

CUADERNOS INTEMAC

Los accidentes de los puentes; errores de ayer y de hoy, lecciones para el mañana

Bridge accidents; past and present mistakes, future lessons

Jorge Ley Urzaiz
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director del Laboratorio Central de INTEMAC
Profesor Asociado de la UPM

Enrique González Valle
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
INTEMAC



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

N.º 85
1.º TRIMESTRE '12

INTEMAC



METIRE UT SCIAS

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
- AUDITORIAS 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

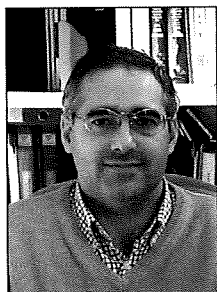
Aire
Agua
Ruido

AUDITORIA MEDIOAMBIENTAL

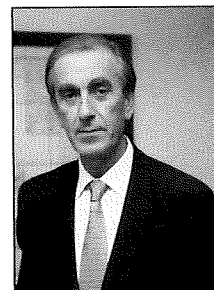
ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE

**LOS ACCIDENTES DE LOS PUENTES; ERRORES DE AYER Y DE HOY,
LECCIONES PARA EL MAÑANA**

BRIDGE ACCIDENTS: PAST AND PRESENT MISTAKES, FUTURE LESSONS



Jorge Ley Urzaiz
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
PhD., Civil Engineering
Director del Laboratorio Central de INTEMAC
INTEMAC Central Laboratory Manager
Profesor Asociado de la UPM
Associate Professor, Polytechnic University of Madrid



Enrique González Valle
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
PhD., Civil Engineering
INTEMAC

Copyright © 2012, 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-4699-2010
Infoprint, S.A. - San Vicente Ferrer, 40

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. ACCIDENTES NOTABLES DE PUENTES ENTRE 1830 Y 1950
3. ACCIDENTES NOTABLES DE PUENTES DESDE 1950 HASTA NUESTOS DÍAS
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES QUE CABE REALIZAR

CONTENTS

1. INTRODUCTION
2. SIGNIFICANT BRIDGE ACCIDENTS, 1830 TO 1950
3. SIGNIFICANT BRIDGE ACCIDENTS, 1950 TO DATE
4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

ABSTRACT

Austrian Professor Fritz Von Emperger [34], in 1909 already highlighted the need in construction accidents, even those without victims, should be made comprehensive reports by competent professionals so that they could learn the errors that had led to claims. A circular from the German Ministry of Public works in 1911 and another of the same year from the Imperial and Royal Public Works Ministry in Austria impinged on it. In Spain, Professor Eugenio Ribera, in his last "lecture" (published in 1931 in the Revista de Obras Públicas) describes the mistakes he made, labeling them as lessons that would serve to make others do not commit.

In this short paper we have tried to remember some of the errors that become serious accident bridges and we also wanted to point out how, in our opinion, some easy to implement measures could mitigate the risk of further accidents showing up.

1. INTRODUCTION

In recent years, over 90 people have lost their lives in accidents on bridges under construction or in service. The most recent catastrophe involved an accident on a cable-stayed bridge under construction on 25 December 2009 at Kota, Rajasthan in India, that caused 54 deaths. Taking the statistics back 10 years brings the number of fatalities to a dreadful 547. The failure of bridges under construction in Spain has recently cost lives at Almuñécar (6 victims) and in Navarre (3 victims). Some years earlier, two persons were hurled to their death off a bridge on national road II near Esparraguera when the foundations failed. In neighbouring Portugal, on 5 March 2001 54 workers were killed in an accident on a bridge over the River Duoro at Castelo de Paiva, an incident discussed at greater length below.

The human cost of these accidents is obviously unquantifiable, but construction over-costs and delays are huge.

All these considerations have spurred an analysis of the origin and consequences of the most important accidents recorded in the last 180 years, as well as a number of recommendations that the authors believe would prevent or at least reduce the likelihood of further disasters.

2. SIGNIFICANT BRIDGE ACCIDENTS, 1830 TO 1950

Historically, perhaps the best known collapses involved two suspension bridges: one, Broughton Bridge [1] at Manchester, which caused 20 deaths in 1831 when it crumbled under the rhythmic marching of an army brigade (inducing changes in British military practice); and the other at Angers [2] in France whose 102-m span bridge collapsed on 16 April 1850, killing 226 of the 478 soldiers who were parading across it (the commission in charge of studying the accident, headed by Louis Vicat, attributed it to a combination of resonance and corroded anchorages)

This also led the French army to require its soldiers to break formation when marching over bridges. In 1905 St Petersburg's so-called Egyptian Bridge suddenly collapsed under a regiment of soldiers, although surprisingly none were killed.

RESUMEN

El Profesor austriaco Fritz Von Emperger [34] en 1909, señalaba ya la necesidad de que en los accidentes de las construcciones, incluso en aquellas sin víctimas, debían realizarse informes exhaustivos efectuados por profesionales competentes de forma tal que pudiera aprenderse de los errores que habían originado los siniestros. Una circular del Ministerio de Obras Públicas alemán de 1911 y otra circular del mismo año del Ministerio Imperial y Real de Obras Públicas de Austria incidían en ello. En España, el profesor Eugenio Ribera en su última "lección" (publicada en 1931 en la Revista de Obras Públicas) describe los errores que cometió, señalándolos como lecciones que han de servir para que otros no los comentan.

En este breve texto hemos tratado de recordar algunos de los errores que produjeron graves accidentes de puentes y también hemos querido apuntar como, en nuestra opinión, algunas medidas fáciles de implementar podrían atenuar el riesgo de aparición de nuevos siniestros.

1. INTRODUCCIÓN

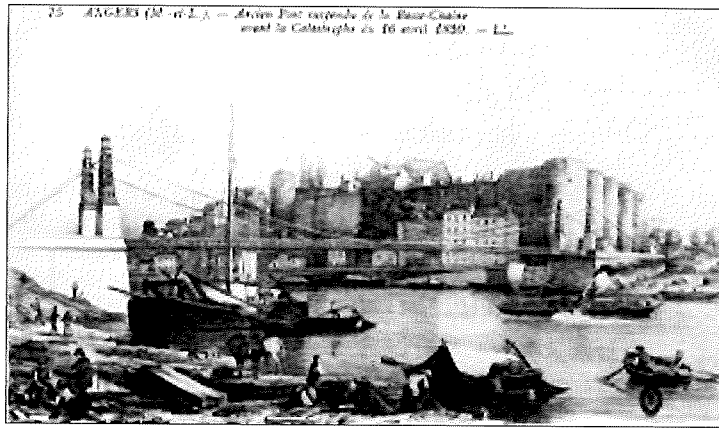
En los últimos años, más de noventa personas han perdido la vida en distintos siniestros relacionados con la construcción de puentes o a consecuencia de su colapso súbito estando en servicio. El último gran siniestro ha sido el accidente de un puente atirantado en construcción el 25 de diciembre de 2009 en Kota, Rajasthan en la India que ha causado más de 54 víctimas mortales. Si nos remontamos a los últimos diez años, el número de fallecidos asciende a la enorme cifra de 547 personas. En España hemos sufrido recientemente algunos accidentes en puentes en construcción con víctimas [puente de Almuñécar (6 muertos), puente en Navarra (3 víctimas)] y, remontándonos mas allá en el tiempo, podemos recordar a las 2 víctimas consecuencia de la caída del puente de la N II en la localidad de Esparraguera, debido a la socavación de su cimentación. En España y por su proximidad tenemos muy presente el accidente del puente sobre el río Duero en Castelo de Paiva (Portugal) que produjo 54 muertes el 5 de marzo de 2001 y del que más tarde hablaremos.

El costo de estos siniestros en vidas humanas obviamente no puede cuantificarse, pero los sobrecostos y problemas de plazo que generan estos accidentes son enormes.

Todo ello nos ha llevado a analizar y recordar el origen y las consecuencias de los accidentes más importantes que han ocurrido en los últimos 150 años. Finalmente nos hemos permitido expresar algunas recomendaciones que, a nuestro juicio, evitarían o al menos disminuirían la posibilidad de que se produjeran nuevos desastres.

2. ACCIDENTES NOTABLES DE PUENTES ENTRE 1830 Y 1950

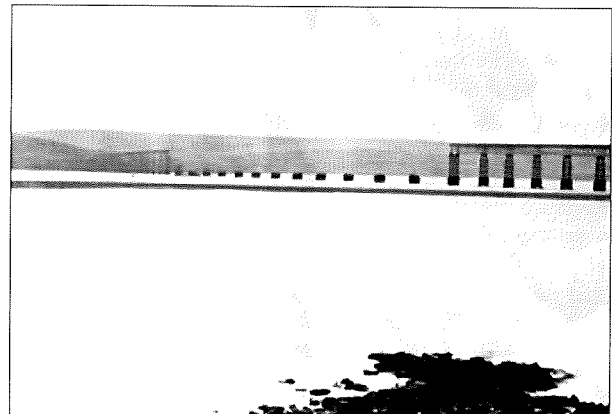
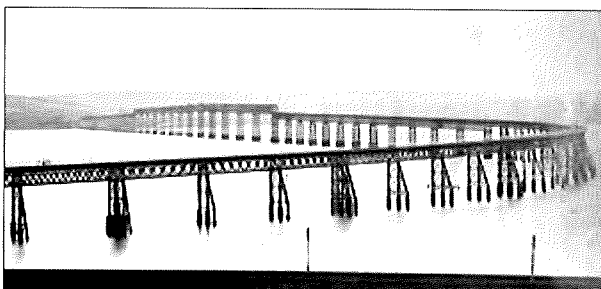
Históricamente, quizá los colapsos más conocidos son los del Broughton Suspension Bridge [1] en 1831 en Manchester, que produjo 20 muertes a consecuencia del desplome del puente al marchar rítmicamente una brigada (conllevó cambios en la instrucción militar británica) y sobre todo el del puente colgante de Angers [2] en Francia (salvaba una luz de 102 m) y que el 16 de abril de 1850 causó 226 muertos al desplomarse cuando desfilaban sobre él 478 soldados en formación. Louis Vicat lideró la comisión encargada del estudio de este último siniestro que concluyó achacando el accidente a fenómenos resonantes unidos la corrosión de los anclajes.



Photograph 1. Angers Bridge
Fotografia 1. Puente de Angers

The Ashtabula Bridge disaster [3] in Ohio, USA, on 29 December 1876 caused 92 fatalities collapsed under a railway convoy. The accident led to a review of all the nation's other wrought iron truss bridges. The commission that studied the accident concluded that faulty design and construction were responsible. Both the design engineer Charles Collins and the chief resident engineer during construction, Amasa Stone, committed suicide shortly after the accident.

During a heavy storm on 28 December 1879, a train tumbled off Tay Rail Bridge [4] in Scotland, causing 79 fatalities. Tay Rail, a wrought iron truss bridge with 8-m deep trusses, was over 3.2 km long, the longest in the world at the time, with 88 spans measuring approximately 26 m each. The piers were also made of iron. The accident was attributed to the design underestimate of the wind action and a lack of maintenance that had worsened the poor condition of the wrought iron trusses. Sir Thomas Bouch, at the time one of the most highly reputed English engineers who had not only authored the design but also supervised bridge construction (it was commissioned in February 1878) and maintenance, was formally indicted for faulty design. When the accident occurred, Bouch was in the midst of designing Forth Bridge, in which he had trebled the wind action. After the Tay Bridge accident, responsibility for designing Forth Bridge was assumed by Benjamin Baker and Sir John Fowler. Bouch died the following year.



Photograph 2. Tay Rail Bridge
Fotografia 2. Puente de Tay Rail

Switzerland's all-time worst railway bridge disaster, the Mönchenstein accident [5, 6] caused 73 fatalities on 14 June 1891. This truss bridge, designed and built in 1875 by Eiffel, had a 42-m span and two 6.20-m deep wrought iron Warren truss girders. Its collapse was initially attributed to train derailment, although an investigation of the causes was subsequently conducted under the leadership of Professor Ludwig Von Tetmajer, first director and founder of the Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (EMPA). This task group ultimately concluded that the

También forzó en Francia la obligación de romper la formación cuando los soldados marchaban sobre los puentes. Curiosamente en 1905 en San Petesburgo, el llamado Puente Egipcio colapsó súbitamente sin causar víctimas cuando un regimiento marchaba sobre él.

El desastre del puente de Ashtabula [3], en Ohio (USA), el 29 de diciembre de 1876 produjo 92 muertos al colapsar al paso de un convoy ferroviario; se trataba de un puente de celosía de hierro forjado. Su caída produjo la revisión de todos los puentes construidos del mismo tipo en EE.UU, y la comisión que estudió este siniestro concluyó que su diseño y construcción habían sido erróneos. Tanto el Ingeniero proyectista, Charles Collins, como el ingeniero responsable de su construcción Amasa Stone, se suicidaron poco después del desastre.

El siniestro del Tay Rail Bridge [4] en Escocia durante una fuerte tormenta el 28 de diciembre de 1879 produjo 79 víctimas mortales al desplomarse el tren que circulaba sobre él. El puente Tay Rail tenía más de 3,2 km de longitud y en aquella época era el puente más largo del mundo, con 88 vanos de aproximadamente 26 m de longitud. La estructura resistente estaba formada por dos celosías de hierro forjado de 8 m de canto colocadas en los laterales del tablero. Las pilas eran también metálicas. El accidente se achacó a que el diseño había infravalorado la fuerza del viento y la falta de mantenimiento había agravado el mal estado de las celosías de hierro forjado. Sir Thomas Bouch, que por entonces uno de los más reputados ingenieros ingleses y no solo había sido responsable del diseño sino también de su construcción (el puente se inauguró en febrero de 1878) y del mantenimiento, fue formalmente acusado de haber proyectado inadecuadamente el puente. Por entonces, Bouch estaba proyectando el Forth Bridge y utilizando en sus cálculos una fuerza del viento tres veces mayor. A raíz del accidente del Tay Bridge, se encargaron del proyecto del Forth Bridge Benjamin Baker y Sir John Fowler, Bouch murió un año más tarde.

El desastre del puente ferroviario de Mönchenstein [5, 6] el 14 de Junio de 1891, fue el peor accidente ferroviario de Suiza y produjo 73 víctimas. Este puente, diseñado y construido en 1875 por Eiffel, salvaba un vano de 42 m y constaba de dos vigas de celosía Warren de 6,20 m de canto en hierro forjado. Si bien inicialmente se achacó su caída al descarrilamiento del tren sobre él, el Profesor Ludwig Von Tetmajer primer director y fundador del EMPA lideró el equipo que estudio las causas de este siniestro y, finalmente, concluyó con la necesidad de corregir las fórmulas de Euler del pandeo de piezas esbeltas, ya que el fallo de estas piezas había originado el siniestro. En descargo de Eiffel cabe indicar que el puente había sido reforzado en 1890 para el incremento de cargas que iba a soportar al entrar en servicio las líneas ferroviarias de Alsacia y Lorena, al modificarse las líneas internacionales en ese año.



