

PUENTES DE SILLERIA Y FABRICA PATRIMONIO HISTORICO ARTISTICO

FRANCISCO J. SAINZ DE CUETO TORRES

Laboratorio Central de Estructuras y
Materiales (CEDEX)

1. INTRODUCCION. HISTORIA E IMPORTANCIA ACTUAL.

La denominación de "Puentes de Fábrica" es la que se adopta para englobar este tipo de estructuras, que presentan unas características comunes. Se suele incluir los puentes construidos en PIEDRA NATURAL (sea sillería o mampostería), LADRILLO (materiales cerámicos) y BLOQUES DE HORMIGON, o las posibles combinaciones que pueden efectuarse con estos materiales.

La peculiaridad esencial de este tipo de obras es su DURABILIDAD a través del tiempo, hecho que ha determinado el gran número de ellas que se conservan en pleno servicio, parcial, o han sido adaptadas a las condiciones actuales mediante reformas.

Históricamente los primeros puentes de cierta importancia que hemos heredado han sido los realizados durante la CIVILIZACION ROMANA: Cruces de calzadas sobre ríos y acueductos de conducción de aguas potables. Básicamente se utiliza como material la piedra obtenida en canteras próximas (granitos o piedras calizas), pero también se emplea con acierto el ladrillo y el mortero hidráulico.

Durante la Edad Media, Renacimiento y SIGLOS PREVIOS AL XVIII, las técnicas revolucionan en la construcción, lográndose salvar vanos mayores con elementos cada vez más esbeltos. Esta afirmación, que es clara en edificios y obras de Arquitectura, es más dudosa en los puentes, donde se sigue observando un gran monolotismo y volumen en materiales empleados. Estas estructuras se diseñan sin ningún tipo de cálculo, basándose en leyes puramente empíricas o por similitud con obras ya existentes.

Con el siglo XVIII aparece el primer tratado de construcción de puentes "Traité des Ponts".



FIGURA 1. Acueducto de Segovia. Monumento Nacional.

1714, de Hubert Gautier y la gran figura de Jean Rodolphe Perronet, que lleva el arco de sillería a su perfección. En España hay que destacar este período Borbónico, en que se configura la red radial de "Caminos Reales" con numerosas obras de importancia utilizadas por los trazados actuales.

En el siglo XIX priva la construcción de acero para los trazados de líneas férreas y para algunas carreteras, pero se sigue empleando simultáneamente la fábrica. Además los puentes de acero suelen mantener pilas y estribos de sillería.

El puente arco que se venía calculando mediante métodos de estática y gráfica recibe un

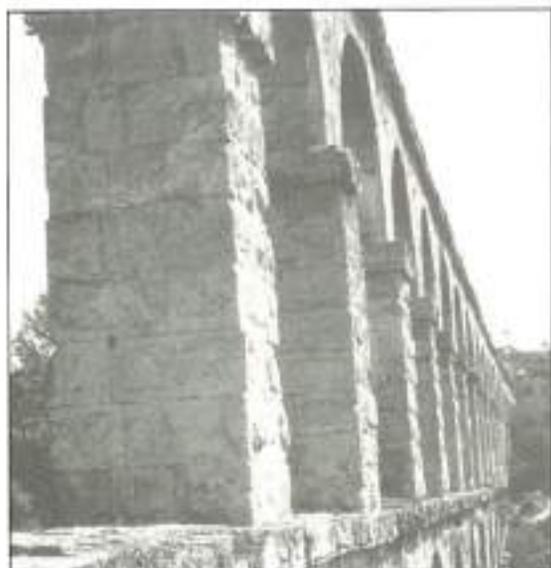


FIGURA 2. Acueducto del Diablo (Tarragona).

impulso con la aplicación de los métodos energéticos. Ello redundará en un mejor ajuste del tipo de arco y de su esbeltez.

Los últimos años de este siglo y los comienzos del SIGLO XX ven el auge del hormigón armado acaparando la tipología del puente arco con impresionantes realizaciones, pero se continúa con el clásico puente arco de fábrica, sustituyendo la piedra natural por el bloque de hormigón prefabricado, lo que permite un abaratamiento drástico del material y de la puesta en obra al no exigir encofrados (pero sí cimbras), hay un gran número de puentes de bloques de hormigón realizados durante el primer tercio de siglo.

Las nuevas tecnologías de la construcción, especialmente el hormigón pretensado han desplazado por el momento el arco frente a las tipologías de flexión.

En la ACTUALIDAD la tecnología de la fábrica sigue evolucionando en el campo de la Edificación y de la Arquitectura, con las aportaciones del armado, pretensado, etc. Sin embargo el puente de fábrica se puede decir que prácticamente ha desaparecido. Únicamente hay realizaciones contadas y generalmente por exigencias estéticas del entorno urbano. Si tiene algún campo de aplicación en obras rurales y de importancia menor.

No obstante al declinar presente, el puente de fábrica conserva una importancia de primera línea, tanto en la vertiente económica como en la histórica-artística.

En el PLANO ECONÓMICO debido al gran número de estructuras actualmente en servicio que responden a esta tipología. En efecto, la gran mayoría de los puentes de carretera son de fábrica. (Sin cuantificar por no estar aún disponible el Inventario). También entre los puentes de ferrocarril hay numerosos puentes de fábrica (en proporción menor) y puentes parcialmente de fábrica (en general pilas y estribos).

El respetar las estructuras que sean aprovechables por los modernos trazados representa un volumen de dinero ahorrado en infraestructuras muy importante. La crisis económica de los últimos años ha obligado a cambiar partidas destinadas a nueva construcción por otras de conservación y mantenimiento. (Este último hasta el presente ha sido bastante deficiente).

En el PLANO HISTÓRICO-ARTÍSTICO hay que señalar la sensibilidad que se va general-



FIGURA 3. Puente de Toledo (Madrid)



FIGURA 4. Puente Nuevo (Ronda).

zando en la Opinión Pública y Administración por la conservación del Patrimonio Histórico-Artístico, tanto arquitectónico como obra pública, procurando mantener en servicio o al menos dar una utilidad parcial a aquellas estructuras que merezcan la pena.

Dentro de los puentes de fábrica, aparte de los que son ya Monumento Nacional o Histórico-Artístico, hay una gran cantidad de ellos que encierran un notable valor técnico y estético. Con estas obras se debe eludir los criterios económicos habituales, subordinándolos dentro de un orden razonable a los estéticos.

De los Inventarios que se van a realizar por parte de la Dirección General de Carreteras del M.O.P.U., según se contempla en el Avance del Plan General de Carreteras 1984/91, el primero analizará los puentes abiertos al tráfico según sus características geométricas y portantes, mientras que el segundo los catalogará desde el punto de vista histórico y artístico.

Finalmente recalquemos el gran incremento bibliográfico que se ha experimentado en los últimos cinco años sobre temas referentes a los puentes de fábrica.

2. CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE DE FÁBRICA

La tipología fundamental utilizada por el puente de fábrica es el arco. Efectivamente se trata de la forma estructural que permite el empleo de elementos discretos, manteniéndolos unidos por efecto de las compresiones generadas por el propio peso.

