataformas, grúa con cesta, etc.) sino también de la señalización y corte de tráfico.

Ante la dificultad de objetivar los resultados de la inspección la metodología más práctica es crear fichas de inspección confeccionadas para las distintas tipologías estructurales existentes. A modo de ejemplo se presentan a continuación algunas de estas fichas: (desarrollados por FHECOR e INTEMAC en la inspección de diversas estructuras y recogidas en la referencia [1])



### DAÑOS EN PUENTES DE BÓVEDAS DE FÁBRICA



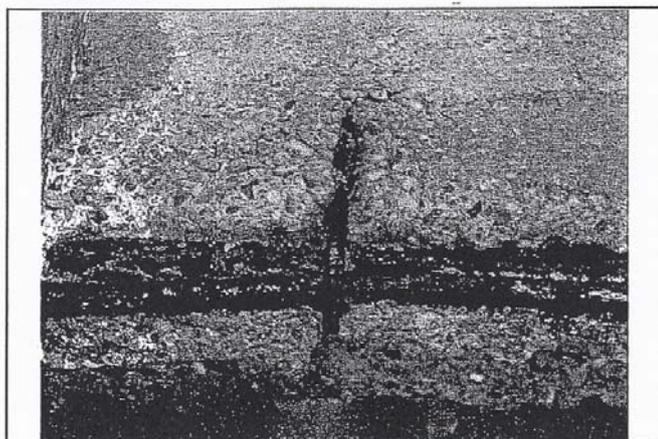
PUENTE: N0020478

DETERIORO Nº: 24

DAÑO TIPO Nº: 1

LOCALIZACIÓN: RIOSTRA ESTRIBO 2

FOTOGRAFÍA:



OBSERVACIONES:

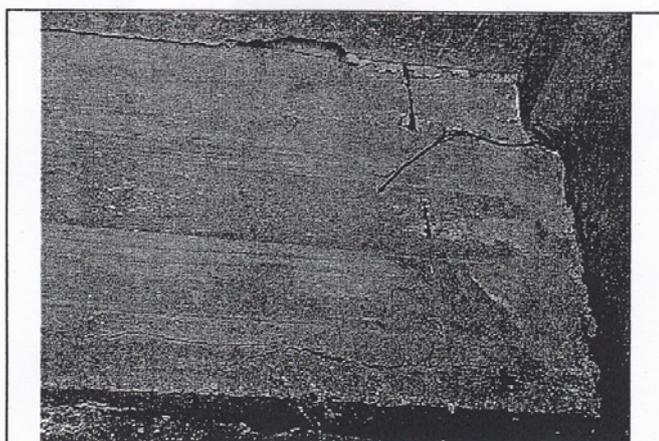
PUENTE: N0020478

DETERIORO Nº: 23

DAÑO TIPO Nº: 1

LOCALIZACIÓN: RIOSTRA ESTRIBO 2

FOTOGRAFÍA:



OBSERVACIONES:

DAÑO TIPO	NATURALEZA
1	Rotura del hormigón de recubrimiento durante la colocación de instalaciones, o durante la ejecución del puente. Falta de recubrimiento y de compacidad durante la ejecución. Los extremos de la armadura de las riostras no han sido cortados, y están a la intemperie. Posible avance del frente carbonatado hasta la posición de armaduras.
2	Roturas para colocación de instalaciones. Desprendimiento de parte del recubrimiento.
3	Falta de impermeabilidad de las juntas. Posible arrastre de sales de deshielo por el agua filtrada por las juntas.
4	Escorrentía procedente de la junta del estribo y del desagüe del tablero en estribo 1. Falta de protección del terraplén frente al agua drenada desde la calzada (cunetas de guarda, caces para conducción del agua hasta el fondo del barranco, etc.).
5	Esfuerzos en las piezas de encofrado perdido durante la ejecución. Defectos en la fabricación de dichas piezas.
6	Bloqueo de la capacidad de desplazamiento en el apoyo. Escorrentía por falta de impermeabilidad en junta. Posible ataque químico al hormigón (sales de deshielo, por ejemplo). Posible desplazamiento de la sección alta de las ménsulas.

DAÑO TIPO	EXTENSIÓN
1	Extremos de todas las riostras (dos por vano). Borde 1 (dcho.) enfrente de estribo 1. 5% de las piezas de encofrado perdido. 40% de la longitud de las impostas. 80% de la superficie de la riostra del estribo 2. El anclaje de las instalaciones ha sido dispuesto en ambos bordes del tablero, afectando a la armadura de los encofrados perdidos y la losa de tablero.
2	100% longitud de borde 1 (dcho.) del vano 1. Ambos bordes del tablero en zona de anclaje de instalaciones. Algunas piezas próximas a estribos 1 y 2.
3	Juntas de estribos y superficies de los mismos. Juntas en apoyos a media madera.
4	Principalmente en estribo 1. Aparecen cárcavas de unos 0,40 m de ancho y 0,25 m de profundidad.
5	80% de las piezas inspeccionadas.
6	Bordes de apoyo a media madera de vano 1 en pila 1. Bordes de apoyos a media madera de vano 3 en pila 3.
7	Bajo capitel de pila 3, aproximadamente 20 m <sup>2</sup> .
8	Dos fisuras inclinadas a 45° en los extremos del estribo 2 (zona de apoyo del durmiente).

La inspección ocular de detalle es, en contra de lo que comúnmente se cree, una de las fases más importantes en el estudio de un puente ya que permite confirmar el diagnóstico preliminar realizado no con tantos medios y precisar la campaña de ensayos a realizar para confirmar el origen de los daños y su trascendencia estructural.

En el caso particular de la inspección de apoyos, esta actuación permite confirmar la gravedad de los daños ya que en una mayoría de puentes los únicos apoyos accesibles son los de los estribos.