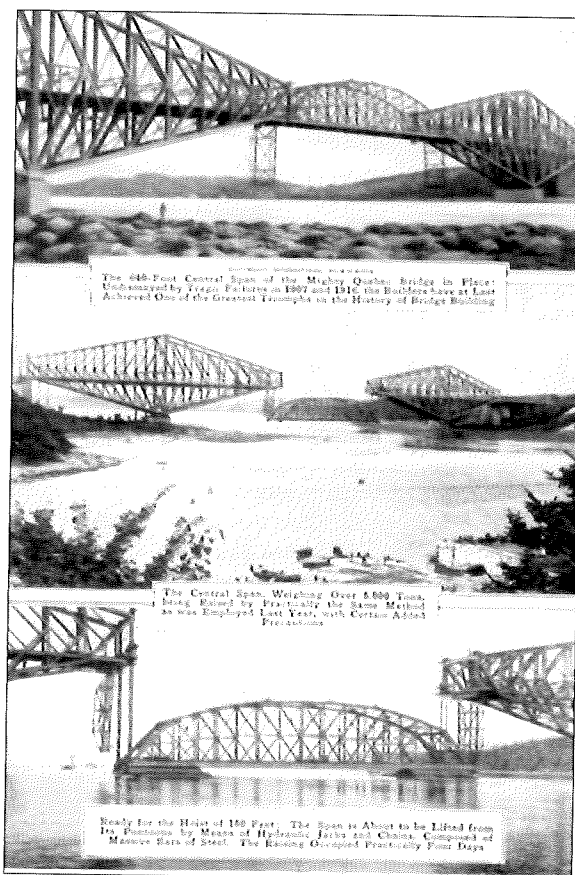
Fotografía 3. Puente de Mönchenstein
Photograph 3. Mönchenstein Bridge

Los colapsos del puente de Québec [7] (549 m de luz su vano central) durante su construcción el 27 de Agosto de 1907, y posteriormente de nuevo el 11 de septiembre de 1916, costaron 86 vidas. En este caso, el primero de los accidentes fue consecuencia de un cálculo erróneo (el puente no era capaz de soportar su propio peso) del ingeniero proyectista Theodore Cooper. El segundo accidente fue consecuencia de un error constructivo.

El accidente del puente de Sandö [8] en Suecia durante su construcción, el 31 de agosto de 1939, produjo la muerte de 18 obreros, pero no tuvo gran repercusión mediática por coincidir en el tiempo con el inicio de la Segunda Guerra Mundial. No obstante, este puente tuvo la singularidad de ser el mayor arco de hormigón del mundo, 264 m de luz, entre los años 1943 (fecha en la que concluyó su reconstrucción) y 1964.

accident was due to failure of the slender members on the bridge and recommended correcting the Euler formulas for buckling in such elements. Be it said in Eiffel's defence that the bridge had been strengthened in 1890 to adjust for the heavier loads it would have to bear after the commissioning that same year of the new Alsace-Lorraine rail lines as a result of the changes in international rail traffic underway at the time.

Quebec Bridge [7] (with a 549-m central span) collapsed twice during construction: on 27 August 1907 and subsequently on 11 September 1916, with a total human cost of 86 lives. The first accident was the result of erroneous engineering (the bridge was unable to bear its self-weight) on the part of Theodore Cooper, the design engineer. The second was due to a construction error.

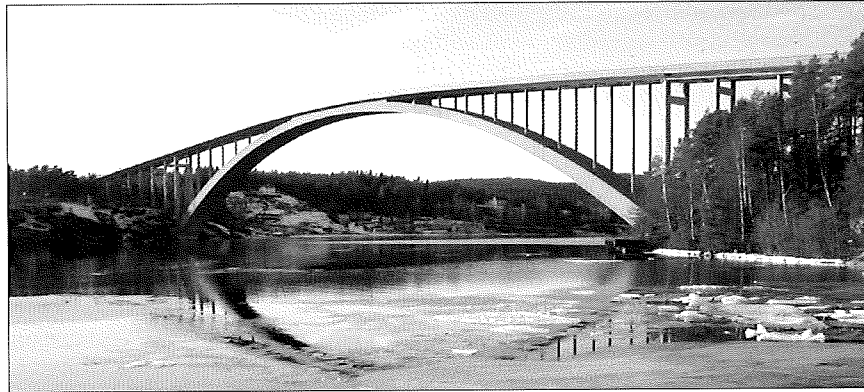


Photograph 4. Quebec Bridge
Fotografía 4. Puente de Quebec

The accident that occurred during the construction of Sandö Bridge [8] in Sweden on 31 August 1939 killed 18 workers, but had little media impact because it concurred with the beginning of the Second World War. From 1943 (when reconstruction was completed) to 1964 this bridge boasted the longest concrete arch in the world, with a span of 264 m.

The accident occurred when the formwork suddenly failed under the weight of the fresh concrete. Although in 1939 a commission headed by Professor Forsell identified the probable cause of the accident as erroneous dimensioning of the enormous wooden arch used as centring, it was not until 1961 that Professor Granholm [9] showed that the form design was faulty, for it was unable to resist the lateral buckling induced. By way of curiosity, concrete creep has caused the bridge to sag at mid-span by over 500 mm since 1943 when it was commissioned.

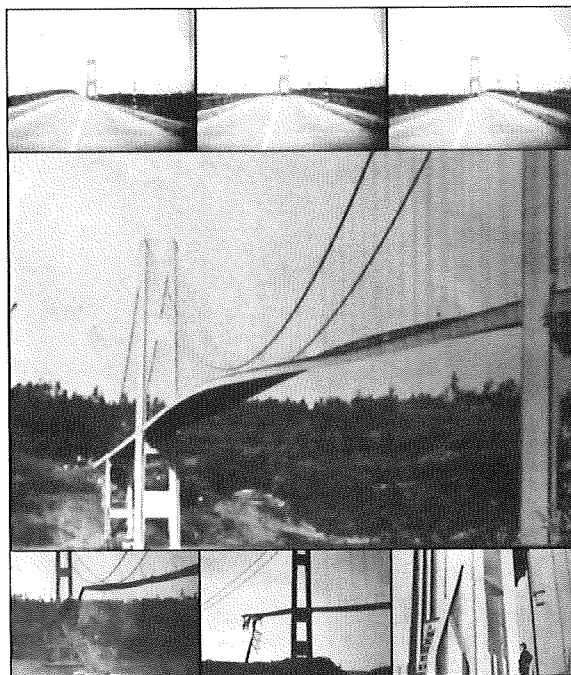
The Tacoma, a suspension bridge designed by Moisseif (the same engineer who designed the Golden Gate), which at the time of its collapse was the third longest of its type in the world, was commissioned for use on 1 July 1940 and failed on 7 November of that same year, causing an accident that has been widely studied. The reason for its failure, an insufficiently studied aerodynamic design, led to the strengthening of several similar bridges and to the modification



Fotografía 5. Puente de Sandö
Photograph 5. Sandö Bridge

El accidente se produjo cuando el encofrado cedió súbitamente bajo el peso del hormigón fresco. Pese a que ya en 1939 una comisión dirigida por el profesor Forsell señaló que la causa probable del siniestro fue un incorrecto dimensionamiento del enorme arco de madera que servía de encofrado, no fue hasta 1961 cuando el profesor Granholm [9] demostró que se trató de un error de diseño de los encofrados, ya que no resistían convenientemente el pandeo lateral al que estaban sometidos. Como curiosidad, señalar que se han medido más de 500 mm de flecha en el centro de vano desde su apertura en 1943 hasta nuestros días, a consecuencia de la fluencia del hormigón.

El colapso del puente colgante de Tacoma, que en el momento de su colapso era el tercer puente más largo del mundo dentro de su tipología y que había sido proyectado por el ingeniero Moisseif (el mismo ingeniero que proyectó el Golden Gate) y que había sido abierto al tráfico el 1 de julio de 1940 sucedió el 7 de noviembre del mismo año y sí ha sido profusamente difundido. La razón de su caída, un diseño aerodinámico poco cuidado, conllevó el refuerzo de varios puentes similares e hizo modificar el diseño de los puentes colgantes en lo sucesivo. Hay que destacar que el diseño de Moisseif ganó el concurso frente a otros puentes de tablero más rígido por la teórica mayor economía que suponía frente al resto. Probablemente si el tablero hubiera sido más rígido los fenómenos aerodinámicos comentados no se hubieran producido. Es preciso señalar que, durante los primeros años tras el desastre, se señalaron los fenómenos resonantes como los causantes del siniestro [10].

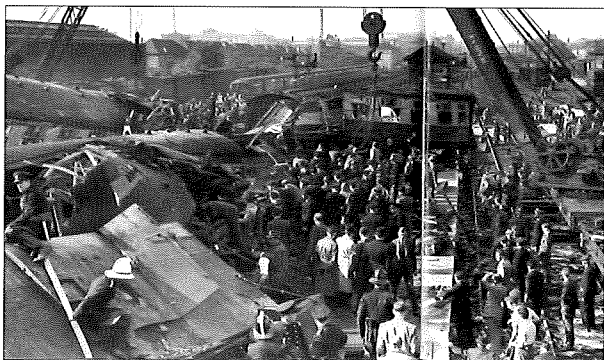


Fotografía 6. Puente de Tacoma
Photograph 6. Tacoma Bridge

of suspension bridge design thereafter. Moisseif's design was chosen over other bridges with stiffer decks because of the theoretical savings its construction would entail. A stiffer deck would very likely have withstood the aerodynamic forces mentioned. Nonetheless, resonance was believed to be the cause for the first few years after the disaster [10].

3. SIGNIFICANT BRIDGE ACCIDENTS, 1950 TO DATE

The nineteen fifties saw four very serious railway bridge accidents that together caused over 400 deaths. These involved the Harrow and Wealdstone footbridge, in 1952, which with 111 fatalities was the worst railway accident recorded in the United Kingdom [11]; the River Whangaehu Bridge at Tangiwai, New Zealand [12,13], which on 24 December 1953 caused 151 deaths and was, in turn, that country's worst railway accident; the railway bridge at Saint Johns Station at Lewisham in London, UK on 4 December 1957, with 90 deaths [14]; and Second Narrows Bridge at Vancouver, Canada [15] on 17 June 1958, which caused 19 fatalities. The accidents in the United Kingdom were strictly railway accidents involving collisions, whereas in New Zealand one of the piers supporting the bridge failed after it had been hollowed out by heavy flooding. In Canada, a self-weight engineering error in one of the ancillary structures led to the collapse of the bridge during construction.



Photograph 7. Saint Johns Bridge at Lewisham, London, UK
Fotografía 7. Puente Saint Johns en Lewisham (Londres, UK)



Photograph 8. Second Narrows Bridge, Vancouver, Canada
Fotografía 8. Puente Second Narrows (Vancouver, Canada)

The Silver Bridge accident in Ohio [7] took 46 lives in 1967. The investigation concluded that the accident affecting this suspension bridge, built in 1928, occurred when a link in one of the chains failed. That accident led to a revision of all similar bridges in the USA and closure of at least one due to similar flaws. Nonetheless, the calculations showed that its design was more than sufficient to bear loads four times greater than the design load. Faulty conservation and the absence of inspection and maintenance tasks were what ultimately brought it down.



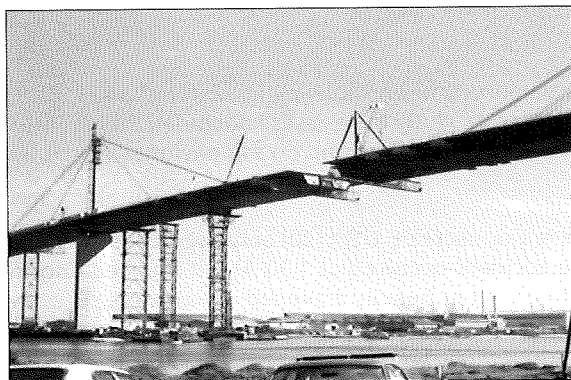
Photograph 9. Silver Bridge
Fotografía 9. Silver Bridge

3. ACCIDENTES NOTABLES DE PUENTES DESDE 1950 HASTA NUESTROS DÍAS

En la década de los 50 se produjeron cuatro muy graves accidentes en puentes ferroviarios que causaron mas de 400 víctimas. Fueron los accidentes de la pasarela peatonal de Harrow and Wealdstone, en 1952, que con 111 muertos es el peor accidente sufrido por los ferrocarriles del Reino Unido [11], el accidente del puente sobre el río Whangaehu en Tangiwai, Nueva Zelanda [12,13] que el 24 de diciembre de 1953 produjo 151 muertos y es también el peor accidente ferroviario de aquel país; el colapso del puente de ferrocarril en la estación de Saint Johns en Lewisham (Londres, UK), produjo el 4 de diciembre de 1957, 90 muertes [14]. El 17 de junio de 1958 tuvo lugar el accidente del puente Second Narrows en Vancouver (Canadá) [15], que causó 19 muertes. Los accidentes ocurridos en el Reino Unido fueron accidentes puramente ferroviarios, pues el choque de trenes causó el siniestro, mientras que en el puente de Nueva Zelanda, una fuerte riada había producido la socavación de una de las pilas y ello conllevó su caída. En el caso del puente de Canadá, un error en el cálculo del peso propio de una estructura auxiliar fue el que produjo el colapso del puente durante su construcción.

El accidente del Silver Bridge en Ohio [7], ocurrido en 1967, causó 46 muertos. El puente, construido en 1928, era un puente colgante y la investigación del incidente concluyó que el fallo de un eslabón de una de las cadenas fue lo que originó el accidente. Este siniestro conllevó la revisión de todos los puentes similares en EE.UU. y el cierre al servicio de al menos uno de ellos por presentar fallos similares. No obstante, hay que destacar que los cálculos concluyeron que su diseño era más que suficiente para soportar cargas cuatro veces superiores a las de su diseño. Lo deficiente había sido su conservación y la ausencia de tareas de inspección y mantenimiento.

El accidente del puente West Gate en Victoria (Australia) [17], ocurrido durante su construcción el 15 de octubre de 1970, produjo la caída del tramo de 112 m de longitud entre las pilas 11 y 12 y la muerte de 35 obreros que se encontraban en él trabajando. A raíz del colapso, se creó una comisión que concluyó que la causa del siniestro fue la no consideración correcta del sistema constructivo en el diseño estructural de la oficina de proyectos Freeman y Fox (una de las más reputadas de Oceanía, autoras por ejemplo del puente sobre la bahía de Sidney) y el proceso constructivo muy complejo empleado por la empresa constructora (World Services Construction). El día del accidente se había producido una flecha diferencial de 11,4 cm entre los dos semitableros metálicos construidos desde cada una de las pilas, y se decidió lastrar el semitablero con menor flecha con 88 toneladas. Cuando se dispuso la totalidad de esta sobrecarga, se produjo una torsión brusca del tablero y el pandeo de algunos rigidizadores. Para corregirlo se retiraron unos tornillos de la sección y sobrevino el colapso. La Comisión que estudió las causas del siniestro concluyó que los márgenes de seguridad caso de no haberse producido el siniestro, tampoco serían los exigidos por la normativa en vigor una vez que se hubiera puesto en servicio el puente.