Además del PUENTE ARCO como estructura completa, englobaremos en el presente estudio las subestructuras que integran otras tipologías como es el caso de las PILAS y los ESTRIBOS de fábrica en los puentes de acero u hormigón. En realidad los problemas que pueden presentarse, salvando algunas particularidades, son muy semejantes a los del puente completo y las técnicas de inspección en uno y otro caso son también similares.

Podemos recordar con la FIGURA 6 las zonas más peculiares del puente arco de fábrica, que se suelen denominar en la literatura técnica con una terminología específica, incluida asimismo en el cuadro 2.



FIGURA 5. Puente de San Martín (Toledo). Es parte del paisaje urbano.

Arco (Bóveda de fábrica) Intrados Trescós Clave Arranque Rinón Dovela Timpano Boquilla Imposta Fréti Relleno Drenaje Pila Tajamar Plótaje Delensas (escollera) Estribo	Voûte en maçonnerie Intrados Extrados Clé Abutement Rein Voussoir Tympan Bandeau Corniche Parapet Remplissage Drainage Pile Bec (Avant/Arrière) Pieux Enrochement Culée	Masonry arch Intrados, soffit Extrados Keystone, crown Springing Haunch Voussoir Spandrel wall Arch ring Skewback, cornice Parapet Filling Drain Pier Nosing Pile foundation Breakwater Abutment
Daños, Rotura Fisuración, Agrietamiento Asentamiento Descenso Separación Desprendimiento Desnivelación Desplomo Socavación Inspección "Especial"	Désordres, Ruine Fissuration, éclatement Tassement Affaissement Ecartement Décollement Dénivellement Dérachement vertical Affoulement Surveillance Renforcée, Haute Surveill	Damages, Failure Cracking, Spitting Settlement Slump Spreading Loosening Out of level Vertical deviation Undermining Inspection Special Inspection

CUADRO 2. Terminología específica del puente de fábrica.

tensiones ocasionadas por las sobrecargas de uso son mínimas (coeficientes de Seguridad muy elevados).

Sin embargo no hay que menospreciar el EFECTO VIBRATORIO que las sobrecargas móviles pueden inducir en las distintas partes del puente.

— Durante los primeros meses que siguen a la construcción es muy importante el efecto de la RETRACCION y a lo largo de la vida útil las ACCIONES TERMICAS, que pueden originar fuertes tensiones especialmente en superestructuras de arco con extremos muy coaccionados (empotramiento perfecto).

— Se trata de estructuras muy RIGIDAS, prácticamente indeformables algunas, o que desarrollan unas deformaciones muy pequeñas ante las pruebas de carga.

— Son estructuras muy POCO DUCTILES debido a los materiales empleados y a su propia tipología. Los movimientos que se producen son de muy difícil "camuflaje". Redundando inmediatamente en aberturas de sillares, juntas, etc.

— De acuerdo a lo anteriormente dicho, son muy sensibles a los cambios en las condiciones de sustentación y por tanto es esencial el papel que juega la CIMENTACION.

3. ORIGENES DEL DAÑO EN EL PUENTE DE FABRICA (CAUSAS).

Los orígenes del daño en el puente de fábrica pueden ser muy diversos; cualquier modificación de las condiciones, no prevista, o infravalorada en el proyecto, puede desencadenar alteraciones en la estructura.

Según se han clasificado en el CUADRO 3, las causas se deben a la actividad del hombre como usuario de la estructura o a la influencia del medio en que se encuentra la obra. Se destacan de entre esta última, por su importancia para el puente de fábrica, la acción del agua y los cambios en el propio terreno.

— La acción perjudicial del HOMBRE sobre la obra puede comenzar durante la propia CONSTRUCCION de la misma, utilizando unos materiales o unos métodos constructivos inadecuados.

El empleo de sillares de piedras defectuosas o extraídas en períodos fríos puede a la larga dar lugar a roturas de dichos bloques.

Lo mismo ocurre en el empleo de ladrillos de calidad baja o bloques de hormigón prefabricado.

Los materiales para relleno muy ricos en cales que traen al carbonatarse pueden originar un reparto de cargas excesivo sobre el revestimiento.

El utilizar materiales que sean degradables

ACCIÓN DEL HOMBRE	DEFECTOS DE CONSTRUCCION	MATERIALES METODOS
	AUSENCIA DE MANTENIMIENTO	
	MODIFICACIONES	REPARACION AMPLIACION
	TRAFICO	
	OTRAS	
ACCION DEL ENTORNO AMBIENTAL	TERMICA	
	MECANICA	HELADA RETRACCION HINCHAMIENTO
	QUIMICA	DILATACION AGUAS AGRESIVAS ATMOSFERA NOCIVA CORROSION
	BIOLOGICA	BIOQUIMICA BIOMECANICA
ACCION DEL AGUA	DRENAJE	
	CIMENTACION	NIVEL FREATICO LINEA ESTIAJE
	CALIDE CORRIENTES	CRECIDAS SOCAVACION
ACCION DEL TERRENO	ASIENTOS	DESCALCES CONSOLIDACION ROTURA
	EXPANSION	
	EMPLUES	
	SISMICA	

CUADRO 3. Principales causas que pueden originar daños al puente de fábrica.

como las maderas. (Pilotajes de madera con nivel freático alternante) puede arruinar la obra.

Los métodos utilizados durante la construcción pueden haber sido erróneos. Es frecuente por ejemplo la talla de sillares y su puesta en obra según la dirección incorrecta.

Los morteros pueden ser sensibles a la helada por utilizar una granulometría deficiente o una relación agua/cemento excesiva.

Por el contrario puede haberse utilizado morteros muy secos con material poroso o hidrófobo.

Las juntas son a veces excesivamente delgadas, con la formación de verdaderos "puntos duros", o tienen un espesor grande, lo que prima los fenómenos de retracción y fluencia o los de descompresión.

El empleo de bóvedas transversales de aligeramiento da lugar a distribuciones tensionales perniciosas.

Si durante la vida del puente no se ha cuidado y vigilado el mismo, la AUSENCIA DE MANTENIMIENTO hará que los pequeños daños no reparados progresen más rápidamente hasta revestir importancia.

Las MODIFICACIONES a lo largo de la dilatada vida de estos puentes, si no se han realizado con especial cuidado, pueden ser causa de daños irreversibles.

También las obras realizadas en las proximidades como dragados o excavaciones que modifiquen el cauce fluvial pueden repercutir en el puente. Igualmente las obras próximas que afecten al terreno como las obras subterráneas.

Las compactaciones sucesivas sobre los terraplenes adyacentes y las sobrecompactaciones, que frecuentemente siguen a los vaciados de rellenos, puede originar unas tensiones sobre paramentos, muros estribos y tímpanos de valor considerable.

Los recrecimientos de firmes originan problemas de la misma índole.