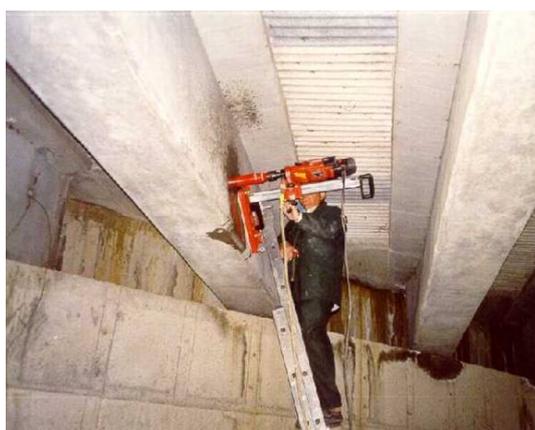


## 5. MÉTODOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES CONSTITUYENTES DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD

En este apartado pasaremos revista rápidamente a los ensayos que comúnmente se efectúan para el conocimiento de las características de los materiales tanto desde el punto de vista de la durabilidad como de la resistencia, siendo necesario en este caso distinguir si el puente es un puente de hormigón en masa o armado, de fábrica, metálico o mixto.

### a. PUENTES DE HORMIGÓN:

Los ensayos más comunes para la estimación de resistencias son la extracción de probetas testigo y su posterior ensayo a compresión. En ocasiones esta técnica se combina con la determinación de ensayos de índice de rebote esclerométrico y de velocidad de impulso ultrasónico.

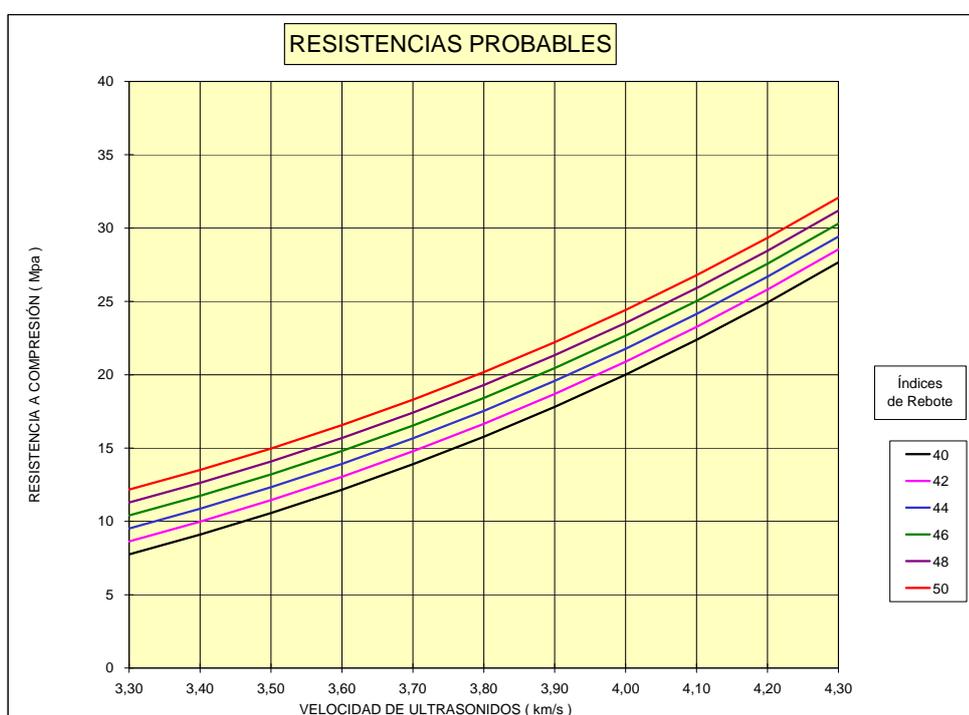


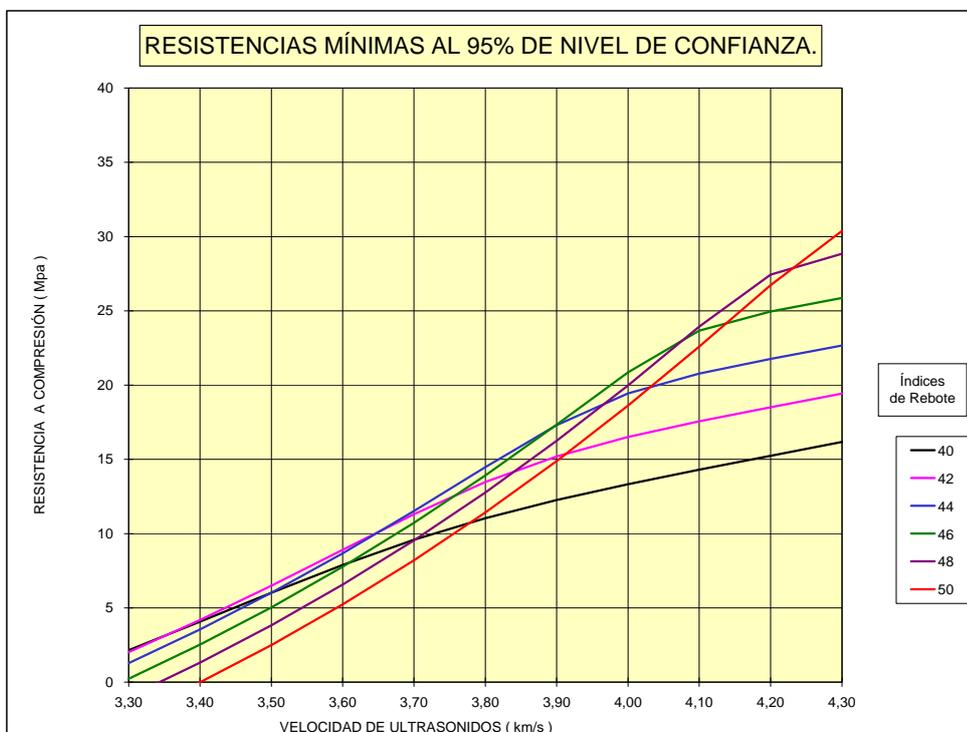
En la extracción de probetas testigo será fundamental programar los trabajos para poder obtener probetas de esbeltez (L/D) superior a 1 y diámetro al menos dos veces superior al tamaño máximo de árido.