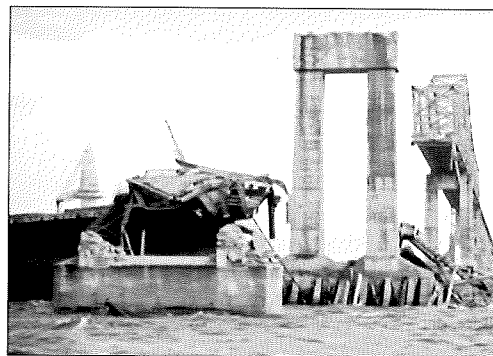


Fotografía 10. West Gate Bridge
Photograph 10. West Gate Bridge

En la década de los 70 e inicios de los 80 los accidentes más graves fueron los originados por choques de barcos contra las pilas. El siniestro con mayor número de víctimas fue el de Sunshine Skyway en St Petersburg (Florida, EE.UU.) que produjo 35 víctimas mortales cuando el 9 de Mayo de 1980 un carguero golpeó una de las pilas e hizo caer el vano central de 366 m de longitud. El puente, concluido en 1954, respondía al diseño de los puentes cantilever de celosía metálica, muy comunes en EE.UU. en los años 40 y 50.

In the West Gate Bridge accident at Victoria, Australia [17] on 15 October 1970 the 112-m span between piers 11 and 12 caved in during construction, inducing the death of the 35 men who were working on it. The commission created after the collapse attributed the accident to the construction system, which had been unsatisfactorily engineering in the structural design authored by the firm Freeman and Fox (one of the most highly reputed firms in Oceania, designers of the bridge over Sidney Bay), and to the very complex construction process applied by the contractor (World Services Construction). On the day of the accident, one of the steel half-decks was loaded with 88 tonnes of ballast to correct a 11.4-cm differential sag between it and the other half-deck, built from the opposite pier. When the first half-deck twisted abruptly under the ballast, some of the stiffeners buckled. The subsequent removal of a number of bolts from the section to correct the torque sufficed to cause the deck to collapse. The commission that studied the causes of the accident concluded that even if it had not occurred, the safety margins envisaged for the completed bridge would not have been compliant with the legislation in effect.

In the nineteen seventies and eighties, the most serious accidents occurred when vessels collided with bridge piers. The accident with the largest number of fatalities involved a bridge on Sunshine Skyway at St Petersburg, Florida, USA, where 35 people were killed when a cargo steamer ran into one of the piers, bringing down the 366-m long centre span. Like many other bridges built in the USA in the nineteen forties and fifties, Sunshine Skyway, built in 1954, was a cantilevered steel truss bridge.



Photograph 11. Sunshine Skyway Bridge
Fotografía 11. Puente Sunshine Skyway

On 15 April 1982, a post-tensioned concrete bridge under construction on Highway I-912 in Indiana [18,19] collapsed during construction, causing 14 deaths. The commission created to study the causes concluded that failure was due to a combination of inappropriate foundations under the provisional formwork and poorly designed forms built without sufficiently clear or technically justified drawings.

On 28 June 1983 a section of bridge over the River Mianus in Connecticut, USA [20] collapsed causing 3 deaths. While the number of casualties was relatively small because the accident occurred at 1:30 AM, it aroused enormous social concern because the bridge formed part of one of the state's most heavily travelled motorways. The investigation revealed that corrosion at the steel deck joints and a total lack of maintenance were at the root of the disaster. The accident, which as noted could have been much more serious, focused public awareness on the poor condition of the bridges in one of the most prosperous areas of the USA. At the time, the state had only 12 inspectors for over 4800 bridges. After the accident, bridge inspection resources were increased and in ten years' time the number of functionally obsolete bridges declined from 60 to 28 % (according to the FHWA's National Bridge Inventory).

The recommendations put forward by the commission created for this purpose by the National Transportation Safety Board are summarised below:

- need for a larger and more highly qualified staff for bridge maintenance
- improvements in the design and conservation of the drainage system around the joints
- installation of suitable means of access to conduct inspections with the degree of detail and safety required.

El 15 de abril de 1982, un puente de hormigón postesado en construcción en la carretera 912 de Indiana [18,19] se desplomó durante su construcción causando catorce muertos. La Comisión creada con objeto de estudiar las causas, concluyó que el fallo fue debido a la inadecuada cimentación provisional de un encofrado, en conjunción con un encofrado deficientemente diseñado y ejecutado sin planos definidos ni suficiente justificación técnica que los avalara.

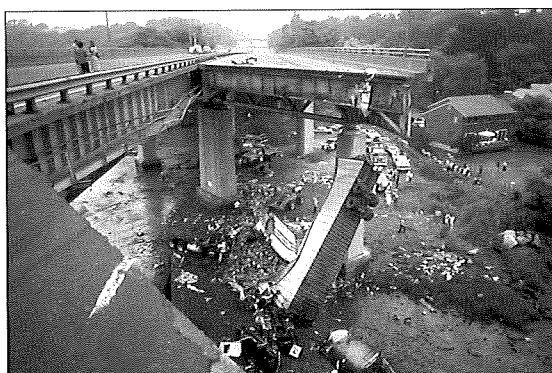


Fotografía 12. 912 Interstate Bridge Indiana
Photograph 12. Bridge on I-912 in Indiana, USA

El 28 de junio de 1983 un tramo de puente sobre el río Mianus en Connecticut (EEUU) [20] colapsó provocando pocas víctimas mortales (3) porque el siniestro se produjo a las 01:30 horas, pero produjo una enorme alarma social porque se trataba de un puente en una de las autopistas de mayor tráfico del estado. La investigación del siniestro puso de relieve que la corrosión de las uniones del tablero metálico y la total falta de mantenimiento había originado el siniestro. Como ya se ha señalado, el desastre pudo haber sido gravísimo y, además, hizo llegar a la opinión pública el deficiente estado de los puentes en una de las zonas de más prósperas de los EEUU de América. Por esas fechas únicamente 12 inspectores de puentes se ocupaban del estado de más de 4.800 puentes. A raíz del accidente se incrementaron los recursos para el estudio de los puentes y se redujo en diez años el número de puentes funcionalmente obsoletos del 60% al 28% (de acuerdo al FHWA's National Bridge Inventory).

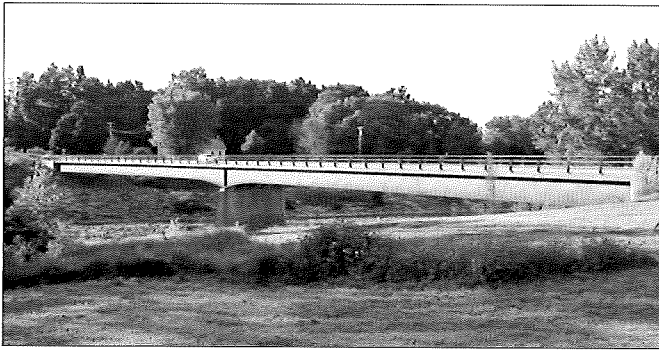
Las conclusiones de la comisión creada al efecto por el National Transportation Safety Board fueron, resumidamente, las siguientes:

- Necesidad de incrementar el personal encargado del mantenimiento de los puentes y mejora de su formación.
- Mejora del diseño y conservación del sistema de drenaje de aguas en la zona de juntas.
- Instalación de medios de acceso adecuados para poder realizar las inspecciones con el detalle y la seguridad adecuadas.



Fotografía 13. I-95 Puente sobre el río Mianus
Photograph 13. Bridge over River Mianus on I-95

On 5 April 1987, the Schoharie Creek Bridge at Albany, New York, USA [21, 22, 23 and 24] collapsed after thirty years of service, killing 10 people in vehicles that happened to be crossing the bridge at the time. It tumbled when the foundations on one of its central piers was washed hollow by a flood with a 50-year return period. In the first few years of its life, the bridge had withstood a flood with a 100-year return period. The two isostatic steel girders forming the deck that straddled its five 34-m spans rested on concrete piers supported, in turn, by footings. The commission that studied the accident concluded that the foundations would not have been damaged if the sheet piles built during construction had not been removed and suggested that meticulous inspection of the submerged areas would have detected the gradual hollowing of the foundations.



Photograph 14 (I). Schoharie Creek Bridge before and after the accident
Fotografía 14 (I). Puente Schoharie Creek antes y después del siniestro.

On 21 October 1994, Seongsu Bridge collapsed at Seoul, South Korea [25], killing 32 people when their vehicles were hurled into the River Han. The Seongsu was a 1 160-m long steel cantilever bridge built in 1979. A study of the accident found that the thickness of the weld throats was actually 8 rather than the 10 mm specified in the design and that this had induced the collapse of the 48-m long span between piers 5 and 6.



Photograph 14 (II). Seongsu Bridge
Fotografía 14 (II). Puente de Seongsu

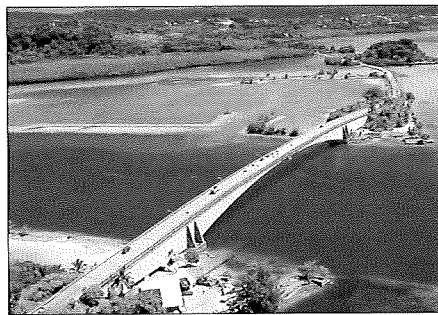
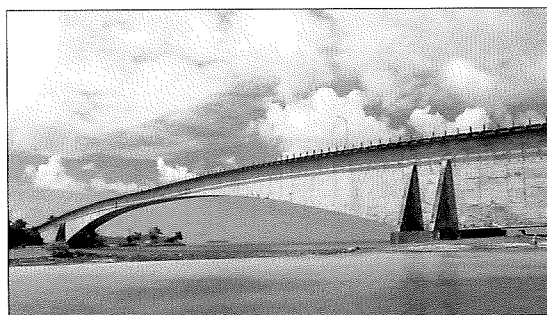
Koror-Babeldaob Bridge at Palau [26] failed on 26 September 1996, causing two deaths and interrupting the flow of electric power and water between the islands of Koror and Babeldaob. This 385.6-m long cantilever bridge had a prestressed concrete box section and a central span measuring 240.8 m. The longest of its type in the world from 1978 to 1985,. it was designed by Alfred A. Yee and Associates and built by Dyckerhoff & Widmann AG.

By 1990, the crown of this very handsome bridge had sagged by 1.2 m due to concrete creep. The study commissioned by the Palau Government from Louis Berger International consultants and the Japan International Cooperation Agency concluded that the bridge was safe but could be expected to sag by a further 1.0 m. The Government therefore commissioned a further study to solve the aesthetic and functional problem. The repair and strengthening study, supervised by Louis Berger Group consultants, changed the initial bearing scheme of the bridge

El 5 de abril de 1987 el puente Schoharie Creek en Albany (estado de Nueva York, EE.UU) [21, 22, 23 y 24] se desplomó después de tres décadas en servicio produciendo 10 muertos al caer los vehículos que circulaban sobre él. El puente cayó al socavarse la cimentación de sus pilas centrales bajo una riada con un periodo de retorno de 50 años. En sus primeros años de vida el puente había resistido una riada con un periodo de retorno de 100 años. El puente, de 5 vanos de aproximadamente 34 m de luz, estaba constituido por un tablero metálico formado principalmente por dos vigas metálicas isostáticas que apoyaban en pilas de hormigón que descansaban, a su vez, en zapatas. La comisión que estudió el siniestro concluyó que la socavación de la cimentación no se hubiera producido si no se hubieran retirado las tablestacas utilizadas durante la construcción de la cimentación y que la inspección meticulosa de las zonas sumergidas habría detectado el progresivo descalce de la cimentación.

El 21 de octubre de 1994 se produjo el colapso del puente de Seongsu en Seúl (Corea del Sur) [25] y la muerte de 32 personas al caer sus vehículos al río Han. Se trataba de un puente cantilever metálico de 1.160 m de longitud construido en 1979. El estudio del siniestro concluyó que el espesor de la garganta de las soldaduras era en realidad de 8 mm y no de 10 mm como fijaba el proyecto y que ese hecho había provocado el colapso del vano de 48 m de longitud entre las pilas 5 y 6.

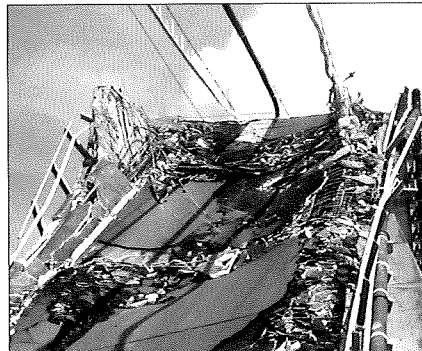
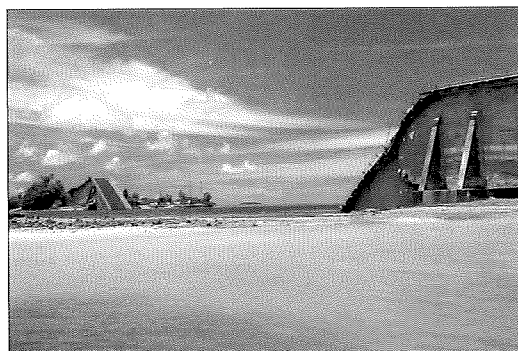
El puente Koror-Babeldaob en Palau [26], colapsó el 26 de septiembre de 1996 provocando 2 muertos interrumpiendo, además, el flujo de corriente eléctrica y agua entre las islas de Koror y Babeldaob. El puente era un puente cantilever con sección cajón de hormigón pretensado con una longitud total de 385,6 m y un vano central de 240,8 m. y entre 1978 y 1985 fue record del mundo de su tipología. Fue proyectado por Alfred A. Yee and Associates y construido por Dyckerhoff & Widmann AG.



Fotografías 15 y 16. Puente Koror-Babeldaob
Photographs 15 and 16. Koror-Babeldaob Bridge

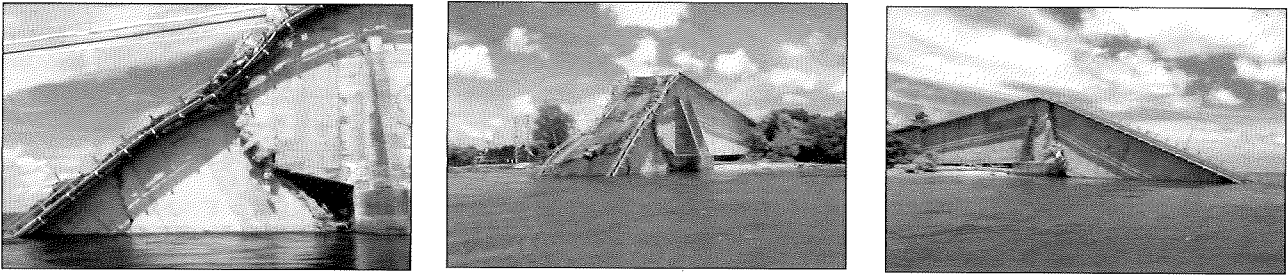
El puente, de gran belleza, presentaba en 1990, a consecuencia de la fluencia del hormigón, un descenso en clave de 1,2 m y el gobierno de Palau solicitó a la consultora Louis Berger International y a la Agencia Internacional de Cooperación de Japón un estudio que concluyó con que el puente era seguro, pero que aún era esperable una flecha diferida adicional de 1,0 m. Por ello el gobierno encargó un estudio que solventará el problema estético y funcional del puente. El estudio de reparación y refuerzo dirigido por la consultora Louis Berger Group cambió el esquema inicial de trabajo del puente, que presentaba una rótula en la clave, y reforzó el puente colocando ocho tendones de pretensado que cruzaban longitudinalmente el puente.