Los revestimientos de mortero realizados suelen ser poco favorables: el agrietamiento del revocado da lugar a vías preferentes de filtración. El revestimiento del intradós de la bóveda, sin asegurar un buen funcionamiento del drenaje, pueden provocar un aumento de las presiones efectivas debido al peso de las cargas de tráfico.

Las obras de ampliación deben respetar la resistencia y forma de trabajo de la estructura subyacente de fábrica. Algunas ampliaciones de losa de hormigón armado han dañado la fábrica por el excesivo aumento de tensiones que se canalizan por los tímpanos.

Las modificaciones de las superestructuras de acero (u hormigón) pueden llegar a afectar a las pilas y estribos de fábrica si cambian mucho las condiciones de carga en los puntos de apoyo (efectos térmicos sobre cunas de apoyo).

Las reparaciones parciales mediante inyecciones son asimismo motivo de alteraciones tensionales.

Los refuerzos con tirantes, pretensado, etc. pueden ocasionar efectos secundarios indeseables.

La variación de las condiciones de TRAFICO es muy normal en estas obras por ser, en general, bastante antiguas. El número de solicitaciones y el valor de las cargas medias y máximas de servicio se han ido incrementando. Análogamente han aumentado las velocidades de circulación y sus consecuentes efectos vibratorios.

También pueden ocasionarse choques de vehículos, descarrilado de ferrocarril e impactos de embarcaciones. Por último cabría también añadir a las acciones del hombre las anormales como guerras, sabotajes, etc. que dejan sus huellas en algunos puentes.

— Dentro de las acciones que ejerce el ENTORNO AMBIENTAL destacan las de tipo físico como las TERMICAS, que pueden originar fuertes tensiones al variar la temperatura (especialmente en puentes con grandes coacciones) y las MECANICAS producidas por los efectos de las heladas y los fenómenos higroscópicos de dilatación y retracción.

Además de estos hinchamientos destacan en los puentes de sillería las tensiones que pueden desarrollar los finos depositados durante las infiltraciones entre sillares. El aumento progresivo de los mismos y los ciclos de humedad y secado van ocasionando un auténtico efecto de "cuña" entre los bloques.

Algunas motivaciones QUIMICAS pueden provocar efectos mecánicos similares debidos a la expansión del producto de reacción química.

Las aguas seleníticas con sulfato cálcico atacan los ligantes hidráulicos de las juntas, disgregándose las mamposterías por efecto de la cristalización de las sales (Sal de Candiot).

Las aguas muy puras ((lluvia, graníticas, etc.) atacan los morteros al disolver sus sales constitutivas.

Las aguas de productos ácidos, aceites y detergentes que aceleran el ataque a los ligantes y a las superficies. Las aguas marinas, ricas en cloruros, pueden atacar a los elementos metálicos, que pueda contener el puente, por corrosión (refuerzos, tirantes, grapas, etc.).

Las atmósferas nocivas, humos y vapores ácidos industriales en presencia de humedad atacan los paramentos de piedra y ladrillo.

Los gases del medio urbano también en esta línea son preocupantes ante obras de tipo monumental.

Entre las acciones BIOLÓGICAS debidas a ciertas biocenosis del entorno del puente citaremos las bioquímicas que desarrollan algunos organismos vivos como bacterias, líquenes, hongos y algas marinas, ya que segregan sustancias ácidas nocivas para la fábrica. Los puramente biomecánicas como las ejercidas por las plantas trepadoras sobre los sillares o los ataques de parásitos, moluscos y crustáceos. Por ejemplo en este tipo de puentes la "limnoria" ataca los pilotes de madera, frecuentes en algunas cimentaciones.

— Consideración aparte merecen los daños que pueden generar el AGUA presente en el puente, tanto sea la drenante de la superestructura como la de cimentación y cauce.

El agua drenante puede provocar daños en la superestructura si el DRENAJE no está bien dimensionado y obstruido, aumentando las presiones intersticiales y totales. El agua de lluvia va

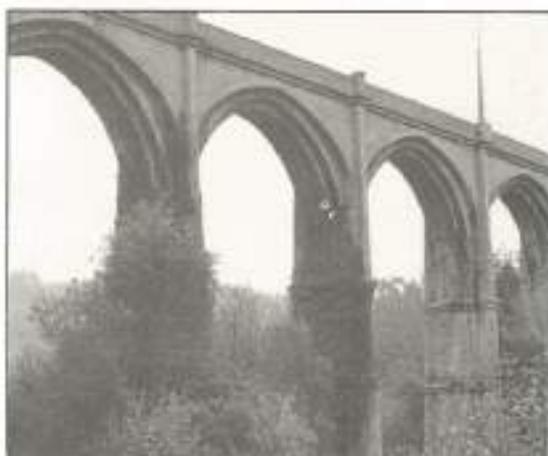


FIGURA 7. Viaducto Puente Mera (Línea Ferrol-Gijón).

erosionando los terraplenes adyacentes al puente descazando los estribos.

Es muy importante la determinación de la situación del nivel freático y sus variaciones, con respecto a la CIMENTACION especialmente si el puente está cimentado sobre pilotes de madera. Igualmente en CAUCE húmedo el situar la línea de nivel mínimo correspondiente al estiaje. Las crecidas de largo periodo de retorno pueden dejar daños sobre la superestructura, las fuentes corrientes, especialmente en obras costeras con mareas vivas pueden erosionar de modo considerable los paramentos de fábrica. El peligro más importante de la corriente es sin duda el efecto de socavación que puede generarse sobre el terreno portante.

— Las variaciones en el TERRENO y la interacción entre éste y la cimentación del puente, se acepta generalmente como la causa principal del posible daño sobre el puente de fábrica. La nula capacidad de acomodación de estas obras se traduce automáticamente en daños visibles en la superestructura. Además de los descalces que se puedan producir por distintos tipos de socavación ya citados, aparecen con cierta frecuencia ASIENTOS por consolidación natural o bien aumentada por desecaciones. Puede haber roturas del terreno debidas a deslizamientos plásticos al alcanzarse determinados umbrales tensionales.

El fenómeno contrario de EXPANSION debido al hinchamiento con la humedad de algunos terrenos como arcillas expansivas, etc.

La generación de EMPUJES excesivos sobre los paramentos son muy frecuentes por sobrecompactación, etc.

Las acciones SISMICAS tanto sean de origen natural, como provocadas por explosiones, son muy a tener en cuenta en el puente de fábrica por las grandes masas de materiales que lo integran, así como por su débil trabazón.

4. MANIFESTACIONES DEL DAÑO (EFECTOS)

El daño apreciado en la inspección suele generalmente deberse al desarrollo de una cadena de causas-efectos

Sin embargo hay que intentar aproximarse a lo sucedido para poder actuar correctivamente, ya que en caso contrario podría ser inútil, si no contraproducente, la reparación del puente.

Pasemos revista a las manifestaciones más frecuentes de daño, que pueden encontrarse en la inspección de un puente de fábrica. Para ello seguiremos un orden hacia arriba partiendo de la cimentación, pues en este tipo de puentes es regla la influencia del daño en elementos superiores.