La utilización de métodos combinados ensayo a compresión de probetas testigo, índice de rebote y velocidad de impulso ultrásónico permite reducir el número de ensayos no destructivos y abaratar los estudios. En las siguientes gráficas vemos un ejemplo real.

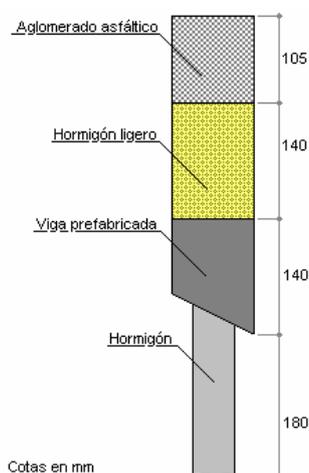
$$f_c = 0,089 V_p^4 + 0,441 I_r - 20,453$$

#### REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL AJUSTE OBTENIDO





La extracción de probetas testigo permite además de realizar los ensayos mecánicos y fisicoquímicos para estudiar las condiciones de seguridad y durabilidad de los hormigones, determinar por la inspección visual de las probetas las distintas capas de materiales que constituyen el tablero, observar la macroporosidad del hormigón, etc.



Normalmente los ensayos encaminados a determinar la durabilidad de los hormigones precisan de la extracción de probetas testigo. Es básico entonces escoger las zonas de extracción en función de la exposición de los elementos, ya que de lo contrario se obtendrán resultados anómalos.

Para caracterizar la durabilidad de los hormigones es fundamental la determinación de los recubrimientos reales, la determinación de la profundidad de carbonatación y la realización de los perfiles de cloruros (contenido de cloruros a distinta profundidad). Los ensayos de permeabilidad, resistividad y medida de potenciales de corrosión, también son ensayos habitualmente realizados para calibrar los distintos modelos de degradación. La microscopía electrónica, la difracción de rayos X y la termogravimetría son ensayos que, entre otros, se efectúan para estudiar patologías relacionadas con ataques árido-álcali y ataques por sulfatos. Obviamente la determinación de la porosidad, densidad y contenido de cemento son también ensayos muy habituales para estos menesteres.



La técnica del Impacto-Eco utiliza el impacto de un objeto, en general, una esfera de acero de pequeño tamaño sobre el objeto de ensayo. Al impactar la esfera en su superficie, se origina una onda pulsatoria que rebota en los bordes de la pieza. Si se coloca un transductor adecuado en la superficie de la pieza (normalmente un acelerómetro piezoeléctrico) se pueden registrar los desplazamientos ocasionados por la onda procedente de la reflexión en el fondo de la pieza o allá donde exista un cambio brusco de densidad, una coquera, etc. Estudiando en el dominio de la frecuencia las señales obtenidas puede obtenerse el espesor del elemento, o la profundidad a la que se encuentre el defecto, en particular la existencia de delaminaciones o juntas frías en tableros de hormigón.



### b. PUENTES DE FÁBRICA

En el caso de los puentes de fábrica en general los niveles tensionales son bajos y basta con caracterizar mecánicamente los morteros y las piezas de fábrica. No obstante, en ocasiones se realizan ensayos de gatos planos (de difícil interpretación) y en ocasiones especiales se sacan muestras de material para valorar la resistencia última de las fábricas.



### c. PUENTES METÁLICOS

En el caso de los puentes metálicos dependiendo de su época de construcción es habitual tomar muestras para caracterizar mecánicamente el acero y valorar la posible soldabilidad del mismo.

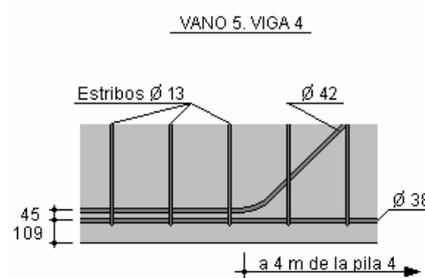
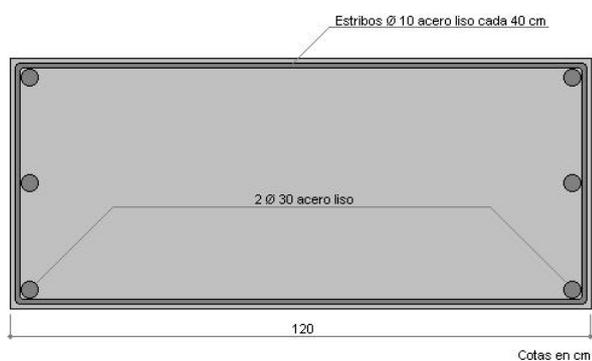




## 6. LA INSPECCIÓN DE CALAS EN LOS PUENTES DE HORMIGÓN

La inspección de calas en puentes de hormigón es absolutamente imprescindible tanto para verificar la fiabilidad de la documentación que se posea como para obtener la información sobre los esquemas de armado si es que no se posee dicha información.

La apertura de las calas debe estar siempre supervisada por un técnico competente que valore la eventual pérdida de capacidad del elemento inspeccionado. En general se combina con la inspección con sonda magnética (pachómetro) y es muy importante que el inspector conozca la tipología de los esquemas de armado de la época del puente objeto de estudio, ya que de lo contrario, o no obtendrá la información suficiente en campo o realizará un daño innecesario al elemento estructural.