Además, se colocaron 12 gatos en centro de vano y se añadieron a la losa hasta 500 mm de espesor en la zona central del vano. Tres meses después de llevar a cabo las operaciones de refuerzo señaladas se produjo súbitamente el colapso del puente.



Fotografías 17 y 18. Puente Koror-Babeldaob
Photographs 17 and 18. Koror-Babeldaob Bridge

In addition, 12 jacks and a 500-mm thick slab were positioned at mid-span. Three months after these strengthening operations, the bridge underwent sudden collapse.



Photographs 19, 20 and 21. Koror-Babeldaob Bridge
Fotografías 19, 20 y 21. Puente Koror-Babeldaob

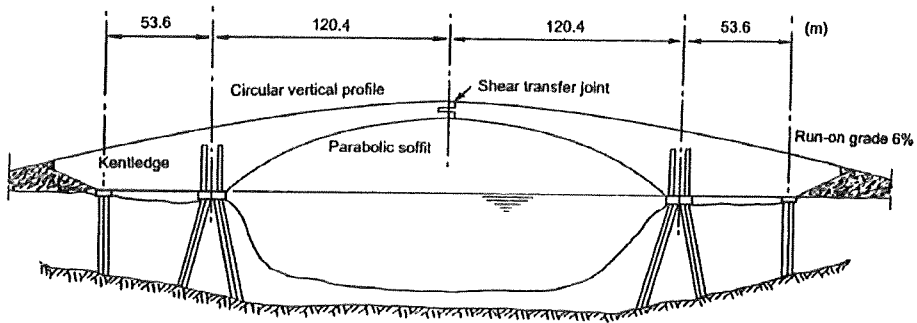


Figure 1. Sketch of Koror-Babeldaob Bridge
Figura 1. Croquis del Puente Koror-Babeldaob

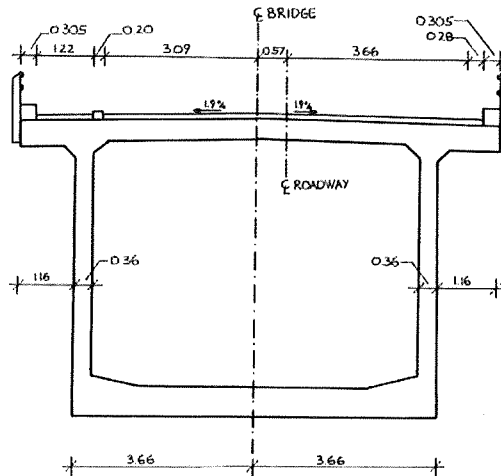
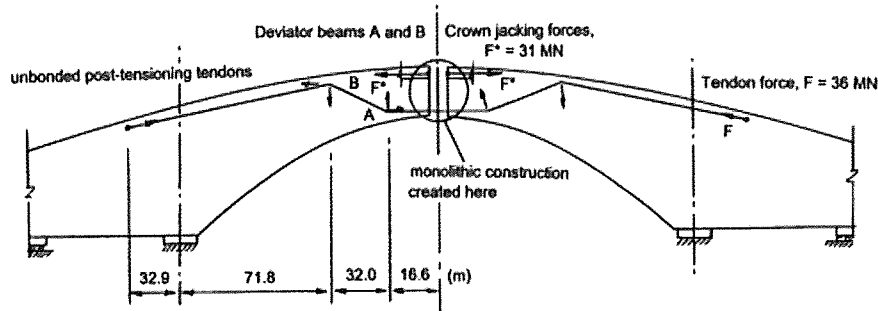
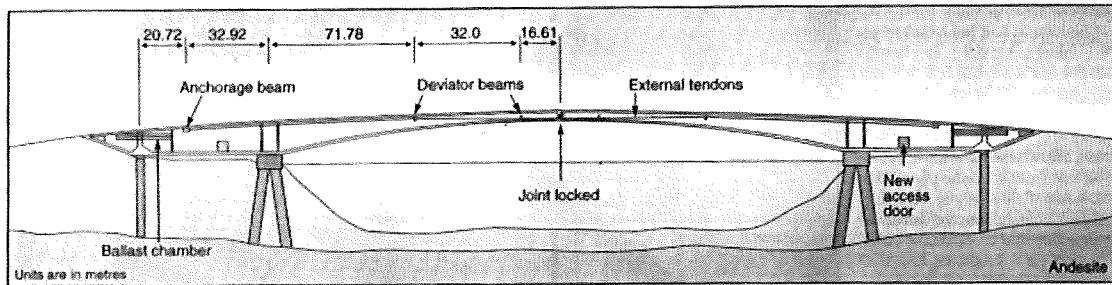


Figure 2. Koror-Babeldaob Bridge, cross-section
Figura 2. Sección del Puente Koror-Babeldaob



Figuras 3 y 4. Esquemas del refuerzo que se llevó a cabo
 Figures 3 and 4. Strengthening scheme implemented

Desgraciadamente para la comunidad científica, al llegarse a un acuerdo entre las partes en el pleito entre el Gobierno de Palau y el contratista general Black Micro of Guam y los subcontratistas EE Black of Hawaii, VSL (Guam), Bouygues, la consultora Louis Berger Group y la ingeniería ABAM de Seattle, el especialista en geotecnia Dames & Moore y la compañía de seguros American Home Insurance, no se ha determinado concluyentemente la causa que originó el colapso o al menos no es pública. Pero el escaso tiempo transcurrido entre las operaciones de refuerzo y el colapso del puente abonan la idea que ambos hechos estuvieran estrechamente relacionados. Lo que parece evidente es que el cambio de configuración estructural favoreció el colapso brusco del puente, ya que en la situación inicial, al tratarse de un puente cantilever, un semitablero sería estáticamente estable frente a su peso propio. Los informes y estudios conocidos señalan que el siniestro se inició con el fallo de la sección de apoyo de la isla de Babeldaob para de inmediato producirse también el colapso de la sección de apoyo de la isla de Koror. Los informes periciales descartan que el postesado de refuerzo produjera excesivos esfuerzos en las almas de la sección cajón.

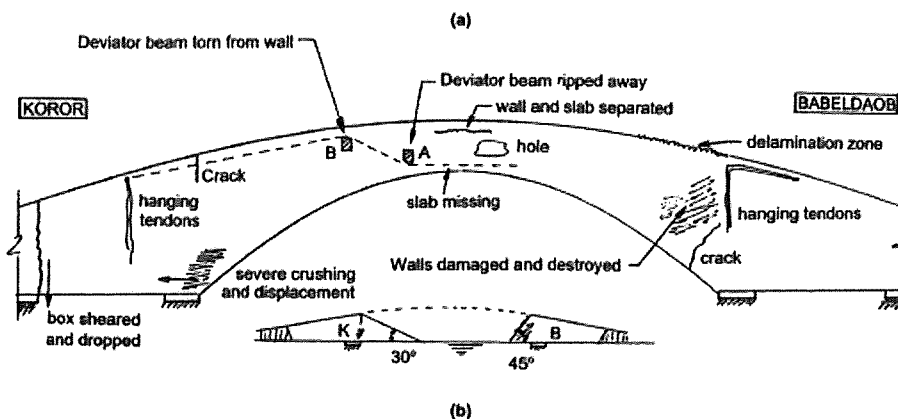
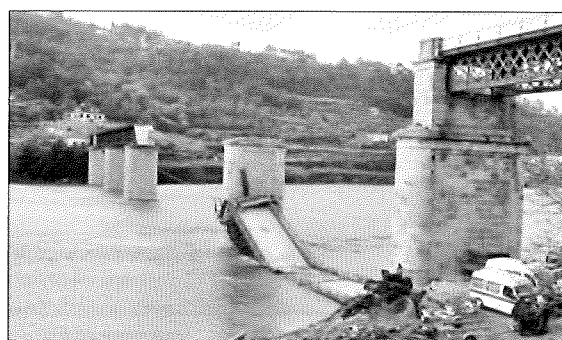
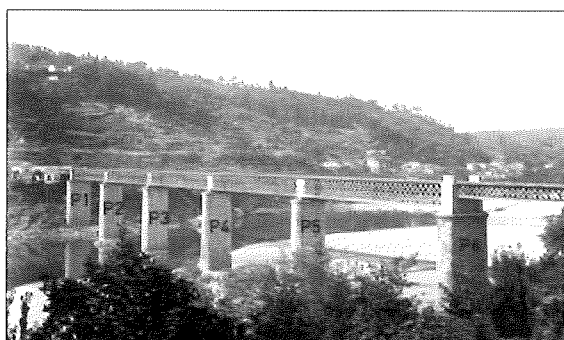


Figura 5. Daños detectados por SSFM Engineers, Inc., Honolulu para el United States Army Corps
 Figure 5. Damage detected by SSFM Engineers, Inc., Honolulu, for the United States Army

Unfortunately for the scientific community, since an out-of-court agreement was reached by the Palau Government with the general contractor Black Micro of Guam, subcontractors EE Black of Hawaii, VSL, Guam, Bouygues, Louis Berger Group consultants, ABAM, an engineering firm at Seattle, and soil technology specialists Dames & Moore, as well as with American Home Insurance, the ultimate cause of the collapse was not determined, or not made public. Nonetheless, the short time lapsing between the strengthening operations and bridge collapse supports the premise that the two events were closely related. What would appear to be obvious is that the change in the structural scheme of the bridge favoured its abrupt collapse, since in the initial state, as a cantilever bridge, a half-deck would be able to bear its self weight. The reports and studies that were made public suggest that failure began at the section resting on Babeldaob Island and immediately spread to the Koror Island section. According to the expert reports, the post-tensioning could not have induced excessive stress on the webs of the box girder.

Hintze Ribeiro Bridge, mentioned in the Introduction, was built over the Tamego and Duoro river junction at Entre-os-Rios, Castelo de Paiva, Portugal. When it came down on the night of 4 March 2001 with a toll of 59 fatalities [27, 28 and 29], it went on record as the worst road bridge accident in Europe in over one hundred years. Opened to traffic on 1 December 1887 (115 years old at the time of the accident), Hintze Ribeiro was a 343-m long steel truss bridge that rested on ashlar stone piers. According to the study conducted by University of Porto Professor Antonio Adao da Fonseca, the accident occurred when pier 4 failed due to hollowing, with the concomitant collapse of the two deck spans supported by it. Illegal sand extraction on the banks of the river 15 km upstream of the bridge was ultimately responsible for the washout. The heavy rain that fell in Portugal in December 2000 and the first quarter of 2001 led to flows higher than the 9 000 m³/s then on record. The underwater parts of the bridge had been inspected in 1986 and geotechnical probes were conducted in 1988, but neither of these surveys indicated the need to strengthen the foundations or their breakwaters or to undertake repair or strengthening operations. Four Portuguese Department of Road and Bridge Conservation engineers were indicted and the accident induced the resignation of the minister responsible for public works.



Photographs 22 and 23. Hintze Ribeiro Bridge, Portugal
Fotografías 22 y 23. Puente de Hierro (Portugal)

On 7 November 2005, the telescopic formwork under the deck for the River Verde viaduct on Motorway A-7 collapsed at Almuñécar, Spain, killing six of the people who were working on the 70-m high structure. The Ministry of Internal Development created a commission to determine the causes of the accident and undertook full scale trials, conducted to failure (by INTEMAC), to determine the stresses on joint bolts and gusset plates. The University of Granada and the Eduardo Torroja Institute for Construction Science both issued expert reports. The case is still under judicial consideration, although parts of the expert reports have been made public.

The prosecutor is calling for three and a half to four years' imprisonment for each of the eleven persons indicted.

In any event, as the case is still *sub judice*, the aforementioned information must be taken with all due caution.

On 30 September 2006, Concorde Bridge at Montreal [30] collapsed, causing the death of five people whose cars came down with it. The bridge, built in 1970 for a design service life of 70 years, had a 40-m span and a structure consisting of precast girders with a halved bearing at the abutments. In its day, the bridge was awarded several prizes for its design. A commission that studied the accident in detail reached the following conclusions.

- The halved bearing that failed was not well designed, viewed with today's criteria, and its reinforcement detailing was not compliant with codes presently in place.

Como ya hemos dicho anteriormente, la noche del 4 de marzo de 2001 se produjo el siniestro del Puente de Hierro (puente Hintze Ribeiro) en la confluencia de los ríos Duero y Tamega en Entre os Ríos, en Castelo de Pavia en Portugal [27,28 y 29] causando la muerte de 59 personas. Se trata del accidente de un puente de carretera más grave de Europa en el siglo XX. El puente, abierto al tráfico de 1 de diciembre de 1887 (115 años de edad), era un puente de celosía metálico de 343 m de longitud total que apoyaba en pilas de sillería. De acuerdo con el estudio realizado por el Profesor Antonio Adao da Fonseca, de la Universidad de Oporto, la causa del siniestro fue la socavación de la pila nº 4, ya que su caída arrastró los dos vanos del tablero que apoyaban en él. La socavación fue consecuencia de la extracción ilegal de áridos de las orillas en los 15 km aguas arriba del puente. Es preciso indicar que las fuertes lluvias caídas en Portugal en diciembre del año 2000 y en el primer trimestre de 2001 hicieron que se superasen los caudales máximos históricos de 9000 m³/s. Este puente había sido objeto de inspecciones subacuáticas en el año 1986 y se había realizado una campaña de sondeos geotécnicos en 1988, pero ninguno de estos estudios señaló la necesidad de reforzar la cimentación o sus defensas o de realizar otras operaciones de reparación o refuerzo. Se procesó a cuatro ingenieros del Departamento de Conservación de Carreteras y Puentes de Portugal y provocó una crisis de Gobierno.

El 7 de noviembre de 2005 en Almuñécar (España) se desplomó la autocimbra con la que se construía el tablero del Viaducto del río Verde de la Autovía A-7 y murieron 6 trabajadores que se desplomaron desde casi 70 m de altura junto con la autocimbra. El Ministerio de Fomento creó una comisión para determinar las causas del siniestro y se realizaron ensayos a escala real (llevados a cabo por INTEMAC), hasta rotura, para determinar tensiones en las platabandas y tornillos de las uniones. La Universidad de Granada y el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja emitieron informes periciales. El caso aún está *sub judice* aún cuando se han hecho públicos parte de los informes periciales.