4.1. CIMENTACIONES

En cimentación el daño se produce por evolución en las condiciones del terreno que conducen a un asentamiento. El asiento puede ser uniforme en toda la planta del estribo o pila, pero es más frecuente por la tensión y el espesor de terreno, especialmente en estribos, que sea lineal según una determinada dirección. En este caso el resultado es un descenso y un giro alrededor de un cierto eje, advirtiéndose un desplome de los paramentos. Estos asientos uniformes no producen daño en la parte inferior de pilas y estribos, sino que se manifiestan en agrietamientos de la parte alta y de la superestructura. Es muy frecuente el cabeceo hacia atrás de los muros de acompañamiento de estribos por consolidación del terraplén, lo que da lugar a un auténtico giro de sólido rígido hacia el terraplén.

Distinto es el caso de los asientos diferenciales provocados por zonas de rigidez y reología heterogéneas ("puntos duros") o con terreno de características expansivas. En estos casos el agrietamiento se suele manifestar en el arranque de los muros junto a la cimentación.

Mayor atención hay que prestar a los cauces húmedos, que puedan tener crecidas importantes, o que soporten fuertes corrientes por estrechamiento del cauce.

Las crecidas dan lugar a cambios del régimen de corriente que pueden alterar el cauce, invadir pantallas de protección, desplazar gabiones y defensas de escollera. El daño más peligroso que pueden generar es la socavación.

Si la cimentación es pilotada el efecto es el de descalce de pilotes, que dejan su fuste desguarnecido. No se produce ningún descenso, pues el pilote sigue resistiendo por punta, pero la cimentación queda inestable y puede colapsar por desplazamiento lateral.

El caso de los pilotes de madera, es especialmente delicado pues se añaden los efectos de degradación del material.

4.2. ESTRIBOS

Los efectos de asentamiento del terreno, ya citados, provocan movimientos como sólido, rígido o agrietamientos de los muros según direcciones más o menos verticales, más acusadas si el asiento es diferencial.

Es muy importante el efecto de los empujes sobre los muros. Cuando este empuje es excesivo por sobrecompactación u otras causas se produce la fisuración.

Es muy común las grietas en la unión del muro estribo con el muro de acompañamiento lateral. Con frecuencia el muro lateral está infra-

dimensionado al vuelco, con lo que se recarga la unión entre las fábricas y da lugar a la abertura de grietas que abren sillares y juntas.

La retracción en muros de estribos de bloques también da lugar a fisuraciones verticales si no se han previsto las juntas necesarias. Estas grietas se manifiestan con geometría muy regular.

Una zona conflictiva ante cualquier alteración suele ser la zona próxima a los arcos. Aquí hay una interacción entre la deformabilidad del arco y distribución de asentos del estribo, apareciendo fisuraciones en muchos puentes.

A estos fenómenos de origen estructural se añaden otros secundarios que pueden colaborar negativamente en los daños. Se trata de las infiltraciones de finos por grietas y vías preferentes, las eflorescencias y los ataques superficiales a los sillares y juntas y la intrusión de las plantas trepadoras.

Los sillares de material poroso como las areniscas y los ladrillos, suelen presentar ataques superficiales en los bajos de los muros por la capilaridad del agua del terreno. La corriente también suele erosionar los arranques y partes bajas en zonas de estrechamientos y curvas.



FIGURA 8. Estribo (Línea Castejón-Bilbao).

4.3 PILAS

Con las pilas cabe repetir las mismas consideraciones hechas sobre los estribos. No obstante de forma específica merecen destacarse los puntos siguientes:

— Las fisuraciones verticales en arranque de paramentos, por asentamiento diferencial, de pilas de anchura grande cimentadas en terrenos arcillosos.

— Las fisuras en las uniones de los tajamares, que suelen ser zonas delicadas muy sensibles a las deformaciones de la superestructura y los asien-



FIGURA 9. Puente (Ría de Ortigueira).

tos de pila. Por otra parte son puntos muy castigados por las corrientes.

— Las fisuras verticales en coronación, muy frecuentes en pilas de fábrica que soportan cargas concentradas de superestructuras apoyadas de acero o de hormigón.

— Se puede citar también los daños que ocasionan a veces los tráficos inferiores por impactos (carretera, material descarrilado de ferrocarril y embarcaciones).

4.4 ARCOS Y BOVEDAS

En los arcos repercuten tanto los daños que se generan en el tablero como los que provienen de cimentación.

Vamos a subvencionar los daños según cuatro esquemas de posible fisuración:

- a) Fisuración transversal a la bóveda
- b) Fisuración longitudinal de la bóveda
- c) Fisuración paralela a la directriz
- d) Fisuración oblicua

a) La fisuración transversal del arco puede ser de flexión debida a tensiones excesivas o a deformaciones en el cimiento.

Las fisuras en riñones de intradós, apreciablemente simétricas respecto al eje del arco, son ocasionadas por los incrementos térmicos. Las fisuras de clave son síntoma de un desplazamiento relativo entre apoyos. Si la fisuración del intradós es más importante en los riñones de un lado, lo más probable es un asentamiento de la pila o estribo de dicho lado.

Con respecto al trasdós, las fisuras son más difíciles de apreciar, debiéndonos fiar de su manifestación en las boquillas de los dos lados. Si es la clave la fisurada en su trasdós la influencia de las tensiones inducidas por incremento térmico es muy importante (no es un tipo de daño normal). Las fisuras simétricas del trasdós en riñones sí es frecuente y por lo común propiciada por una cedencia lateral de los apoyos.

El asentamiento unilateral de pila o estribo fisura el trasdós del extremo opuesto. El giro de apoyo se manifiesta preferentemente en el lado que gira y en riñones, siendo la fisuración en intradós o trasdós según sea cabeceo o vuelco hacia atrás.

La fisuración transversal de la bóveda lleva con frecuencia a la pérdida de sillares por descompresión. Infiere sin duda el efecto vibratorio de las cargas de tráfico. Las pérdidas se hacen más patentes en arcos de varias capas.

b) La fisuración longitudinal de la bóveda se refleja perfectamente en el intradós. Si es próxima a las boquillas pero sin desplazamiento relativo vertical (únicamente horizontal) se debe por término general a un descolgamiento del tímpano por excesivas presiones laterales. Si hay desplazamiento relativo vertical, estará ocasionado por una deformabilidad diferente de la bóveda y del tímpano.

Si es en la zona central de la bóveda, puede obedecer a distintas causas: retracción, flexión transversal de la bóveda, aligeramientos interiores, etc.

c) la fisuración paralela a la directriz puede deberse a la propia deformabilidad del arco. Es muy frecuente el despegue entre arco y tímpano por esta causa. Se manifiesta en las boquillas.

Es más peligroso el espegue de capas transversalmente en el caso de los arcos multicapa, pues puede dar lugar al pandeo de las mismas.

d) La fisuración oblicua nos indica fenómenos de torsión, asentamiento lateral de apoyos, asentamiento diferencial transversal, etc.

4.5. SUPERESTRUCTURA

La deformabilidad del arco siempre suele producir fisuraciones del tímpano. En efecto, el tímpano puede considerarse como una viga de sección variable con gran rigidez hacia los extremos de la zona sobre riñones.