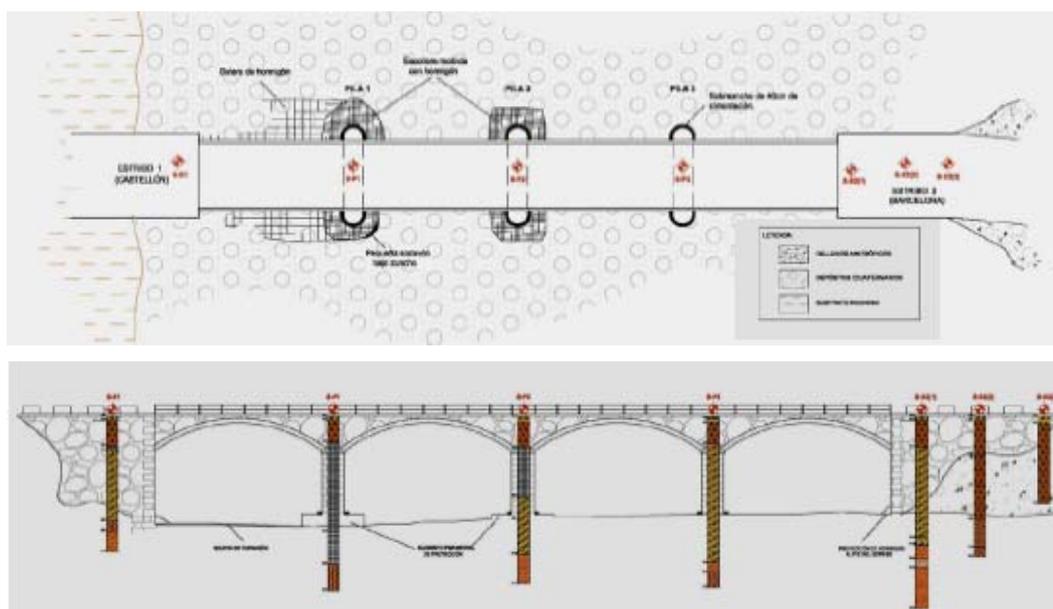


Recubrimientos laterales  
Barras principales: 40 mm  
Estribos: 10 mm



## 7. LAS CAMPAÑAS GEOTÉCNICAS

Siempre que se observe alguna sintomatología de daños asociada a eventuales asientos de la cimentación del puente o a su socavabilidad será necesario efectuar campañas de reconocimiento geotécnicos. Las campañas geotécnicas implican en general cortes de tráfico y señalización de los desvíos. Además dado el personal y equipos que se materializan son actividades costosas. En puentes de fábrica es muy habitual realizar los sondeos desde el tablero en la vertical de la pila para caracterizar el material de relleno de las bóvedas y caracterizar también la constitución de las pilas.





En ocasiones el sondeo realizado se utiliza para introducir una cámara por el sondeo y poder observar las eventuales oquedades detectadas:



Obsérvese la cámara diseñada para poder ser introducida en el sondeo.



Realización del ensayo.



Equipo introducido en el sondeo.



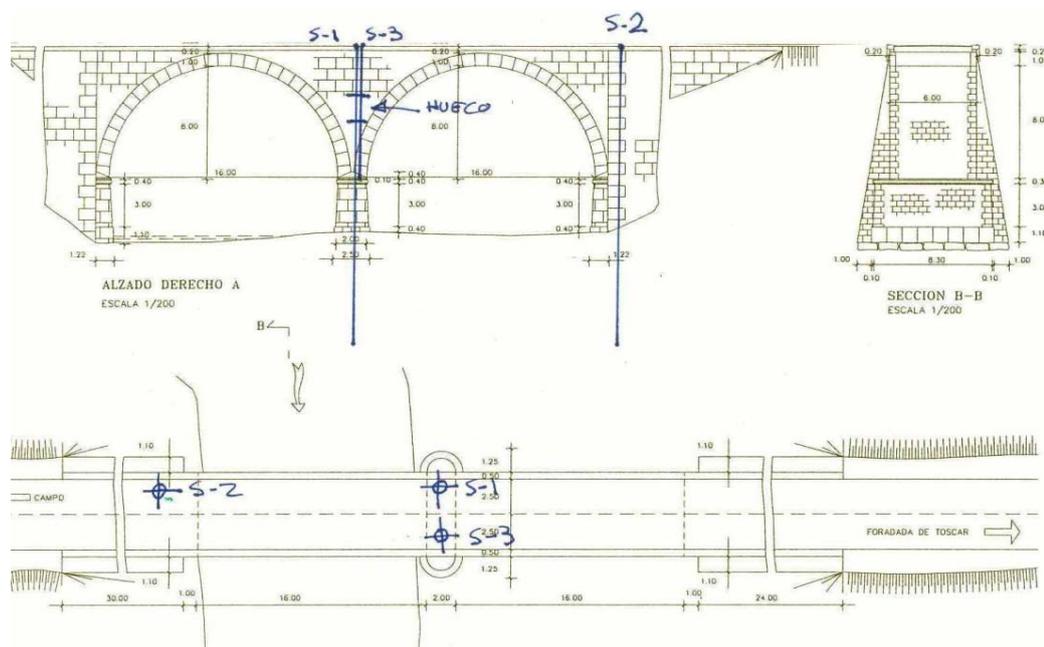
Vista desde el interior de la arcada ciega.



Vista del encuentro entre la arcada y el tímpano que la ciega.



Detalle del aparejo de la mampostería de la arcada.



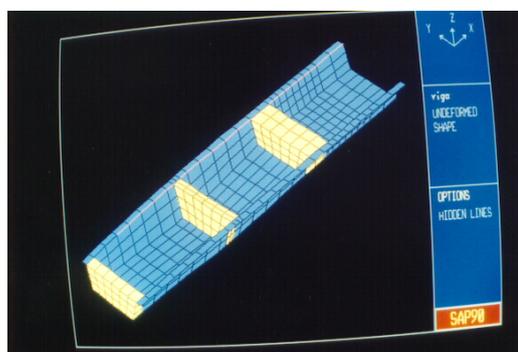
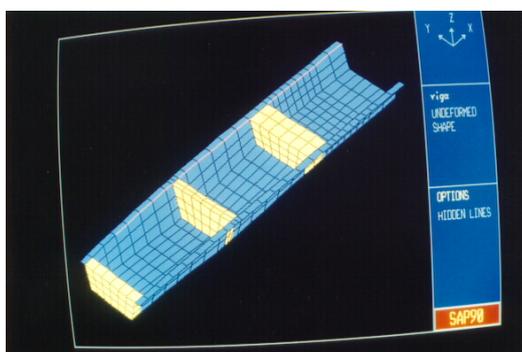
## 8. LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE CARGA CON EQUIPOS ESPECIALES:

Una técnica validada en diversos estados de U.S.A para caracterizar estructuralmente los puentes consiste en la realización de pruebas de carga estáticas con equipos con apreciación suficiente para emitir juicios técnicos muy bien fundados. La idea esencial es verificar que la integridad estructural del puente cuestionado por su aspecto aparente (p.e. corrosión generalizada que cuestione el anclaje de armaduras, uniones metálicas corroidas, etc) es suficientemente buena para mantenerlo en servicio, siempre que al haberlo sometido a la prueba de carga citada, su comportamiento haya sido el esperado a partir de un modelo adecuado. Los equipos utilizados curiosamente son muy semejantes a los que en España se utilizan para la realización de las pruebas dinámicas en los puentes de ferrocarril.