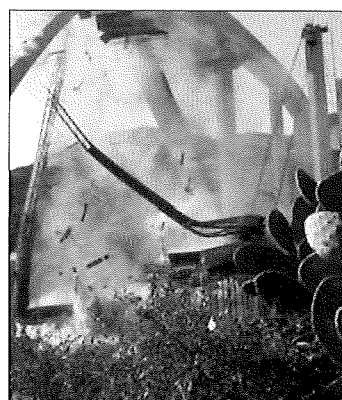
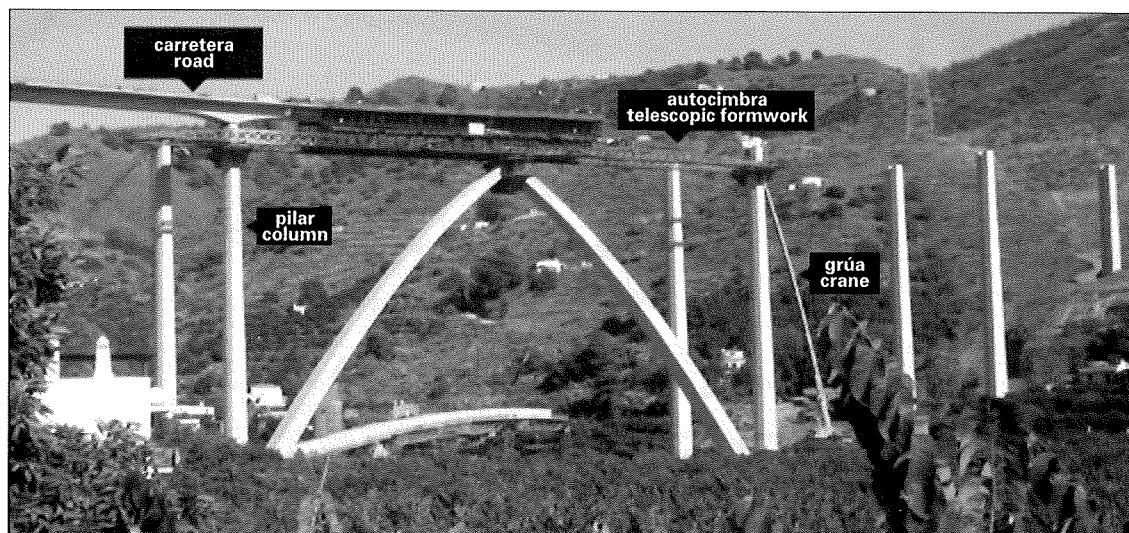
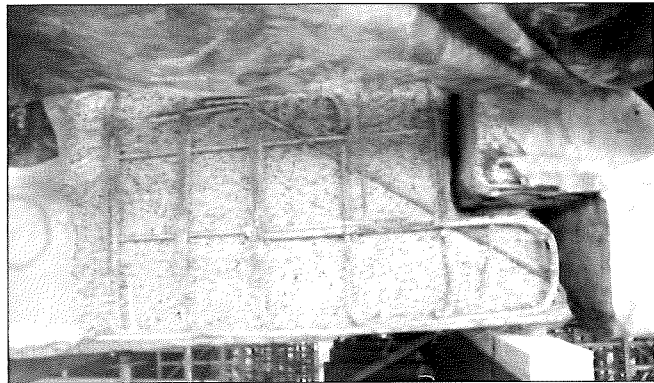


Foto del momento del desplome
Photo taken immediately after collapse

Fotografías 24, 25 y 26. Puente de Almuñécar (España)
Photographs 24, 25 and 26. Almuñécar Bridge, Spain

- Moreover, the design specifications were not followed during construction and the reinforcement was not positioned as shown on the drawings, worsening the design shortcomings (see photographs below).
- Due to the low quality of the concrete used, abutment freeze-thaw performance was poor.
- The deck was not satisfactorily weather-proofed and repairs carried out in 1992 failed to correct for that flaw or to properly channel the water off the joints. The 1992 repairs were cosmetic only and had in fact weakened the structure.
- The result of an inspection undertaken in 2004 and conducted by insufficiently qualified staff was counterproductive, for the inspectors failed to identify the severity of the obvious symptoms or to realise that they could cause brittle failure, as was ultimately the case.



Photographs 31 and 32. Halved joint where the accident was induced
Fotografías 31 y 32. Junta a media madera donde se inició el siniestro

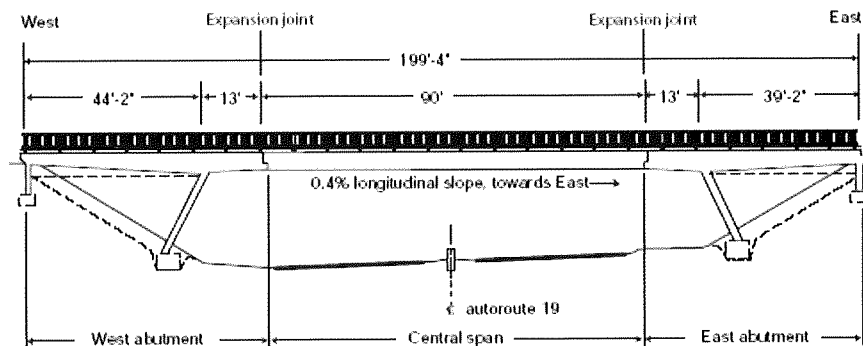


Figure 6. Elevation view of Concorde Bridge [30]
Figura 6. Alzado del puente de la Concorde [30]

Perhaps the accident that has received greatest publicity in recent years was the collapse of the bridge on I-35W at Minneapolis on 1 August 2007 [31]. The accident killed 13 and injured 145 people and seriously disrupted traffic, for at the time it occurred, the bridge carried a mean traffic density of 140 000 vehicles, 5 600 of them heavy vehicles. The 14-span, 8-lane (four in each direction) bridge was 580 m long and 34.5 m wide. This steel truss structure (in its three main spans) had a 140-m long, variable depth central span. On the day of the accident, the four central lanes were closed to traffic because they were being used to stockpile sand and gravel for imminent repaving. Since 1990 the bridge had been regarded as "structurally deficient" (27 000 other bridges in the USA are in the same condition) due to bearing corrosion, and since 1993 was being inspected yearly. In 2001, the University of Minnesota warned of cracks in steel girders and the bridge's lack of redundant statically indeterminate structures in the event of brittle collapse of any of its main members. The girders were repaired and strengthened to mitigate the damage. The report recommended ongoing monitoring of the bridge with strain gauges. Inspections run in 2005 and 2006 detected fatigue damage. In 2005 the bridge was given a sufficiency rating of 50 on a scale of 100 and bridge strengthening was recommended but finally ruled out because of uncertainty about whether construction to strengthen the bridge would weaken it further. More frequent inspections

La Fiscalía solicita penas de tres años y medio a cuatro años de cárcel para cada uno de los once imputados por el desplome.

En cualquier caso, como ya se ha señalado anteriormente, aún no se ha resuelto judicialmente el caso, por lo que es preciso ser muy cuidadoso con la información antes señalada.

El 30 de septiembre de 2006 el puente de la Concorde en Montreal [30] colapsó produciendo la muerte de 5 personas que viajaban en coches que circulaban sobre él. El puente, de 40 m de luz, era de vigas prefabricadas con un apoyo a media madera en la zona de estribos y fue construido en 1970 para una vida útil nominal de 70 años. En su época, el puente había ganado varios premios por su diseño. Una comisión estudió detalladamente el siniestro y formuló las siguientes conclusiones:

- El apoyo a media madera que falló no estaba bien proyectado conforme a los criterios actuales, siendo incorrecto su detalle de armado bajo los códigos actuales.
- Durante la construcción, además, no se siguieron las prescripciones de proyecto y no se colocaron las armaduras en la posición fijada en los planos, empeorando la situación nominal (véanse las fotografías siguientes).
- El hormigón de los estribos era de baja calidad y había tenido un mal comportamiento en los ciclos hielo-deshielo.
- El tablero no tenía una correcta impermeabilización y durante las reparaciones ejecutadas en el año 1992 tampoco se había llevado a cabo ni la impermeabilización del tablero ni la correcta conducción del agua procedente de las juntas. Las operaciones de reparación llevadas a cabo en el año 1992, habían sido únicamente cosméticas y habían debilitado más si cabe la estructura.
- Las inspecciones efectuadas en 2004 habían sido realizadas por personal poco experto y el resultado de ellas había sido contraproducente. No habían detectado que los evidentes síntomas que presentaba la estructura eran graves y podían producir una rotura frágil como finalmente ocurrió.

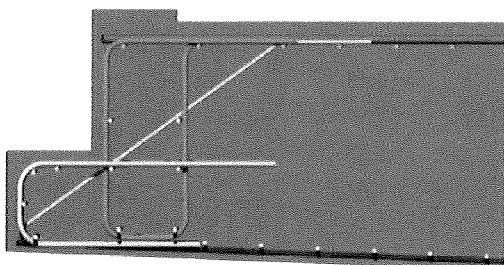


Figure 7. Bearing as designed [30]
Figura 7. Apoyo tal y como se diseñó [30]

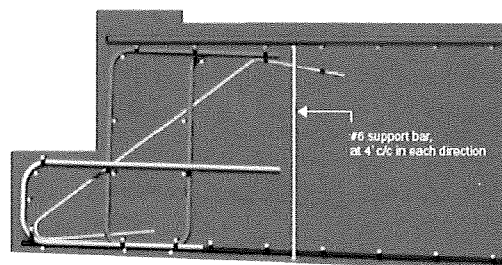
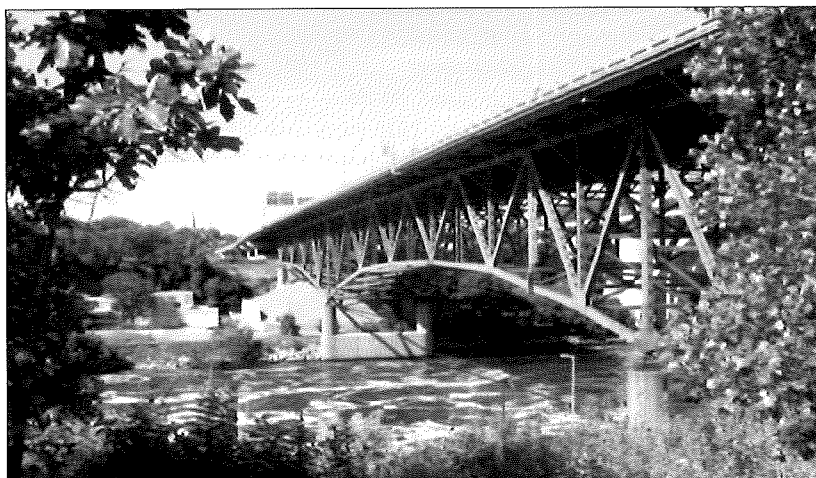


Figure 8. Bearing as built [30]
Figura 8. Apoyo tal y como se ejecutó [30]

Pero quizá el siniestro más comentado de los últimos tiempos ha sido el colapso del puente I35W de Minneapolis el 1 de agosto de 2007 [31]. El siniestro causó 13 muertos y 145 heridos y supuso un grave problema de tráfico ya que, en el momento del accidente, la IMD (Intensidad Media de Diaria de tráfico) era de 140.000 vehículos, de ellos 5.600 vehículos pesados. El puente era tenía 580 m de longitud total, 34,5 m de anchura (ocho carriles de circulación, cuatro en cada sentido), y 14 vanos. Los tres centrales estaban formados por una celosía metálica con un vano central de canto variable de 140 m de longitud. El día del colapso, cuatro de los carriles estaban cerrados al tráfico ya que se estaban colocando allí materiales (arena y grava) para repavimentar el puente. Desde el año 1990 el puente estaba considerado como "deficiente estructuralmente" (hay otros 27.000 en la misma condición en EE.UU.) por corrosión de sus apoyos y desde el año 1993 se inspeccionaba anualmente. En 2001, un estudio de la Universidad de Minnesota advertía de la existencia de vigas metálicas fisuradas y de la ausencia de recursos hiperestáticos del puente caso de sufrir un colapso frágil de algún elemento principal. Las vigas fisuradas fueron reparadas y se colocaron elementos de refuerzo para paliar estos daños. El informe recomendaba realizar una monitorización continua del puente con bandas extensométricas. En las inspecciones de 2005 y 2006 se detectaron algunos daños causados por fatiga. En 2005 el "rating" del puente era de 50 sobre 100 y en 2006 se propuso un refuerzo del puente pero finalmente se descartó porque había dudas de que la ejecución del refuerzo debilitara aun más el puente y se planteó el incrementar la frecuencia de las inspecciones de control. El Gobernador de Minnesota anunció en los primeros meses de 2007 que el puente

were proposed. In early 2007 the Governor of Minnesota announced that the bridge would be replaced in 2020. At the time of the collapse, work was underway on the bridge, involving repaving and replacement of the lighting and joints. As noted earlier, over 260 000 kg of construction materials had been piled onto the span of the deck that collapsed.



Photograph 33. Bridge on I-35W at Minneapolis, USA, before collapse
 Fotografía 33. Puente de Minneapolis (EE.UU.) antes del colapso

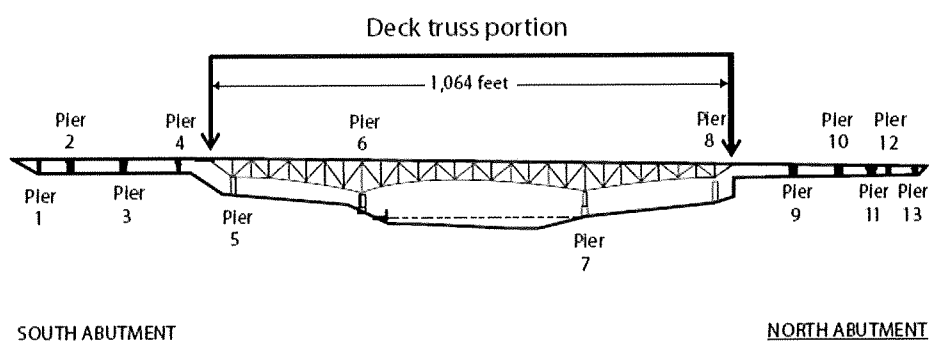


Figure 9. Bridge on I-35W at Minneapolis, USA
 Figura 9. Esquema del puente de Minneapolis

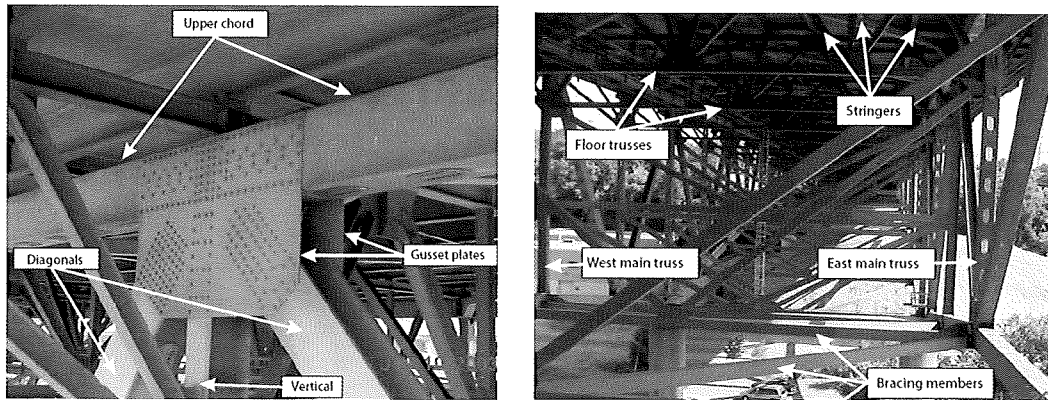
The National Transportation Safety Board (NTSB) immediately undertook a study to determine the causes of the accident, designating Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc. of Illinois as the main consultants. Other engineering firms such as Thornton Tomasetti also studied the collapse for some of the parties involved.