Son muy frecuentes las fisuras verticales de tímpano sobre riñones, que muchas veces son prolongaciones de las fisuras del trasdós del arco.

Muy características son las producidas por incremento térmico al dilatar el arco, manifestándose su simetría respecto al eje del mismo.

Los movimientos de apoyo también se reflejan

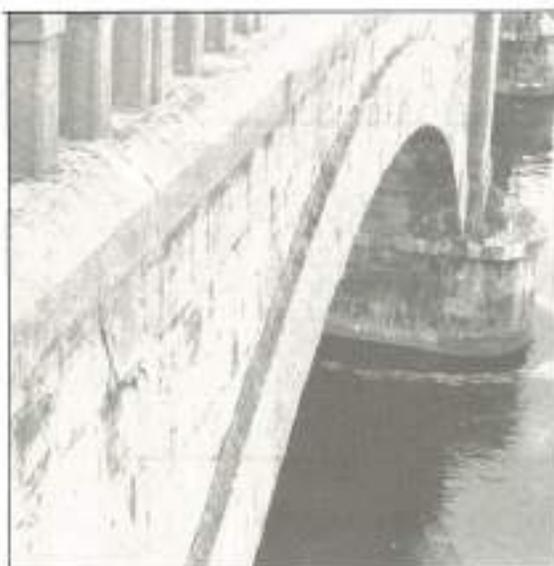


FIGURA 10. Puente (Ría de Foz).

en el tímpano, incluso antes que el propio arco. Son muy reveladores los sentidos de aumento de las aberturas de grieta y sus direcciones.

No son raros los reventamientos producidos por la acumulación de finos y los daños superficiales por heladas y humedades, que se manifiestan en forma de manchas y eflorescencias. También hay que señalar el daño producido por las plantas trepadoras.

Los revocados de tímpanos se suelen perder en breve tiempo, si no se garantiza un buen drenaje, y no son aconsejables.

Los agrietamientos de tímpano suelen afectar a las impostas pretilas y plataforma, modificándose con frecuencia el drenaje al formarse otras vías de desagüe.

En los pretilas de fábricas y de hormigón (no así en los metálicos) se señalan los daños con gran claridad en pérdidas de alineación y fisuras.

Con respecto a las fisuras actúan como auténticos testigos y permite calibrar perfectamente las aberturas, desplazamientos relativos de labios, etc.

RECOPILACION DE INFORMACION PREVIA

A la apertura del expediente el problema básico es la recopilación de todo tipo de datos, que nos puedan ayudar en la realización de la inspección.

La información varía substancialmente, en cuantía y calidad, de unos puentes a otros, siendo por desgracia bastante frecuente la ausencia casi total.

Las fuentes a utilizar serán:

JJEIP-CUPLOK, elemento altamente cualificado y versátil para su utilización en edificación, construcción naval, mantenimiento industrial, etc.

La característica principal de este anuncio reside en su revolucionario sistema de conexión de los pies verticales con los brazos horizontales, ya que con una sola acción, y sin necesidad de piezas adicionales, se rigidiza la unión, logrando con ello una rapidez de montaje y solidez excepcionales.

La simplicidad del sistema y la sencillez de sus componentes, hacen del andamio JJeip-Cuplok un elemento altamente cualificado y versátil para su utilización en edificación, construcción naval, mantenimiento industrial, etc., tanto por la variedad de soluciones que presenta, como por la diatinidad y seguridad de sus plataformas de trabajo, así como por su casi nulo mantenimiento.



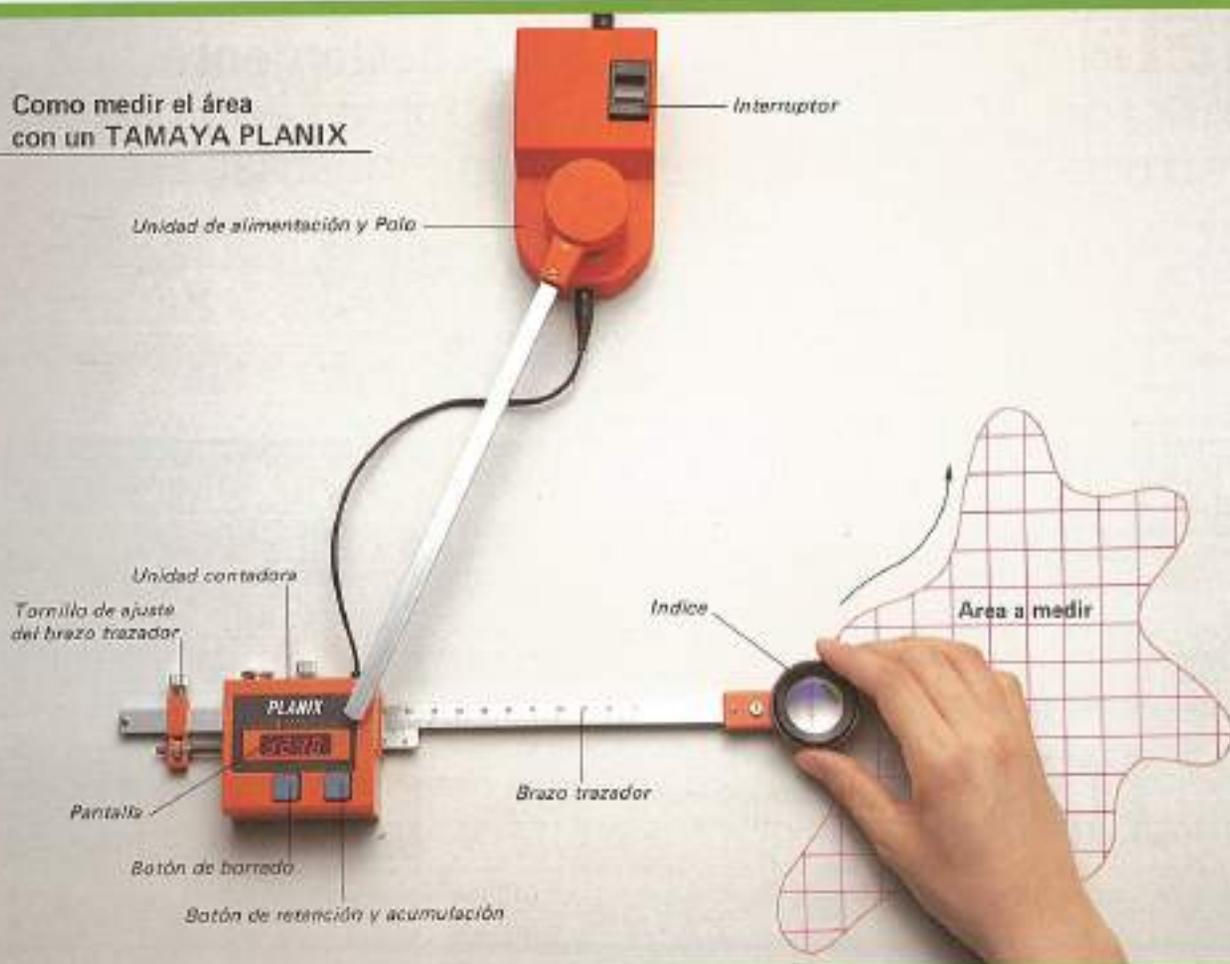
JJEIP

Maquinaria y elementos metálicos para la construcción y obras públicas



ULMA, S. Coop. apartado 13 - Telf. 78 00 51* - Oñati (Guipúzcoa)

Como medir el área con un TAMAYA PLANIX



Unidad Contadora

Al recorrer el perímetro de la superficie con el brazo trazador, la rueda gira y genera los impulsos. El valor es electrónicamente procesado e indicado en la pantalla.