Los profesores Aparicio y Casas ya en el año 1991 expusieron los resultados de diversas pruebas dinámicas realizadas con equipos similares en España que mediante la comparación entre el resultado de los modelos previos y la respuesta real de las estructura, permitían deducir la extensión y alcance de algunas anomalías difícilmente contrastables.

INTEMAC también ha utilizado estas técnicas para fundamentalmente a partir de los valores obtenidos de la frecuencia propia de estructuras presuntamente dañadas valorar las actuaciones a seguir. También las hemos empleado con éxito para validar las condiciones de seguridad de algún puente metálico de muy difícil inspección. Los resultados obtenidos no solo en las pruebas dinámicas sino también las deformaciones obtenidas a partir de las bandas extensométricas colocadas en diversos elementos han permitido verificar en pruebas estáticas que las hipótesis formuladas a la hora de realizar los modelos habían sido correctas.

Como ya se ha indicado, antes de las citadas pruebas el primer trabajo a desarrollar es la modelización de la estructura y la caracterización de los materiales. Especialmente necesario en puentes de hormigón es la caracterización del módulo de deformación real del hormigón, ya que el trabajar con los datos de proyecto puede invalidar las conclusiones a que se lleguen.



El proyecto y ejecución de las pruebas dinámicas y estáticas deben ser realizados por equipos técnicos con experiencia acreditada en este campo.

En general en las pruebas dinámicas la estructura se excitará haciendo circular un camión de peso comprobado recorriendo el puente en las siguientes velocidades:

- Velocidad lenta  $\leq 5$  Km/h (prueba cuasiestática)
- Velocidad media: entre 30 y 40 km/h y salto sobre tablón normalizado RILEM
- Velocidad rápida  $> 90$  Km/h

Para la determinación de las frecuencias propias y del amortiguamiento estructural podrá disponerse en la calzada un obstáculo transversal a la marcha del camión, o bien excitarse la estructura mediante elementos mecánicos, hidráulicos, suelta repentina de peso, acción de frenado, etc.



Paso de un camión sobre el tablón RILEM

## Equipos e instrumental

Normalmente se emplean acelerómetros piezoeléctricos o extensométricos con apreciación de 0,05 Hz y rango de 0 a 40 Hz como los que se observan en la fotografía.



Si se desean obtener coeficientes de impacto es recomendable medir flechas o velocidades. Esto puede realizarse bien mediante el uso de transductores que refieren el tablero del puente al terreno a través de cables bien mediante el uso de transductores Láser que mediante interferometría obtienen los valores buscados. En las fotografías siguientes se pueden observar equipos como los citados:



Transductor láser



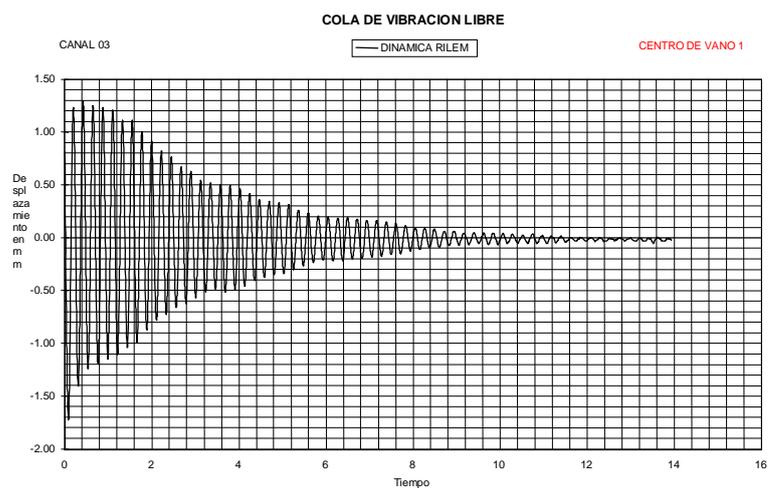
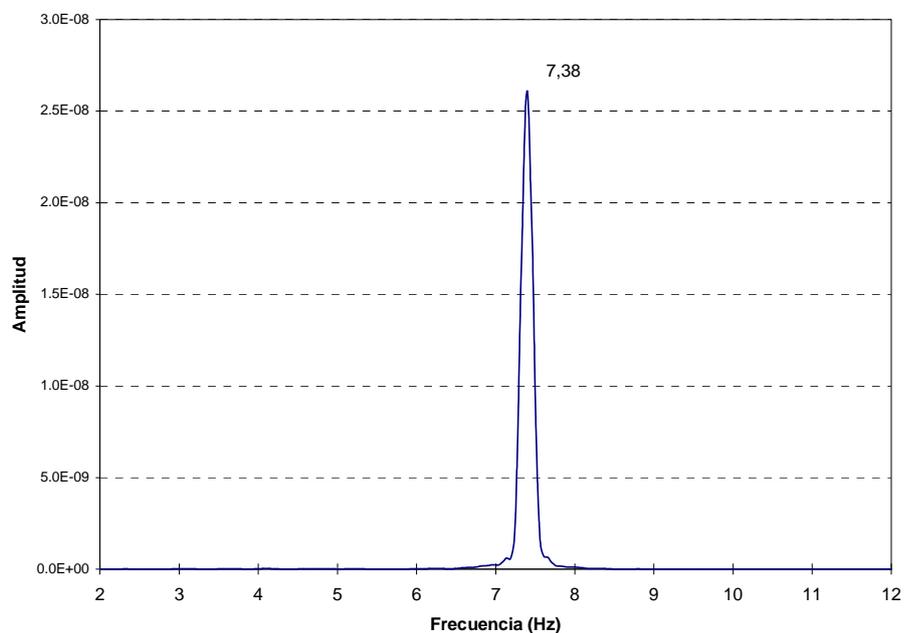
Transductor de desplazamiento convencional