The NTSB's exemplary report [31] addressed the design condition of the bridge based on the design documentation and the loads then stipulated in the codes. It also studied the condition of the structure on the date of collapse pursuant to the measurements taken before and after the accident and the material properties obtained from tests conducted on the structural members recovered after the accident.

All the materials analysed proved to be design-compliant.

Finite element modelling (Figure 10) was also conducted for the bridge, calibrating the model with the results of the pre-collapse strain gauge readings. The temperature on the day of the accident (1 August) was also entered into the model, along with the 6 °C temperature difference recorded during the day.

sería sustituido en 2020. En el momento del colapso se estaban llevando a cabo obras de repavimentación, cambio de iluminación y cambio de juntas y, como se ha señalado anteriormente, se habían colocado sobre el tablero, en el vano colapsado, más de 260.000 kg de materiales de construcción.



Fotografías 34 y 35. Puente de Minneapolis (USA). Vistas de los elementos estructurales principales
Photographs 34 and 35. Bridge on I-35W at Minneapolis, USA. Main structural members

La National Transportation Safety Board (NTSB) inició de inmediato el estudio de las causas del siniestro, escogiendo a la consultora Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc de Illinois como asesor fundamental. Otras firmas de ingeniería como Thornton Tomasetti realizaron también estudios del colapso para algunas de las partes implicadas en el siniestro.

El informe realizado por la NTSB [31] es modélico, y estudió tanto la situación nominal del puente con base en la documentación de proyecto y las cargas entonces consideradas por la normativa, como la situación de la estructura en la fecha del colapso, a partir de las medidas realizadas antes y después del siniestro así como de los resultados de los ensayos sobre las características de los materiales obtenidos de los elementos estructurales recuperados después del accidente.

Todos los materiales analizados cumplían las especificaciones nominales.

También se realizó una modelización por elementos finitos del puente (Figura 10), calibrando el modelo con los resultados obtenidos en ensayos previos al accidente con bandas extensométricas. El modelo también tuvo en cuenta la temperatura existente (el colapso se produjo el 1 de agosto) y el incremento de temperatura de 6°C que se produjo a lo largo del día.

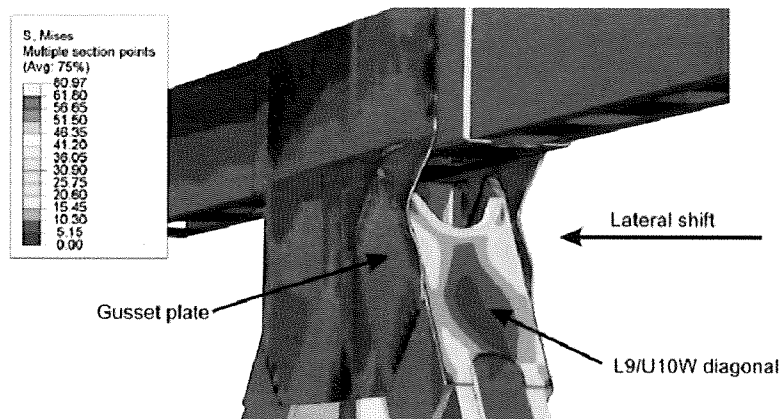


Figura 10. Esquema de la modelización realizada por elementos finitos del nudo donde se originó probablemente el colapso del puente a consecuencia del fallo de la platabanda de unión (Gusset Plate); se puede ver en el modelo como se deforma antes de fracturarse

Figure 10. Finite element model scheme of the node that was the probable origin of collapse due to failure of its gusset plate, whose pre-collapse deformation is visible in the model.

On 13 November 2008, the NTSB concluded its study, indicating that collapse was essentially due to failure of the gusset plates at one of the nodes (denominated U10W). These 13-mm thick plates had been incorrectly designed. No calculations justifying their dimensions or safety conditions were included in the original design and the calculations performed revealed inadmissible stress values under the conditions prevailing at the time of collapse. Even more surprisingly, these members failed to meet the design requirements. The weight placed on the bridge for repaving and lighting replacement, the loss of bearing section due to corrosion (17 % of the design cross-section in the gusset plates) and the lack of redundant mechanisms that in the event of failure would have served as a warning to experts and users, also contributed decisively to the accident. The 5-cm build-up on the (originally 16-cm thick) concrete slab paving was yet another determining factor.

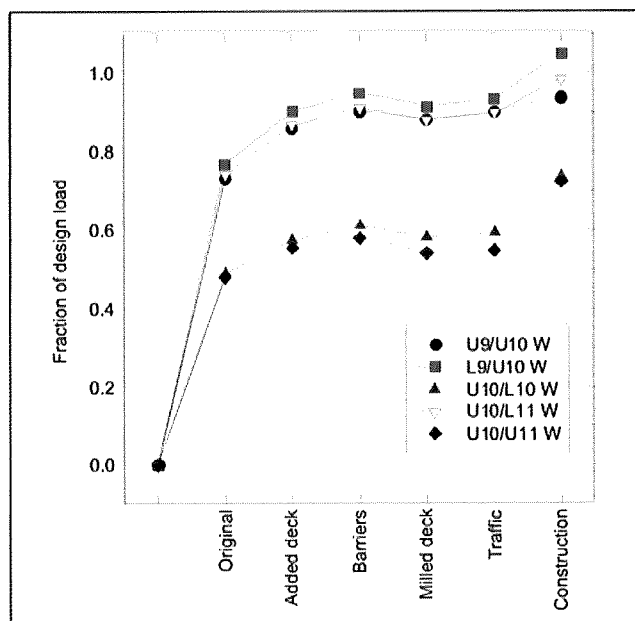


Figure 11. This Figure shows the variation in the safety levels of the members comprising the node whose failure caused collapse as a result of the intervention undertaken on the bridge

Figura 11. En esta Figura se puede observar la evolución de los niveles de seguridad de los elementos que acometían al nudo cuyo fallo produjo el colapso a consecuencia de las distintas actuaciones que se llevaron a cabo en el puente

In 2007, of the approximately 600 000 bridges inventoried in the USA, over 19 000 lacked redundant statically indeterminate structures and 465 had a central span of the same type as the bridge on I-35W in Minnesota. Of these, 145 (31 %) were assessed to be "structurally deficient", meaning not that they were "unsafe", but certainly in need of maintenance, repair or strengthening.



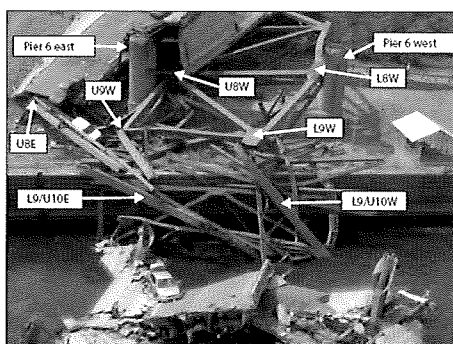
Photograph 36. Bridge on I-35W at Minneapolis, USA. Overview of bridge after collapse
 Fotografía 36. Puente de Minneapolis (USA). Vista general del puente colapsado

The investigation concluded that the causes of the accident were:

- insufficient design quality control, both on the part of the design firm and the Minnesota Department of Transportation

El 13 de noviembre de 2008, la NTSB concluyó su estudio señalando que el colapso se había debido fundamentalmente al fallo de las platabandas de unión de uno de los nudos (el denominado U10W). Estas platabandas, de 13 mm de espesor, no se habían diseñado correctamente (no había cálculos justificativos de sus dimensiones ni de sus condiciones de seguridad en el proyecto original y los cálculos realizados arrojaron tensiones inadmisibles para la situación real en el momento del colapso, pero lo más sorprendente era que tampoco cumplían las condiciones exigibles en la situación nominal). El peso colocado para las obras de mejora del pavimento y la iluminación, la pérdida de sección resistente a consecuencia de la corrosión (alcanzaba el 17% de la sección nominal de las platabandas) y la falta de mecanismos redundantes que en caso de fallo permitieran poner sobre aviso a los técnicos y usuarios habían colaborado también decisivamente en el siniestro, al igual que el recroceado de 5 cm que presentaba la losa de hormigón que constituía el pavimento del puente (originalmente tenía 16 cm de espesor).

En 2007, de los aproximadamente 600.000 puentes inventariados en EE.UU más de 19.000 no poseían recursos hiperestáticos y existían 465 cuyo vano central con la misma tipología que el puente de la I-35W de Minnesota. 145 puentes (31%) de los 465 señalados han sido evaluados como "estructuralmente deficientes", lo que no indica que el puente sea "inseguro" sino que se precisan actuaciones para su mantenimiento, reparación o incluso refuerzo.



Fotografías 37, 38 y 39. Puente de Minneapolis (EE.UU). Vistas del puente colapsado
Photographs 37, 38 and 39. Bridge on I-35W at Minneapolis, USA, after collapse

La investigación concluyó resaltando las siguientes causas que habían producido el siniestro:

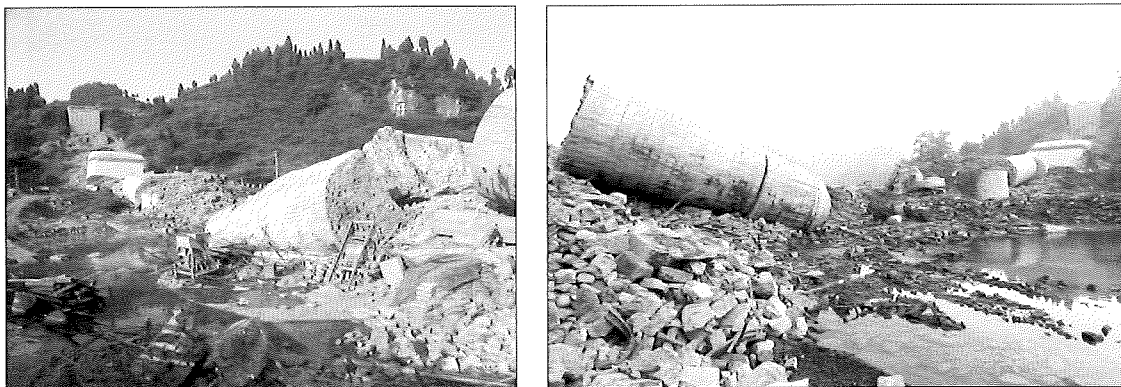
- Insuficiente proceso de control de calidad del proyecto, tanto en la oficina que realizó el proyecto original del puente como en la supervisión que debería de haberse realizado por la Administración de Carreteras del Estado de Minnesota.
- Ausencia de criterio estructural en la Administración propietaria del puente para vigilar la colocación de cargas durante las obras de rehabilitación.

- absence of structural criteria on the part of the public owner of the bridge when it was loaded on the occasion of rehabilitation works
- unsuitable inspection and assessment (common throughout the USA) of gusset plate safety conditions at nodes and their possible deterioration.

Only 12 days after the collapse of the bridge in Minnesota, on 13 August 2007, an accident occurred on a bridge under construction over the River Tuo at Fenghuang [32, 33] in the Chinese province of Hunan, killing 34 workers who were removing the forms.

After that accident, the Chinese Ministry of Communications announced a plan to inspect and repair over 6 000 bridges. According to the yearly road maintenance report published by the Ministry, at year end 2006, China had 6 300 bridges "in hazardous condition, with severe damage to important structural components". Under the Ministry's plans, all the bridges on state and provincial motorways and most of the country's district roads would be safe by 2010. From 2000 to 2005 the Government had spent 1.970 billion dollars (1.447 billion euros) in repairing 7 000 bridges. It had also implemented a maintenance system that required motorway and toll road companies to hire engineers to monitor bridge structures. China has over 500 000 bridges, most built in the last 20 years.

Unfortunately, the Chinese Government never disclosed the reasons for the accident, although according to photographs of the 328-m bridge, the reinforcement on both the deck and the 43-m high piers would appear to have been unusually light.



Photograph 34. Bridge over River Tuo in Hunan
Fotografía 34. Puente sobre el río Tuo en Hunan

On 26 September 2007, 64 workers lost their lives when Can Tho Bridge collapsed in Vietnam [33], during construction of one of the 90-m approach spans. The results of the investigation have not been made public in this case either, although geotechnical problems affecting the centring have been identified as the possible origin. Can Tho Bridge, still under construction, will be the longest in Southeast Asia, with a total length of 2.75 km and a main span measuring a total of 550 m.

4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

As might be expected and as clearly deduced from the foregoing, the causes of bridge collapse in the last 20 years have been many and varied. That notwithstanding a number of conclusions can be drawn from the above descriptions.

A) Origin of accidents:

- 1) The serious bridge accidents in the nineteenth and first half of the twentieth centuries were clearly the result of the failure to consider effects insufficiently understood, not included in the codes in effect at the time and obviously unknown to the designers of those magnificent structures engineered with such scant resources. The authors and users of the bridges at Broughton, Angers and St Petersburg, for instance, wholly unaware of the effects of dynamic loads, were unable to predict that the bridges might tumble under rhythmic military marching.

- Existencia de un inadecuado sistema (común para todo EE.UU.) para inspeccionar y valorar las condiciones de seguridad de las platabandas que conforman los nudos y la degradación que puedan sufrir.

Sólo doce días después del colapso del puente de Minnesota, el 13 de agosto de 2007, un accidente de un puente en construcción sobre el río Tuo en Fenghuang [32 y 33], en la provincia China de Hunan, produjo la muerte de 34 obreros que se encontraban retirando unos encofrados.

Tras el accidente, el Ministerio de Comunicaciones chino anunció un plan para inspeccionar y reparar más de 6.000 puentes. Según el informe anual de mantenimiento de carreteras elaborado por el Ministerio, a finales de 2006 había en China alrededor de 6.300 puentes "en estado peligroso, con algunos componentes estructurales importantes seriamente dañados". El plan del Ministerio era que todos los puentes de las autopistas estatales y provinciales del país así como de la mayoría de las carreteras de los distritos fueran seguros en 2010. Entre los años 2000 y 2005 el Gobierno había gastado 1.970 millones de dólares (1.447 millones de euros) en la reparación de 7.000 puentes. También implantó un sistema de mantenimiento que obliga a las empresas de construcción de autopistas y carreteras de peaje a contratar ingenieros para controlar las estructuras de los puentes. En China hay más de 500.000 puentes, la mayoría construidos en los últimos 20 años.

Desgraciadamente, la opacidad del Gobierno chino no ha permitido conocer las razones del siniestro, si bien las fotografías del colapso del puente de 328 m de longitud y pilas de 42 m de altura permiten observar que, aparentemente, tanto el tablero como las pilas estaban sorprendentemente poco armados.

El 26 de septiembre de 2007, el puente de Can Tho en Vietnam [33] se desplomó también durante la construcción de uno de los vanos de acceso de 90 m de longitud y produjo la muerte de 64 trabajadores. Los resultados de la investigación tampoco se han hecho públicos, si bien se ha señalado que problemas geotécnicos de una cimbra pudieron ser el origen del siniestro. El puente de Can Tho, aún en construcción, con una longitud total de 2,75 km y un vano principal de 550 m será el puente de mayor longitud del sureste asiático.