Botón de Borrado

Pone a cero la pantalla para comenzar la medida.

Botón de Retención y Acumulación

Retiene la cantidad en la pantalla posibilitando la acumulación de distintas medidas.

APLICACIONES DEL PLANIX TAMAYA

La necesidad de medida de áreas planas es ilimitada en la Industria y en infinidad de profesiones, por ejemplo en:

- Proyectos de Agricultura, Ingeniería, Arquitectura.
- Investigación Industrial, Médica, Biológica.
- Ingeniería Civil, Minera, Hidráulica.
- Explotaciones forestales.
- Diseños industriales.
- Cartografía, Topografía.
- Fotogrametría.
- Geografía.
- Catastro rústico y urbano
- Geología.
- Meteorología.
- Estadística.

NUEVO
PLANIMETRO
DIGITAL
PLANIX



OFICINAS, LABORATORIO Y ALMACEN:

Alejandro Rodríguez, 24 - Teléfonos 458 22 51 y 450 51 18 - Telax 42710 FONOTX E (Clave: 42-00192) - MADRID - 20

INSTRUMENTOS TOPOGRAFICOS

GEONICA, S.A.

- Información aportada por el Propietario o Usufructuario del puente.
- Información solicitada a terceros.
- Información obtenida por búsqueda bibliográfica.
- Información basada en testimonios locales.
- Información deducible o estimable.

En el primer caso se trata de los documentos originales de proyecto de la obra o más frecuentemente del seguimiento de la misma, mediciones, inspecciones anteriores, mantenimientos hechos, etc. En el segundo caso y a la vista de las circunstancias, es posible que tengamos la posibilidad de ampliar nuestra información solicitándola a determinados TERCEROS, que puedan estar relacionados con la obra o su entorno (Comisaría de Aguas, Instituto Geológico, Cedex, etc).

Hay una posibilidad potencial de ampliar los datos acerca del puente a través de BUSQUEDAS BIBLIOGRAFICAS. En este apartado incluimos tanto las referencias de tipo histórico, como las de tipo técnico que se han ido recogiendo en libros y revistas. Actualmente hay muchas facilidades gracias a los medios informatizados de búsqueda.

Los TESTIMONIOS LOCALES recogidos de habitantes de la zona pueden dar pistas, si bien imprecisas, de los últimos cincuenta años en cuanto a daños que se experimentaron y sus reparaciones u otras circunstancias de posible interés. Por último se pueden DEDUCIR algunos datos de todo lo recopilado. Los datos de podrían correlacionar biunívocamente con los distintos escalones del CUADRO 2 para seguir una cierta ordenación en la clarificación de las causas del daño:

- Datos, si se conservan, de la construcción del puente: Documentos de Proyecto, Planos, cálculos, materiales que se han empleado y métodos constructivos, fases sucesivas que se siguieron, utilización de cimbras, tipo de cimentación, sistema de drenaje.
- Datos obtenidos en anteriores mantenimientos como mediciones y planos, levantamiento de calcatas, auscultaciones, seguimiento de fisuras y testigos.
- Datos sobre reparaciones, refuerzos o ampliaciones que se hayan realizado en la obra así como modificaciones que se efectuaron en la misma obra o en su entorno. Construcciones posteriores próximas.
- Datos sobre el tráfico, cargas máximas, cargas extraordinarias o anormales, frecuencia de circulación, velocidades de servicio.
- Datos ambientales, temperaturas máximas y mínimas, posibilidad de helada. Factores agresivos de tipo químico y atmosférico. Biocenosis del

entorno, tipos de plantas.

- Datos pluviométricos e hidráulicos: caudales normales. Frecuencias de crecidas, línea de estiaje.
- Datos geológicos y geotécnicos: Tipo de terreno, nivel freático, estado de consolidación, parámetros fundamentales, riesgo sísmico.

6. INSPECCION DEL PUENTE DE FABRICA

Recopilados y estudiados previamente (siempre que ello sea posible) los datos disponibles, podemos abordar la inspección.

Dejando a un lado las supervisiones periódicas de rutina, vamos a distinguir dos tipos de inspección:

- INSPECCION ORDINARIA O CONVENCIONAL
- INSPECCION ESPECIAL

La inspección ordinaria puede ser preceptiva o no, pero en cualquier caso suele ser conveniente realizarla con una periodicidad en torno a los cinco años. En general debe ir acompañada de MEDICION bien sea para realizar un levantamiento inicial de la obra por carecer de planos, o para comprobar las medidas disponibles y aportar alguna medida suplementaria de interés. La medición de magnitudes geométricas y espesores incluye asimismo la determinación de las DIRECTRICES de los arcos. El método mejor es disponer de un levantamiento fotográfico de precisión, corregido de distorsiones ópticas, que revele las curvas definitorias de la directriz. Una forma también válida es la de medir con gran exactitud la situación de una serie de puntos, espaciados convenientemente, de la directriz y que posteriormente interpolaremos con parábolas cúbicas o de grados superiores. Podremos en algunos casos llegar incluso a expresiones analíticas de las curvas. Son muy comunes los arcos parabólicos, catenoides, carpaneles, escarzanos, cicloides, etc.

En la medición se deben hacer comprobaciones de las ALINEACIONES tanto en planta como en alzado. Revisten especial importancia los ejes, las nivelaciones de impostas, pretilas e hiladas horizontales de paramentos así como las líneas arquitectónicas verticales de ejes de pilas, ejes de estribos en sentido transversal, etc. Hay que tener cuidado con algunas alineaciones verticales por estar construidos algunos paramentos con ligeras pendientes al desplome. Los cambios experimentados por las alineaciones nos denuncian fenómenos de rotación, descenso, desplazamiento o dislocación.

A la medición geométrica o comprobación acompaña la inspección visual de los daños o irregularidades manifiestas.

Es conveniente en otros tipos de obras, pero

especialmente tratándose de las obras de fábrica la INSPECCION ABAJO-ARRIBA en que comenzamos a observar la obra desde el terreno. Estudiamos el entorno detenidamente, si ha habido modificaciones próximas especialmente si se trata de cauces de agua, etc., y las DEFENSAS del cauce si las hubiera (gabiones, máscaras, escolleras, apantallamientos, etc.). Si existen socavaciones o cavidades, erosiones de las márgenes y marcas de máxima avenidas.