Los equipos deberán posibilitar la obtención de registros de señales que permitan su estudio mediante un ordenador o analizador adecuado. La duración de los registros deberá ser la suficiente para que refleje, sin interrupción, las condiciones iniciales, el desarrollo del ensayo y la zona de amortiguamiento final.

Como mínimo se obtendrán 200 lecturas por segundo y punto de medida. El equipo de adquisición de datos proporcionará el valor de la frecuencia fundamental de vibración con una precisión mínima de 0,05 Hz.

En las figuras siguientes se observan parámetros dinámicos obtenidos en pruebas reales:

**RESPUESTA DE FRECUENCIA. PASO SUPERIOR P.K. 327+425  
CANAL 09. ENSAYO DINAMICO DE IMPACTO RILEM. VANO 1.**



## 9. COSTES DE ALGUNOS DE LOS TRABAJOS COMUNES EN LA INVESTIGACIÓN ESTRUCTURAL DE PUENTES:

Como ya se ha indicado anteriormente el proceso de evaluación de un puente consta de diversas etapas; a continuación se señala el coste de las actividades que más frecuentemente se realizan así como los precios de algunos ensayos y medios auxiliares comúnmente empleados. Estos precios son precios de ejecución material, a los que habría que añadir un 6% de gastos generales, un 13% de beneficio industrial y el correspondiente I.V.A.

	ACTIVIDAD			
		Prec. Unitario	Nº Unidades	Sub. Total
Ud.	Recopilación y análisis de la información existente			
H.	de Técnico Superior de más de 10 años de experiencia	50	4	200
H.	de Técnico Superior de más de 5 años de experiencia	40	4	160
H.	de Técnico de Grado Medio de más de 5 años de experiencia	35	16	560
H.	de Auxiliar Administrativo	20	15	300
			<b>Total:</b>	<b>1220</b>
Ud.	Inspección visual de estructura			
H.	de Técnico Superior de más de 10 años de experiencia	50	2	100
H.	de Técnico Superior de más de 5 años de experiencia	40	24	960
H.	de Técnico de Grado Medio de más de 5 años de experiencia	35	24	840
H.	de Auxiliar Técnico	25	16	400
H.	de Auxiliar Administrativo	20	8	160
Ud.	de dieta	90	4	360
Km.	de desplazamiento	0,25	300	75
			<b>Total:</b>	<b>2895</b>
Ud.	Análisis y evaluación estructural			
H.	de Técnico Superior de más de 10 años de experiencia	50	85	4250
H.	de Técnico Superior de más de 5 años de experiencia	40	20	800
H.	de Técnico de Grado Medio de más de 5 años de experiencia	35	15	525
H.	de Auxiliar Técnico	30	45	1350
			<b>Total:</b>	<b>6925</b>
Ud.	Informe de Inspección especial ( ensayos y evaluación aparte)			
H.	de Técnico Superior de más de 10 años de experiencia	50	32	1600
H.	de Técnico Superior de más de 5 años de experiencia	40	24	960
H.	de Técnico de Grado Medio de más de 5 años de experiencia	35	32	1120
H.	de Delineante Proyectista	30	24	720
H.	de Auxiliar Administrativo	20	15	300
			<b>Total:</b>	<b>4700</b>
Ud.	Proyecto de rehabilitación			
H.	de Técnico Superior de más de 10 años de experiencia	50	40	2000
H.	de Técnico Superior de más de 5 años de experiencia	40	100	4000
H.	de Técnico de Grado Medio de más de 5 años de experiencia	35	80	2800
H.	de Delineante Proyectista	30	60	1800
H.	de Auxiliar Técnico	30	80	2400
H.	de Delineante	20	80	1600
H.	de Auxiliar Administrativo	20	40	800
			<b>Total:</b>	<b>15400</b>