Fotografía 35. Vano de acceso del puente Can Tho colapsado
Photograph 35. Approach span on Can Tho Bridge after collapse

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES QUE CABE REALIZAR

Como se ha descrito anteriormente, las causas que han provocado el colapso de puentes a lo largo de los últimos 200 años son, como no podía ser de otra forma, muy variadas. No obstante, analizando los casos descritos, pueden exponerse las siguientes consideraciones:

A) Sobre el origen de los accidentes:

- 1) Los primeros accidentes graves de puentes fueron claramente consecuencia de no haber tenido en cuenta efectos insuficientemente conocidos y no tratados por la normativa de la época en que se diseñaron y que eran claramente ignorados por los proyectistas de aquellas magníficas estructuras calculadas con unos medios muy escasos. Es el caso de los puentes que sucumbieron al paso de regimientos marchando (puentes colgantes de Broughton, Angers y San Petesburgo), en aquella época se desconocían los efectos de las cargas dinámicas. Incluso el caso del Puente de Tacoma puede situarse en este contexto, ya que los fenómenos aerodinámicos tampoco eran estudiados enton-

Even Tacoma Bridge might be included in this category, since aerodynamic factors had not been studied then as thoroughly as they are now. Even so, its failure should provide food for thought about the need to fully justify apparently ingenious ideas (Moisseif's solution entailed a savings of nearly 33 % over the other designs submitted).

- 2) A substantial number of bridge accidents were the result of incorrect design, due either to the failure to suitably assess some of the actions to which the structure would be exposed (self weight in the bridge at Quebec, wind on Tay Rail Bridge and so on) or simply because calculations were not performed for some of the bearing members. The bridge at Minneapolis is a prime example of this shortcoming: the gusset plates were not engineered, the authority failed to check the design satisfactorily, and the engineers who surveyed the bridge in inspections prior to collapse did not calculate the safety conditions of all the members comprising the main structural nodes.
- 3) A host of bridge accidents occurred during construction (Sandö Bridge, Sweden; the bridge on I-912 in Indiana, USA; Can Tho Bridge in Vietnam). Unstable centring or its erection on insufficient foundations has caused many fatal accidents. Similarly, numerous accidents have been induced by the lack of sufficient attention to the bearing sections in place in each stage of construction.
- 4) A number of bridges have collapsed during repair (Minneapolis), shortly after inspection (Concorde Bridge at Montreal, Canada) or after unqualified inspectors failed to recognise the severity of the symptoms of structural damage.
- 5) In bridges over rivers, hollowing out of pier foundations was the source of countless accidents (Hintze Ribeiro Bridge at Entre-os-Rios in Portugal; Schoharie Creek Bridge at Albany, USA). Riverbed alterations due to flooding or quarrying call for particularly careful monitoring in this type of bridges.
- 6) The decay intrinsic to the passage of time is another obvious cause of many of the accidents recorded. The collapses of Silver Bridge in Ohio, USA and Concorde Bridge at Montreal, Canada, are clear examples of this type of accidents.
- 7) Wrongly diagnosed damage or anomalies in some bridges has led to theoretical solutions and physical repair that worsened the initial problems. Sight should never be lost of the Palau Bridge accident when proposing drastic bridge repair measures.

B) Measures to be adopted to reduce accidents.

- 1) Outside design supervision would obviously minimise the occurrence of accidents attributable to erroneous design or engineering. Public authorities must ensure that design offices implement their own systems to guarantee in-house quality and commission design review from experienced independent companies. These activities are less similar than they may seem. Designing is one thing and controlling design quality quite another. In the wake of serious accidents with enormous media impact, such external controls are now mandatory in the USA and Canada.
- 2) Detailed review of construction processes and the study of their feasibility under design conditions are indispensable to lowering the number of accidents occurring during construction. Centring, telescopic and other types of formwork must not only be properly engineered, but periodically reviewed and maintained. Their provisional foundations must also be satisfactorily designed and built.
- 3) Bridges exposed to hollowing risk must be inspected frequently, and systematically after flooding or exceptionally heavy rain.
- 4) Engineers who inspect bridges must be specifically trained, for otherwise they will portray an inaccurate image of the park of structures inspected, with the concomitant risk that investment will not be deployed where needed and very likely deployed where it is not. Public authorities must interiorise that obtaining reliable information on the condition of infrastructures is a highly cost-effective way to ensure that investment is duly prioritised. Suitable use of a well defined bridge management system with accurate input is imperative in this regard.
- 5) For over 100 years in some countries (since 1911 in Germany and Austria [34]) and more recently in Anglo-Saxon countries (United Kingdom, USA, Canada, New Zealand and Australia, among others), when a structure collapses, a technical commission of highly qualified experts is created to assess the causes. Their findings are published

ces como lo son ahora. Aun así, el puente de Tacoma nos debe hacer reflexionar sobre que ideas aparentemente geniales han de estar especialmente justificadas (la solución de Moisseff suponía un ahorro de casi un 33% sobre las otras soluciones presentadas).

- 2) El siniestro de un gran número de puentes ha sido consecuencia de un incorrecto proyecto, porque no se valoraron adecuadamente algunas de las acciones que actuaban sobre él (peso propio en el puente de Québec, viento en el puente de Tay Rail Bridge, etc) o porque no se calcularon simplemente algunos de los elementos resistentes. El caso del puente de Minneapolis es en ese sentido, paradigmático: ni se calcularon las platabandas del nudo que falló, ni la Administración había chequeado el diseño convenientemente, ni los ingenieros que revisaron el puente en inspecciones recientes habían estudiado en sus cálculos las condiciones de seguridad de todos los elementos que constituían los nudos principales de la estructura.
- 3) Multitud de accidentes de puentes se han producido durante su proceso constructivo (puente de Sandó (Suecia), puente de la 912 Interstate en Indiana (USA), puente de Can Thao (Vietnam). La falta de estabilidad de las cimbras y su incorrecta cimentación han provocado innumerables víctimas. De igual forma, el no haber considerado las secciones resistentes existentes en cada fase de construcción también ha provocado un gran número de accidentes.
- 4) No es desdeñable el número de accidentes sufridos por puentes que, o bien se encontraban en revisión (puente de Minneapolis), o bien se habían inspeccionado recientemente (puente de la Concorde en Montreal (Canadá) y, por ignorancia de los inspectores, no se había alertado de su extrema situación como consecuencia de la trascendencia estructural de los daños que se habían manifestado.
- 5) En puentes sobre ríos, la socavación de la cimentación de las pilas es fuente de innumerables accidentes (Puente de Ferro en Entre Rios (Portugal), puente Schoharie Creek en Albany (EE.UU). La modificación del cauce por riadas o por explotación de canteras exige que se haga un seguimiento especial a este tipo de puentes.
- 6) Obviamente, los procesos de degradación asociados al paso del tiempo, son también causa de muchos de los accidentes acaecidos. Los colapsos del puente Silver Bridge en Ohio (EE.UU) y del de la Concorde en Montreal (Canadá) son ejemplos claros de este tipo de siniestros.
- 7) El mal diagnóstico de algunos daños o de las anomalías existentes en algunos puentes ha llevado a implantar teóricas soluciones y reparaciones que han agravado aún más los problemas originales. El colapso del puente de Palao debe estar siempre presente cuando se vaya a intervenir de una forma tan drástica en un puente.

B) Sobre las medidas a adoptar de cara a reducir los siniestros:

- 1) Es obvio que introducir una supervisión externa de los proyectos minimizará la aparición de colapsos originados en diseños o cálculos erróneos. La Administración debería de velar porque las oficinas de proyectos tuvieran sus propios sistemas de garantía de calidad interna y también por la contratación de contratos de revisión de proyectos a empresas independientes y con experiencia en este tipo de actividad. Aunque parezcan actividades muy similares, no lo son tanto. Una cosa es proyectar y otra muy distinta es controlar un proyecto. Las administraciones de EE.UU y Canadá, a raíz de los graves siniestros que han tenido una enorme repercusión mediática, ha implementado la exigencia de estos controles externos.
- 2) La revisión detallada de los procesos constructivos, y el estudio de su viabilidad en función de las condiciones de proyecto, son imprescindibles para disminuir los accidentes durante la ejecución de nuevos puentes. No solamente deben estar bien calculadas las cimbras, autocimbras encofrados, etc, sino que deben ser periódicamente revisadas y mantenidas adecuadamente y además sus cimentaciones provisionales deben estar correctamente diseñadas y ejecutadas.
- 3) Aquellos puentes con riesgo de socavación deben ser inspeccionados con mayor frecuencia y siempre después de riadas, inundaciones o lluvias de carácter excepcional.
- 4) Los técnicos dedicados a realizar inspecciones de puentes deben estar especialmente bien formados, ya que de lo contrario trasladarán una imagen poco fiable del parque de estructuras inspeccionado y no se acometerán inversiones donde se necesiten y sí donde probablemente no hagan falta. La Administración ha de ser consciente de que no hay mejor inversión que conocer el estado de nuestras infraestructuras de forma tal que se prioricen las inversiones correctamente. En este punto, la utilización correcta de un Sistema de Gestión de Puentes bien definido y correctamente "alimentado" es primordial.

to enable the scientific community and industry professionals to learn from previous mistakes and introduce improvements in all the activities involved in bridge building and maintenance (design, review, construction, maintenance, inspection, repair, strengthening). In Spain, unfortunately, such findings are not generally made public, depriving the industry of extremely valuable information that could feed back into design, construction, maintenance and inspection and prevent the recurrence of the errors identified. This situation merits serene reflection.

- 6) Society and hence politicians must also be made aware of the fact that bridge inspection, review, maintenance and repair are vital both to a country's infrastructure network and for such noble activities as bridge design and construction.

REFERENCES

- [1] Skempton, A. W.; Chrimes: "A biographical dictionary of civil engineers in Great Britain and Ireland ". Thomas Telford (2002).
- [2] Michel Cotte, Paul Fournie: "A The Angers Bridge catastropher", La Revue du Musée des arts et métiers 1993.
- [3] Peet, Stephen Denison, (1831-1914):" The Ashtabula Disaster". Chicago, Ill. : J.S. Goodman, 1877.
- [4] Norrie, Charles Matthew Bridging the Years: A Short History of British Civil Engineering, Edward Arnold (Publishers) Ltd., 1956.
- [5] Schneider, A and Mase, A:"Railway Accidents of Great Britain and Europe" David & Charles (1970).
- [6] Revista de Obras Públicas. Causas probables de la catástrofe de Mönchenstein 1891,3 nº 39 tomo IX.
- [7] Seim, Charles. "Why Bridges Have Failed Throughout History". Civil Engineering, Mayo 2008.
- [8] Scheer, J., Versagen von Bauwerken, Band 1: Brücken, Ernst & Sohn, Berlin, 2000.
- [9] Akesson, B. " Understanding Bridge Collapses". Taylor and Francis.
- [10] Billah, K.; Scanlan R. "Resonance, Tacoma Narrows Bridge Failure, and Undergraduate Physics Textbooks". American Journal of Physics 59. 1991.
- [11] Hamilton, J.A.B. "British Railway Accidents of the 20th Century". 1967.
- [12] Tangiway Railway Disaster. Report Board of Inquiry.
- [13] Conly,G.; Stewart G.:" New Zealand Tragedies on the Track: Tangiwai and Other Railway Accidents" Wellington. Grantham House, 1991
- [15] A Short History of theSecond Narrows Bridge www.cherrybouton.com
- [16] León, J. et alii: Inspección y evaluación de estructuras existentes: una tarea para ingenieros valientes" Revista de Obras Públicas Octubre de 2008.
- [17] Investing in Transport Overview - Part 1 Department of Transport. Page 12. Retrieved on April 3, 2009. NSTB.
- [18] The Indianapolis Star. (1982-04-16). "Bridge ramp falls, kills 12 at E. Chicago; 18 are injured".
- [19] Jerry Davich. Chicago Tribune "It was a caos, mass caos" 1/04/2007.
- [20] Highway accident report adopted-. July 19,1984 "Collapse of a suspended span of route 95 highway bridge over the Mianus river Greenwich, Connecticut June 28, 1983" NSTB.
- [21] LeBeau K.H.and. Wadia-Fascetti S.;. "Fault Tree Analysis of Schoharie Creek Bridge Collapse." Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol. 21, Issue 4, (2007).
- [22] Feld J. and Carper K.L. "Construction Failure" John Wiley and Sons (1997).
- [23] Thornton, C. H., Tomasetti, R. L., and Joseph, L. M. (1988). "Lessons From Schoharie Creek," Civil Engineering, Vol. 58, No.5, pp. 46-49, May (1988).
- [24] Huber, F. "Update: Bridge Scour." Civil Engineering, ASCE, Vol. 61, No. 9, September 1991.
- [25] NEMA National Emergency Management Agency <http://www.nema.go.kr/eng>.
- [26] Pilz, M. "The Collapse of the K-B Bridge in 1996" A MSc Dissertation at the Imperial College London
- [27] Official Journal of European Communities 18.09.2001

- 5) Desde hace casi cien años en algunos países (desde 1911 en Alemania y Austria [34]) y más recientemente en otros países de influencia anglosajona (Gran Bretaña, EE.UU, Canadá, Nueva Zelanda, Australia entre otros) cuando se produce, un colapso de una estructura, se crea una comisión técnica al más alto nivel para valorar cuales han sido las causas del accidente y sobre todo para publicitar los resultados de la investigación realizada y que la comunidad científica y los profesionales del sector puedan aprender de los errores cometidos y mejorar la realización de todas aquellas actividades (proyecto, revisión, construcción, mantenimiento, inspección, reparaciones, refuerzos, etc.) que puedan darse. En España, desgraciadamente, los resultados de estos estudios no suelen hacerse públicos y se pierde una valiosísima información que podría retroalimentar el proceso de diseño, construcción, mantenimiento e inspección e impidiendo que se repitan errores ya detectados. Merecería la pena realizar una reflexión serena sobre este aspecto.
- 6) Es también imprescindible que cale en la sociedad, y por ende en nuestros políticos, que las tareas de inspección, revisión, mantenimiento y reparación de los puentes son vitales para nuestra red de infraestructuras y actividades tan nobles como las de proyectar y construir nuevos puentes.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Skempton, A. W.; Chrimes: "A biographical dictionary of civil engineers in Great Britain and Ireland". Thomas Telford (2002).
- [2] Michel Cotte, Paul Fournie: "A The Angers Bridge catastrophe", La Revue du Musée des arts et métiers 1993.
- [3] Peet, Stephen Denison, (1831-1914): "The Ashtabula Disaster". Chicago, Ill. : J.S. Goodman, 1877.
- [4] Norrie, Charles Matthew Bridging the Years: A Short History of British Civil Engineering, Edward Arnold (Publishers) Ltd., 1956.
- [5] Schneider, A and Mase, A: "Railway Accidents of Great Britain and Europe" David & Charles (1970).
- [6] Revista de Obras Públicas. Causas probables de la catástrofe de Mönchenstein 1891,3 nº 39 tomo IX.
- [7] Seim, Charles. "Why Bridges Have Failed Throughout History". Civil Engineering, Mayo 2008.
- [8] Scheer, J., Versagen von Bauwerken, Band 1: Brücken, Ernst & Sohn, Berlin, 2000.
- [9] Akesson, B. "Understanding Bridge Collapses". Taylor and Francis.
- [10] Billah, K.; Scanlan R. "Resonance, Tacoma Narrows Bridge Failure, and Undergraduate Physics Textbooks". American Journal of Physics 59. 1991.
- [11] Hamilton, J.A.B. "British Railway Accidents of the 20th Century". 1967.
- [12] Tangiway Railway Disaster. Report Board of Inquiry.
- [13] Conly, G.; Stewart G.: "New Zealand Tragedies on the Track: Tangiway and Other Railway Accidents" Wellington. Grantham House, 1991
- [15] A Short History of the Second Narrows Bridge www.cherrybouton.com
- [16] León, J. et alii: Inspección y evaluación de estructuras existentes: una tarea para ingenieros valientes" Revista de Obras Públicas Octubre de 2008.
- [17] Investing in Transport Overview - Part 1 Department of Transport. Page 12. Retrieved on April 3, 2009. NSTB.
- [18] The Indianapolis Star. (1982-04-16). "Bridge ramp falls, kills 12 at E. Chicago; 18 are injured".
- [19] Jerry Davich. Chicago Tribune "It was a caos, mass caos" 1/04/2007.
- [20] Highway accident report adopted-. July 19,1984 "Collapse of a suspended span of route 95 highway bridge over the Mianus river Greenwich, Connecticut June 28, 1983" NSTB.
- [21] LeBeau K.H.and. Wadia-Fascetti S.; "Fault Tree Analysis of Schoharie Creek Bridge Collapse." Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol. 21, Issue 4, (2007).
- [22] Feld J. and Carper K.L. "Construction Failure" John Wiley and Sons (1997).
- [23] Thornton, C. H., Tomasetti, R. L., and Joseph, L. M. (1988). "Lessons From Schoharie Creek," Civil Engineering, Vol. 58, No.5, pp. 46-49, May (1988).
- [24] Huber, F. "Update: Bridge Scour." Civil Engineering, ASCE, Vol. 61, No. 9, September 1991.