Inspeccionamos con esmero la CIMENTACION. Si está desguarnecida con zapatas o encapados aflorando podemos completar su definición geométrica y observar el material empleado y su estado. Es muy revelador el nivel de la unión con los distintos paramentos y la existencia de zonas adyacentes de corriente con turbulencias. En inspección ordinaria nos contentaremos con el buen estado aparente de las bases de los paramentos y las zonas a la vista.

A continuación pasamos a PILAS Y ESTRIBOS anotando detenidamente las irregularidades y daños, que se manifestarán en cambios de alineaciones y agrietamientos. La gran rigidez y falta de resistencia a tracción de estos puentes hace que estos fenómenos sean simultáneos. En pilas y estribos es muy común la aparición de descensos, giros y desplazamientos laterales. Si estos movimientos son muy uniformes, es en muchos casos factible que no se manifiesten propiamente en la pila o estribo, pero sí en la superestructura. Son muy normales los daños en tajamares por tener una cimentación más somera.

En caso de corrientes inferiores fuertes aparecen erosiones en los paramentos. En el informe habrá de reflejarse el estado superficial, las juntas de sillares y el mortero ligante, si existen eflorescencias o manchas anormales debidos a venas de agua u otras causas.

En cuanto al estado de la bóveda es fundamental contar con el mapa de fisuración del INTRADOS y BOQUILLAS y si existen desprendimientos de sillares o descolgamientos laterales. Hay que especificar el estado de las uniones de las boquillas con los tímpanos.

Muy importante son también las humedades y eflorescencias que no se indiquen el funcionamiento del drenaje.

El TIMPANO es otro elemento básico a considerar en la inspección siendo esencial hacer un levantamiento de fisuras del mismo, señalando cómo se distribuyen en las uniones con los elementos adyacentes: estribos, bóvedas e IMPOSTAS y PRETILES.

Además de la importancia también específica del comportamiento del DRENAJE, que ya hemos

señalado, hagamos algunas indicaciones de vital importancia sobre los PLANOS DE FISURACION.

— Hay que realizar un levantamiento preciso de las redes de fisuras y de su disposición exacta, si es posible con técnicas fotogramétricas.

— Hay que determinar la variación de la anchura de fisura a lo largo de la misma. Las fisuras suelen tener abertura lineal por lo que basta con unos cuantos puntos convenientemente espaciados.

— Observando el mapa de fisuras y sus espesores se puede determinar con bastante precisión los movimientos rígidos de labios y fijar los CENTROS INSTANTANEOS DE ROTACION y las referencias fijas.

— La red de fisuras marca de alguna manera la Red de Isostáticas de compresión señalando inequívocamente los PUNTOS Duros.

— A la vista de las redes de fisuras y considerando que estas obras suelen tener DOS PLANOS DE SIMETRIA en el sentido longitudinal de la obra y en el transversal, se obtiene gran información (que permite desechar otras hipótesis) de la observación de una deformación simétrica, anti-simétrica o asimétrica.

Se denomina INSPECCION ESPECIAL aquella que reviste singular importancia por las características del daño registrado en la obra, o bien utilizada de métodos no habituales en las inspecciones convencionales. Señalemos que:

- I. Se trata de observaciones específicas más detalladas.
- II. Utiliza medios y técnicas especiales.
- III. Puede exigir apoyo de Laboratorio.
- IV. Puede incluir Prueba de Carga.
- V. En general sigue a una inspección convencional.

I. En cuanto a Observaciones Específicas complementarias en caso de los puentes de fábrica podemos tener:

INSPECCIONES SUBACUATICAS utilizando buzos y hombres-rana cuando los calados lo exijan y se teman apariciones de socavaciones, evolución de fonfos, estado de cimentaciones sumergidas, etc.

CALICATAS y levantamiento de rellenos, observaciones del trasdós y zanjas de observación de cimentaciones (geometría y estado).

PUESTA EN SECO, de cauces aprovechando los períodos de estiaje.

SONDEOS en general se realizan circulares con un diámetro de 10 cm y de la longitud requerida. Pueden incluir o no obtención de los testigos. Se utilizan para determinar espesores de bóvedas, tipos y profundidad de cimentaciones y terrenos subyacentes, etc.

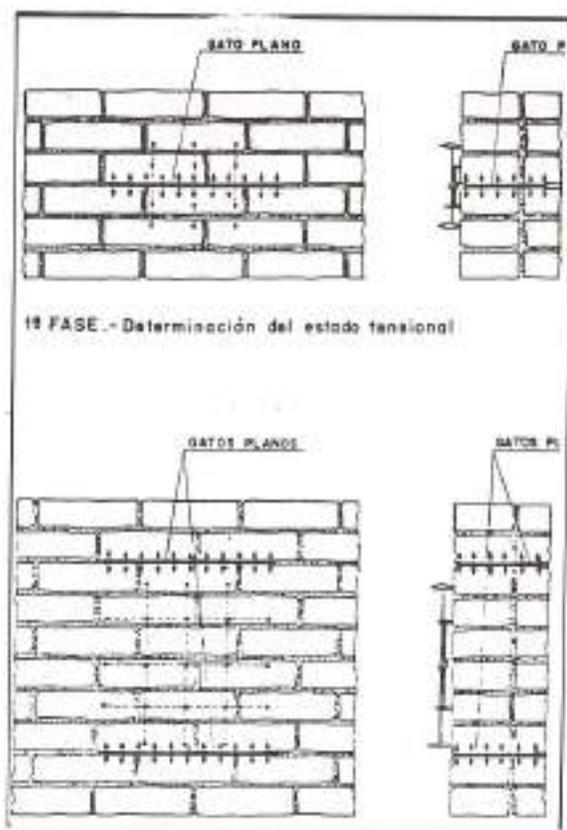


FIGURA 11. Método de los gatos planos.

II. En cuanto a medios y TÉCNICAS ESPECIALES señalemos:

ULTRASONIDOS aplicados en ciertas ocasiones para determinar el estado superficial, los defectos internos y los cambios de sección así como la homogeneidad del material.

RADIOSCOPIA para la búsqueda de elementos

metálicos o refuerzos internos (raramente utilizada en estos puentes).

GATO PLANO. Esta técnica desarrollada por R.P. Rossi se ha utilizado con éxito en fábricas de ladrillo. En la Figura 11 del texto se pueden observar las dos fases básicas que responden a las técnicas clásicas de liberación.

ENDOSCOPIA TELEVISIVA para la observación de paredes de sondeos profundos con cámara de televisión lateral.

TESTIGOS con seguimiento de aberturas a lo largo del tiempo.

PIEZOMETROS en el caso de saturación y capas freáticas. Ver Cuadro 4.

III. Los apoyos de LABORATORIO más utilizados son los siguientes:

Determinación de características resistentes de probetas obtenidas de las fábricas, curvas tensión-deformación, resistencia a tracción por el método Brasileño, etc. Las PROBETAS deben ser lo suficientemente grandes para ser representativas y si es posible incluir distintas hiladas con morteros intermedios.