<b>Medios de acceso especiales</b>	
Puesta a disposición de barca o medio de inspección acuática, incluso transporte hasta emplazamiento (PA)	760,00
Prestación de servicios de barca o medio de inspección acuática (día)	530,00
Puesta a disposición de equipo de toma de datos en altura (PA)	760,00
Prestación de servicios de equipo de toma de datos en altura (día)	650,00
Puesta a disposición de equipo de inspección subacuática, incluyendo todos sus medios auxiliares propios, y, específicamente, las barcas, incluso redacción del informe de interpretación de resultados (PA).	4800,00
Prestación de servicio del equipo de inspección subacuática, (día).	760,00
Puesta a disposición de grúa autopropulsada con cesta de alcance en altura hasta 15 m (PA).	250,00
Prestación de servicio de grúa autopropulsada con cesta de alcance en altura hasta 15 m (día)	160,00
Prestación de servicio de grúa autopropulsada articulada con cesta de alcance hasta 25 m de distancia (día)	250,00
Puesta a disposición de pasarela de inspección (PA)	1590,00
Prestación de servicio de pasarela de inspección (día)	2230,00
Puesta a disposición de plataforma elevadora de trabajo hasta 10 m de altura (Ud.)	240,00
Prestación de servicio de plataforma elevadora de trabajo hasta 10 m de altura (día)	160,00
Puesta a disposición de equipo de desbroce (PA)	130,00
Prestación de servicio de equipo de desbroce (día).	240,00
<b>Ejecución de pruebas de carga</b>	0,00
Realización de prueba de carga en marco o pórtico de hormigón armado (Ud)	1290,00
Realización de prueba de carga en puente isostático de un vano de luz $\leq 20$ m o en el 1er vano de un puente de varios vanos isostáticos de luces $\leq 20$ m (Ud)	1930,00
Realización de prueba de carga en puente isostático de varios vanos por cada vano de luz $\leq 20$ m, excepto el primer vano (Ud.)	650,00
Realización de prueba de carga en puente isostático de un vano de luz $> 20$ m o en el 1er vano de un puente de varios vanos isostáticos de luces $> 20$ m (Ud.)	3170,00
Realización de prueba de carga en puente isostático de varios vanos por cada vano de luz $> 20$ m, excepto el primer vano (Ud)	800,00
Realización de prueba de carga estática y dinámica en pasarela peatonal (Ud) incl informe	3720,00
Realización de prueba de carga en puente hiperestático de hasta 4 vanos de luz máxima $\leq 40$ m (Ud)	9150,00
Realización de prueba de carga en puente hiperestático de más de 4 vanos de luz máxima $\leq 40$ m, por cada vano en exceso de los 4 primeros (Ud.)	900,00
Realización de prueba de carga en puente hiperestático de hasta 4 vanos de luz máxima $> 40$ m (Ud.)	18600,00
Realización de prueba de carga en puente hiperestático de más de 4 vanos de luz máxima $> 40$ m, por cada vano en exceso de los 4 primeros (Ud.)	1100,00
Puesta a disposición y prestación de servicio de vehículo de suministro de carga (día)	530,00
<b>Toma de muestras</b>	
<b>Hormigón o fábrica</b>	
Puesta a disposición de equipo de toma de muestras de hormigón o fábrica incluso redacción de informe de interpretación de los resultados (PA)	1750,00
Extracción de probetas testigo en hormigón o fábrica mediante sonda de diámetro $\leq 100$ mm y hasta 1.200 mm de longitud incluso relleno de taladro con mortero especial (Ud.)	160,00
Extracción de probetas testigo en hormigón o fábrica mediante sonda de diámetro $> 100$ mm y hasta 1.200 mm de longitud incluso relleno de taladro con mortero especial (Ud.)	230,00
Toma de muestra superficial de hormigón o fábrica (Ud)	40,00
Realización de cala de longitud hasta 50 cm en estructura de hormigón armado o pretensado hasta descubrir armadura (Ud.)	180,00
Toma de muestra de acero pasivo incluyendo apertura de cala y reposición del recubrimiento con mortero especial (Ud.)	270,00

<b>Estructura metálica</b>	
Puesta a disposición de equipo de toma de muestras en estructura metálica (Ud.)	1200,00
Toma de muestra en estructura metálica de tamaño < 500 cm <sup>2</sup>	270,00
<b>Geotecnia</b>	
Puesta a disposición de equipo de sondeos (PA)	1800,00
Sondeo a rotación en suelo o roca hasta 40 m de profundidad con extracción continua de testigos, toma de muestras inalteradas o parafinadas cada 2 m y ejecución de SPT cada 2 m, incluso cajas (m).	160,00
Puesta a disposición de equipo para ejecución de catas (PA)	230,00
Realización de catas en cualquier tipo de terreno hasta 3 m de profundidad (Ud.)	270,00
Realización de calicata para la determinación de las dimensiones de cimentación hasta 3 m de profundidad (Ud.)	460,00
Sondeo a rotación en materiales sueltos (bolos, gravas, escollera, ..... ) hasta 40 m de profundidad con extracción continua de testigos, toma de muestras inalteradas o parafinadas cada 2 m y ejecución de SPT cada 2 m, incluso cajas (m).	240,00
<b>Métodos especiales de inspección. Ensayos "in situ"</b>	
<b>En hormigón o fábrica</b>	
Puesta a disposición de equipo especial de inspección o de realización de ensayos in situ en hormigón o fábrica, incluso redacción de informe con la interpretación de los resultados (PA)	1750,00
Inspección mediante endoscopio incluido taladro de D <=100 mm y longitud máxima de 1.200 mm y relleno de taladro con mortero especial (Ud.)	200,00
Determinación de la velocidad de ultrasonido en hormigón (Ud.)	40,00
Realización de ensayo pull-off para verificación de agarre del mortero (Ud.)	220,00
Realización de ensayo "impacto-eco" (Ud.)	35,00
Determinación de la intensidad de corrosión, resistividad eléctrica y potencial de corrosión en armadura (m <sup>2</sup> ).	270,00
<b>En estructuras metálicas</b>	
Puesta a disposición de equipo especial de inspección o de realización de ensayos in situ en elemento metálico, incluso redacción de informe con la interpretación de los resultados (PA).	1750,00
Determinación del espesor remanente de acero mediante ultrasonido (Ud.)	20,00
Ensayo de ultrasonido en roblones (Ud.)	20,00
Ensayo de líquidos penetrantes en soldadura (m).	50,00
Ensayo de chequeo de soldadura por ultrasonidos (m).	60,00
Determinación del espesor de pintura de recubrimiento mediante métodos magnéticos (Ud.)	50,00
Ensayo de dureza Brinell (Ud.)	20,00
<b>Auscultación</b>	
<b>Medida de movimiento en juntas o fisuras</b>	
Suministro y montaje de clinómetro para medida de giros de +- 1 grado sexagesimales de rango y 0.002 grados sexagesimales de precisión, incluida primera lectura (Ud.)	1400,00
Suministro y montaje de fisurómetro para control de apertura de grietas compuesto por placas de metacrilato independientes y regladas con rango de +- 25 mm, incluida primera lectura (Ud.)	100,00
<b>Medida de deformaciones</b>	
Suministro y montaje de extensómetro para el control de deformaciones unitarias en el hormigón con rango de 2.500 m y 0,5 m de sensibilidad, incluida primera lectura (Ud.)	650,00
Suministro y montaje de extensómetro para el control de deformaciones unitarias en elementos metálicos con rango de 2.500 m y 0,5 m de sensibilidad, incluida primera lectura (Ud.)	580,00
<b>Células de carga</b>	
Suministro y montaje de célula de carga para control de carga válida hasta 1.350 kN, incluida primera lectura (Ud.)	1930,00
<b>Topografía</b>	
Puesta a disposición de equipo de topografía de precisión (PA).	760,00
Prestación de servicios de equipo de topografía para levantamiento de detalle en obras de paso (día)	610,00
Prestación de servicios de equipo de gabinete para el desarrollo, cálculo, edición e impresión en gabinete de los datos de campo del levantamiento de detalle efectuado (día).	380,00
Instalación de base de medida compuesta por un clavo de material inoxidable tipo bionda en tablero de puente (Ud.)	250,00
Nivelación de precisión de tablero de puente, incluida representación gráfica y análisis de resultados (Ud.)	1470,00