-
- [28] Soromenho Rocha, Joao; et alii: "Pontes Construídas sobre fundos aluvionares: o colapso da ponte Hintze Ribeiro." Recursos Hídricos. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Volume 29.
- [29] Araújo, S. 1883 Ponte de Entre los Rios sobre o Rio Douro, Memória Descritiva Revista de Obras Públicas e Minas Tomo XIV.
- [30] Commission of inquiry into the collapse of a portion of the "De la Concorde Overpass", October 15 2007.
- [31] National Transportation Safety Board Highway Accident Report Collapse of I-35W Highway Bridge Minneapolis, Minnesota August 1, 2007.
- [32] BBC News 15 August 2007 Chinese bridge collapse kills 36.
- [33] "Vietnam bridge collapse kills 43". AP (Taipei Times). 2007-09-28. <http://www.taipeitimes.com/News/world/archives/2007/09/28/>.
- [34] Von Emperger, F. "Accidentes en las construcciones de Hormigón Armado "Revista de Obras Públicas, nº 1920, 1912.
- [35] Serna Garcia-Conde, J. "Los puentes del tren". Madrid 2006. Edición Fundación Esteyco.
- [36] Scheer, J. "Failed Bridges. Case Studies, Causes and Consequences". Berlin, Ernst & Sohn, 2010.

-
- [25] NEMA National Emergency Management Agency <http://www.nema.go.kr/eng>.
- [26] Pilz, M. "The Collapse of the K-B Bridge in 1996" A MSc Dissertation at the Imperial College London
- [27] Official Journal of European Communities 18.09. 2001.
- [28] Soromenho Rocha, Joao ;et alii: "Pontes Construídas sobre fundos aluvionares: o colapso da ponte Hintze Ribeiro. "Recursos Hídricos. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Volume 29.
- [29] Araújo, S. 1883 Ponte de Entre los Rios sobre o Rio Douro, Memória Descritiva Revista de Obras Públicas e Minas Tomo XIV.
- [30] Commission of inquiry into the collapse of a portion of the "De la Concorde Overpass", October 15 2007.
- [31] National Transportation Safety Board Highway Accident Report Collapse of I-35W Highway Bridge Minneapolis, Minnesota August 1, 2007.
- [32] BBC News 15 August 2007 Chinese bridge collapse kills 36.
- [33] "Vietnam bridge collapse kills 43". AP (Taipei Times). 2007-09-28. <http://www.taipeitimes.com/News/world/archives/2007/09/28/>.
- [34] Von Emperger, F. "Accidentes en las construcciones de Hormigón Armado "Revista de Obras Públicas, nº 1920, 1912.
- [35] Serna Garcia-Conde, J. "Los puentes del tren". Madrid 2006. Edición Fundación Esteyco.
- [36] Scheer, J. "Failed Bridges. Case Studies, Causes and Consequences". Berlin, Ernst & Sohn, 2010.

Relación de Personal Titulado de INTEMAC

Arquitectos

Benito Díez, María Pilar
Fernández Sáez, Ana María
Fraile Mora, Serafín
González Balseyro, María José
Luzón Cánovas, José M^a
Nieto Esteban, Eva
Sánchez Arroyo, Jesús M^a
Sicilia Mañá, Beatriz
Vergara Pérez, Carlos

Ingenieros Aeronáuticos

Fernández Moreno, Tamar

Ingenieros de Caminos

Baena Alonso, Eva
Barrios Corpa, Roberto
* Calavera Ruiz, José
Calderón Bello, Enrique
Corbacho Vicioso, José Angel
Cortés Bretón, Juan María
De la Cuerda del Olmo, Francisco Javier
De la Fuente Gómez, Ana Isabel
* Dávila Sánchez-Toscano, Suyapa
* Díaz Heredia, Elena
Díaz Lorenzo, Lucía
Díaz Pavón Cuaresma, Eduardo
* Fernández Gómez, Jaime Antonio
Fernández Montes, David Constantino
García de Diego Cano, Eva María
Gómez Mariño, Cristina
González González, Juan José
* Hostalet Alba, Francisco
* Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M^a
Jiménez Ortiz, Gonzalo
León Bello, Raúl
* Ley Urzaiz, Jorge
Menéndez Martínez, Laura
Misol Moyano, Carolina
Pérez García, Noemí
* Rodríguez Escribano, Raúl Rubén
* Rodríguez Romero, Jesús M^a
Rueda Contreras, Jorge Ladislao
Ruiz Jiménez-Alfaro, Felipe
Torres Cobo, María Carmen
Valdés Fernández de Alarcón, Pablo

Ingeniero en Cartografía y Geodesia

López-Canti Casas, Elisa

Ingenieros Civiles

Almeida da Silva, Pedro Miguel
Teixeira Martins, Hermano Tiago

Ingeniero Geólogo

Catalán Navarro, Antonio

Ingeniero I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo

Ingenieros Industriales

* Alvarez Cabal, Ramón Amado
Arroyo Arroyo, José Ramón
Borraz López, Alfonso
González Carmona, Manuel
Ibañez Mayayo, Miguel
Liébana Ramos, Miguel Angel
Pou Esquiús, Carles
Ramírez de la Pinta, Rubén
* 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

Licenciado en Ciencias Físicas

Salas Roa, Luis David

Licenciada en Ciencias Políticas y de la Administración

Estébanez Morer, Ana María

Licenciados en Ciencias Químicas

Grandes Velasco, Silvia María
López Sánchez, Pedro

Licenciado en Derecho

Jarillo Cerrato, Pedro

Licenciados en Geología

Blanco Zorroza, Alberto
Casado Chinarro, Alejandro
Catalán Navarro, Antonio
López Velilla, Oscar
Martín López, Jesús Heliodoro
Usillos Espín, Pablo

Licenciada en Filología Hispánica

Valentín Sierra, M^a Consuelo

Master of Science in Civil Engineering

Hoogendoorn, Peter Paul

Arquitectos Técnicos

Carrato Moñino, Rosa M^a

Díaz Lorenzo, Lucía

Jiménez Salado, Borja

Montejano Jiménez, María del Carmen

Vicente Minguela, Francisco

Ingeniero Técnico Aeronáutico

Domenech Mestre, Alberto

Ingeniero Técnico Forestal

Collazo Rial, Manuel Ramón

Ingeniero Técnico en Informática de Gestión

Esteban Pérez, Ramón

Macias Gómez, Juan José

Ingenieros Técnicos Industriales

Alcubilla Villanueva, Rubén

Ases Rodríguez, Cristóbal

Jiménez Rodríguez, José Antonio

Madueño López, Javier

Madueño Moraño, Antonio

Quílez Hernáiz, Sonia

Villar Riñones, Jesús

Ingenieros Técnicos Obras Públicas

Carrero Crespo, Rafael

González Nuño, Luis

Martínez Vicente, Cristina

Mata Soriano, Juan Carlos

Montiel Sánchez, Ernesto

Muriel León, Carlos

Ortiz del Campo, Natalia

Pardo de Agueda, Juan Luis

Rivera Jiménez, Marta

Romero García, Daniel

Rosa Moreno, José Andrés

Rozas Hernando, José Juan

Sánchez Tomé, Elena

Sanz Ruiz, Idoya

Ingenieros Técnicos Topógrafos

Barragán Bermejo, M^a Vicenta

Carreras Ruiz, Francisco

De Francisco Rodríguez, Francisco

López Jiménez, Luis

Martínez Ochando, Eduardo

Sánchez Martín, María de la O

Torés Campos, Ana M^a

Técnicos en Administración de Empresas

Cebrián Sobrino, M^a José

Técnico en Publicidad

Blanco Armas, Cristina

*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 2010: 35 €



ÚLTIMOS TÍTULOS PUBLICADOS

Cuaderno N° 84

“Influencia de las solicitaciones axiales de tracción en la resistencia a cortante de las viguetas de forjado sin armadura transversal”.

Autores: David C. Fernández Montes, Enrique González Valle.

Cuaderno N° 85

“Los accidentes de los puentes; errores de ayer y de hoy, lecciones para el mañana”.

Autores: Jorge Ley Urzaiz, Enrique González Valle.

CUADERNOS DE PRÓXIMA APARICIÓN

Cuaderno N° 86

“Comparación de los diagramas rectangulares y parábola rectángulo en flexocompresión recta según el Eurocódigo 2 y la instrucción EHE-08 para hormigones de alta resistencia”.

Autores: Miguel A. Liébana Ramos, Noemí Pérez García, Rubén Ramírez de la Pinta.

Cuaderno N° 87

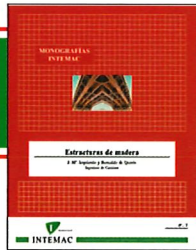
“Análisis comparativo entre los procedimientos propuestos por la instrucción EHE-08 y el Eurocódigo EC2 para el cálculo de flechas en vigas y forjados de hormigón armado”.

Autores: Eduardo Díaz-Pavón, Enrique Calderón Bello, Raúl Rodríguez Escribano.

Consulte lista completa de la Colección

MONOGRAFÍAS INTEMAC

Publicación de INTEMAC con un carácter eminentemente práctico destinada a tratar temas muy concretos que, o bien presentan un nivel de problemas acusado en la práctica, o bien están insuficientemente cubiertos por la Normativa y la documentación técnica correspondientes.



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 38 €

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 38 €

MONOGRAFÍA INTEMAC N° 7

“Estructuras de madera”.

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

Precio de la Monografía 38 €

NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT

Con independencia de la serie de Cuadernos de INTEMAC, de los que se publica un número trimestral, bilingüe en español e inglés, en INTEMAC se producen, con acentuada frecuencia notas de información sobre aspectos concretos que pensamos que no solamente tienen una utilidad interna, sino que pueden resultar interesantes para muchos Técnicos de la Construcción.

Las Notas se envían únicamente por correo (pago por transferencia o tarjeta de crédito).

NIT-5 (06)

Influencia de la oxidación y de las manchas de mortero sobre la adherencia de armaduras de hormigón

J. Calavera Ruiz, A. Delibes, J. M^a. Izquierdo y Bernaldo de Quirós, G. González Isabel.

Edición en español, en color. 12 páginas

Precio 14 €



NIT-6 (07)

El previsible descenso de la seguridad en pilares con la entrada en vigor del Eurocódigo EC-2, y la necesidad de un control estricto de la calidad del hormigón en pilares

J. Calavera Ruiz.

Edición en español, en color. 10 páginas

Precio 12 €

VÍDEOS TÉCNICOS Y DVD'S

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, refrendado 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 Mpa a 70 Mpa, 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 €

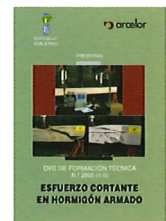


Esfuerzo cortante en hormigón armado.

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 BOLETIN BIBLIOGRAFICO 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 BOLETIN BIBLIOGRAFICO 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) 200 €



Consulte otras publicaciones

www.intemac.es

PUBLICACIONES



Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado

2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 135 €



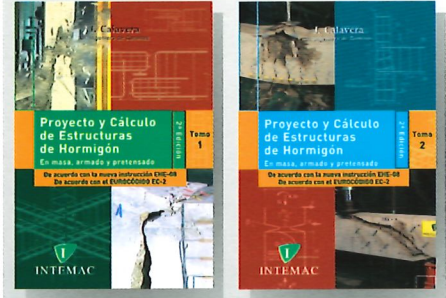
Fichas de ejecución de obras de hormigón

3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 68 €

Nueva publicación



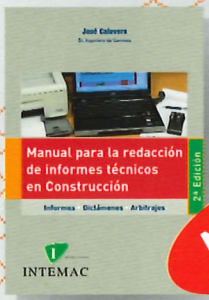
Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón

2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 180 €

Nueva edición



Manual para la redacción de informes técnicos en construcción

2ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 90 €

Nueva edición



Manual de Ferralla

3ª edición

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

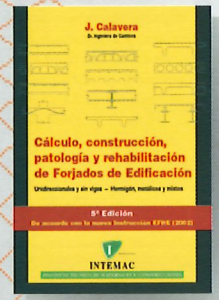
Precio: 45 €



Proyecto de estructuras de hormigón con armaduras industrializadas

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

Precio: 50 €



Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación

5ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 113 €



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: 64 €

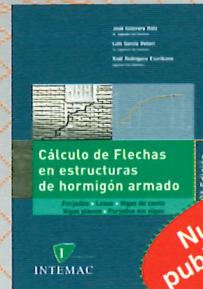


Muros de contención y muros de sótano

3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 80 €



Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado

2ª edición

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

Precio: 110 €

Nueva publicación



Manual de detalles constructivos en obras de hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Libro: 123 € CD-ROM: 198 €

El libro y el CD-ROM pueden adquirirse conjuntamente o por separado

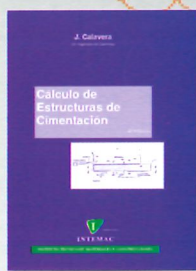
Software asociado en ficheros de AutoCAD



Ejecución y control de estructuras de hormigón

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

Precio: 133 €



Cálculo de estructuras de cimentación

4ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 80 €



Hormigón de alta resistencia

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

Precio: 47 €



Tecnología y propiedades mecánicas del hormigón

A. Delibes (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 57 €