ANÁLISIS QUÍMICOS del material y de los ligantes. Alteraciones que experimentan las muestras, etc.

MICROSCOPIA. Determinación de microestructuras.

ENSAYOS GEOTECNICOS para determinar el comportamiento resistente y de deformación en suelos o rellenos, con muestras inalteradas o no. Edómetros, Triaxiales.

IV. En algunos casos muy específicos puede ser necesaria la PRUEBA DE ARGAL de la estructura, instrumentándola con aparatos registradores de deformaciones o deflexiones estáticas o dinámicas.

EN INSPECCIONES DE PUENTES DE FABRICA

MEDIOS DE ACCESO: ESCALERAS, ANDAMIOS, PASARELAS
 MEDIOS DE SEGURIDAD
 EQUIPO FOTOGRAFICO DE PRECISION, TRIPODES
 EQUIPO TOPOGRAFICO NIVELES, TAQUIMETRO, PLOMADA
 UTILES ORDINARIOS DE MEDIDA Y CALIBRACION
 FISUROMETRIA

EN INSPECCIONES ESPECIALES

HILO DE INVARI
 PLOMADA OPTICA, PENDULOS
 EQUIPO DE SONDEO Y TOMA DE MUESTRAS
 FLEXIMETROS, CAPTADORES ELECTRICOS
 EQUIPO EXTENSOMETRICO
 CLINOMETROS
 PIEZOMETROS
 ENSAYOS NO-DESTRUCTIVOS
 EQUIPO SUBMARINO

CUADRO 4. Algunos medios técnicos imprescindibles.

V. Por último a la inspección seguirá el correspondiente INFORME que incluirá:

- Desarrollo y Observaciones de la Inspección
- Cálculos necesarios de Estabilidad y Tensionales

— Resultados de los distintos análisis de muestras

— Posible origen de los daños (Importante y a veces complicado)

— medidas a adoptar (testigos, seguimientos de fisuras)

— Urgencia de la reparación. Evaluando de alguna manera su estado resistente frente al ESTADO LIMITE ULTIMO. (Pueden estimarse como de ALARMA las situaciones siguientes):

- Tensiones excesivas
- Pérdidas de sillares de bóveda
- Deslizamiento cortante de dovelas
- Descenso o giro excesivo en apoyos
- Descalces y socavaciones
- Pilotajes descalzados (inestabilidad)
- Pandeo de boquillas multicapa
- Fractura de pilares
- Descolgamientos laterales

BIBLIOGRAFIA

1. AGRAWAL, SR. "Survey and tabulation method of assessment and strengthening of masonry arch bridges". Journal. Inst. Eng. of India, v. 53, Enero 1973.
2. BAGUELIN F; Cortie F.J.; Levillain J.P. "Methodes d'inspection et d'auscultation des fondations et piles des ponts anciens". Travaux, Junio 1980.
3. BENDA, L.; Baldin G; Carabelli G; Rossi PP; Sacchi G "Evaluation of the statical decay of masonry structures: methodology and practice". Bull. Ismes nº 166, 1982.
4. BOUINNEAU A. "L'interet des essais non destructifs utilisés pour l'étude de la restauration des monuments et des sculptures". Colloque International sur l'altération et protection des monuments en pierre. UNESCO-RILEM. París, Junio 1978.
5. CORNET D, Cortie J.F. "Classification des désordres observés sur les ponts-routes en maçonnerie". Coll. Intern. sur la gestion des ouvrages d'art Bruselas-París, Abril 1981.
6. DELBEQ J. M. "Michotey J.L.; Simonet P.T., "Calcul, désordres, réparation et modernisation des ponts en maçonnerie". Travaux, Dic. 1981.
7. DELBEQ J.M., Sachi G. "Restauration des ouvrages et des structures" Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. París 1984.
8. GISTI M; Russo R; Tass T. "Il restauro statico del ponte del tre carchi sulrio Cannaregio a Venezia". Industria de la Const. Vol. 15, 1981.
9. GONTIER N; Levillain J.P.; marin, J. "Ruine d'un appui de pont en maçonnerie. Les causes. Enseigne-

ments techniques". Bull. de Liaison des LCPC nº 123, 1983.

10. GRATTESAT G; "A propos de l'effondrement du pont Wilson a tours causes et enseignements de l'effondrement partiel du pont Wilson". Bull. de Liaison des LCPC nº 109, 1980.

11. Groupe horizontal de réparation des ouvrages d'art LCPC SETRA CETE "Pathologie des ouvrages d'art et étanchement des ponts en maçonnerie", 1981.

12. HEYMAN, J. "Two masonry bridges: Clare Collage Bridge and Telford's Bridge at Over" Proc. Inst. of Civil Engrs, Vol. 52, 1972.

13. HEYMAN J; Hobbs NB, Jerry BS. "The rehabilitation of Teston Bridge" Inst. of Civil Engrs, Vol. 68, 1980.

14. I.A.B.S.E. "Diagnosis and Therapy" Symposium Venecia 1983.

15. Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art 2.ª partie, Fascicule 30: "Ponts en maçonnerie". Junio 1981.

16. LCPC/SETRA. "Fondation de ponts en site aquatique en état precuaire. Guide pour la surveillance et le confortement". 1981.

17. LOOYVOET A. "Technologie des maçonneries". Lab. Central des Ponts et Chaussées. Rapport, Spt. 1981.

18. MADDISON B.R. "Under water inspection of structures" Journal and Report of Preceeding-Permanent Way Institution, Vol. 100, Nº 3, 1982.

19. MAMILLAN M. "Connaissances actuelles des essais pour évaluer les propriétés et l'état d'altération des maçonneries de briques". Proc. Conv. Il Mattone di Venezia, Oct. 1979.

20. PEIGNAUD M. "Consolidation par injections des fondations du pont de Saurmur". Bull. Liaison des LCPC nº 50, 1981.

21. PIET. YH; CHAMPION, M. "La réparation de la huitième arche du pont Jacques Gabriel sur la Loire a Blois". Bull. de Liaison des LCPC nº 101, 1979.

22. RIVERA J.E. "Puentes de Fábrica y Hormigón Armado" Madrid 1996.

23. ROSSI, PP. "Prove distruttive a non distruttive per la caratterizzazione meccanica dei materiali". Bull. ISMES nº 130, Oct. 1980.

24. ROSSI, PP. "Analysis of mechanical characteristics of brick masonry tested by means of non-destructive in situ tests". Bull. Ismes nº 167, 1982.

25. SAINZ DE CUETO F.J. "Patología de Obras de Fábrica" Boletín Bibliográfico de Ingeniería Civil nº 48 CEDEX (MOPU) Madrid 1983.

26. SAINZ DE CUETO F.J. "Inspección de Puentes de Fábrica" Boletín Bibliográfico de Ingeniería Civil nº 54 CEDEX (MOPU) Madrid 1985.

27. WASCHOWSKI, E; PILOT, G; BUSTAMANTE, M. "Comportement des appuis affouilles d'un pont du Moyen Age". Bull. de Liaison des LCPC. Spec XI F. Oct. 1981.