<b>Ensayos de laboratorio</b>	
<b>En hormigón y fábrica</b>	
Ensayo de compresión simple de probeta testigo (Ud.)	40,00
Ensayo de compresión y determinación del módulo de deformación (Ud.)	160,00
Ensayo de tracción indirecta o brasileño (Ud.)	30,00
Análisis químico para la determinación de conglomerante hidráulico y composición ponderal del hormigón (Ud.)	450,00
Análisis químico y petrográfico de probetas testigo de fábrica (Ud.)	290,00
Determinación del contenido de cloruros (Ud.)	130,00
Determinación del contenido de sulfatos (Ud.)	110,00
Determinación del contenido de aluminatos (Ud.)	160,00
Determinación de la profundidad de carbonatación (Ud.)	40,00
Determinación del perfil de cloruros (Ud.)	260,00
Ensayo de difracción de rayos X (Ud.)	480,00
Ensayo de tracción en probetas de acero (Ud.)	110,00
Determinación de la sección residual de armadura (Ud.)	130,00
Ensayo de porosidad y densidad (Ud.)	110,00
Ensayo de agresividad potencial del agua (Ud.)	280,00
<b>En estructura metálica</b>	
Ensayo de tracción simple (Ud.)	130,00
Análisis químico para la verificación de la soldabilidad del acero (Ud.)	230,00
Análisis químico del acero determinando contenido de carbono, azufre, fósforo, sílice, manganeso, cromo, níquel y molibdeno (Ud.)	230,00
Ensayo Charpy de resistencia a flexión por choque desde temperatura ambiente hasta -60° C (Ud.)	260,00
<b>En muestras de catas y sondeos</b>	
Preparación de muestra para cualquier tipo de ensayo (Ud.)	20,00
Determinación de la humedad natural (Ud.)	10,00
Determinación de la densidad aparente (Ud.)	10,00
Determinación de peso específico (Ud.)	20,00
Determinación de límites de Atterberg (Ud.)	30,00
Determinación de granulometría (Ud.)	40,00
Determinación de equivalente de arena (Ud.)	20,00
Ensayo de compresión simple en suelos (Ud.)	30,00
Ensayo de corte directo sobre muestra inalterada (desde sin consolidar y sin drenaje hasta consolidado y drenado) (Ud.)	160,00
Ensayo triaxial UU, CU ó CD (Ud.)	260,00
Ensayo edométrico con al menos 7 escalones de carga, 3 de descarga y curvas consolidación-tiempo (Ud.)	130,00
Ensayo Próctor normal (Ud.)	50,00
Ensayo Próctor modificado (Ud.)	60,00
Ensayo CBR (Ud.)	100,00
Ensayo de compresión simple en roca con medida del módulo de deformación (Ud.)	80,00
Determinación del contenido de carbonatos (Ud.)	30,00
Determinación del contenido de sulfatos (Ud.)	40,00
Determinación del contenido de materia orgánica (Ud.)	30,00
Análisis químico completo del agua, para determinar su agresividad (Ud.)	100,00
Análisis mineralógico mediante difracción de rayos X (Ud.)	100,00
Análisis petrográfico mediante lámina delgada (Ud.)	70,00

## 10. BIBLIOGRAFÍA

“El ensayo de gato plano como técnica para la auscultación in situ de obras de fábrica” Astudillo, R; García, P.

“Durabilidad, reparación y refuerzo de puentes de hormigón”  
Comité Técnico de Puentes de Carretera. Asociación Técnica de Carreteras. AIPCR 1999.

“El estado del arte en reparación y refuerzo de estructuras de hormigón” GEHO-CEB 1995

“Strategies for testing and easements of concrete structures. Guidance Report” F.I.B Bulletin 243. 1998.

“Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures” Task Group F.I.B. Bulletin 22.2003.

“Curso de métodos y técnicas para la evaluación del estado de los puentes”  
Gabinete de formación y Documentación. Madrid 1987. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

“Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado” Calavera, J. INTEMAC 2005.

“NDE for steel bridges” Chase, S.B. Civil Engineering 1995.

“Review of Non destructive evaluation technique of Civil Infraestructure”  
Rens, K.L. et Allii. Journal of performance constructed Facilities. Noviembre 1997.

“La estimación “in situ” de la resistencia del hormigón” 1989. Hostalet, F.; Tesis doctoral dirigida por J. Calavera U.P.M.



---

"Concrete Strength variations and in place testing" Bungley, J.H. 2<sup>nd</sup> Australian Conference on Engineering Materials University of New South Walos Sidney. 1981.

"Standard Test Method for Half-Cell Potentials of uncoated reinforcing steel in concrete" ASTM C876

"Safety assessment of existing road bridges proceeding" of the International Conference *"Desing and Assessment of Building"*. Znidaric, A.; Praga 1996.

"Maintenance et Reparation des Ponts-Presses de l'École Nationale del Ponst et Chausséss. J.A. Calgaro and R. Lacroix. Paris 1997.

"Bridge Inspector´s Training Manual."  
U.S. Department of Transportation

"Repair and maintenance of reinforced concrete", BXE Report 254.1994  
Curie, R.I.; Roberty P.C.;

"Material and Condition of Existing Bridges in the U.S." Bhide, S. PCA 2003