

22



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGON**

**PUENTES EN LA RED FEDERAL  
CARRETERA DE MEXICO**

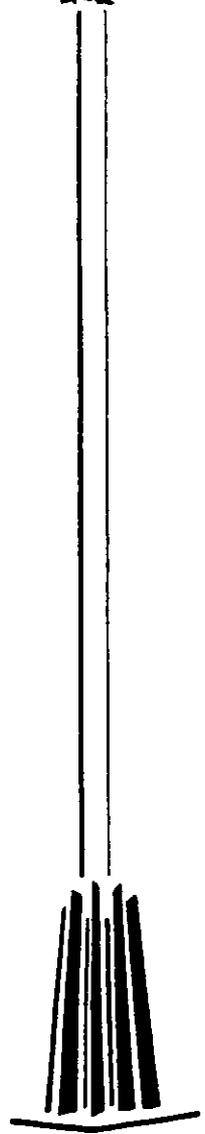
**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO CIVIL**  
P R E S E N T A N:  
MANUEL ABRAHAM RINCON MANCILLA  
MARIA ELENA SOLIS ESTRADA

DIRECTOR DE TESIS: ING. KARLA IVONNE GUTIERREZ VAZQUEZ.

México

201993

3000





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## A JEHOVÁ DIOS:

Por ser el Hacedor de todas las cosas y darnos hasta hoy el maravilloso don de la vida. Como Magnifico Instructor nos ha dado siempre la guía necesaria para vivir felices y conocer el amor y la justicia verdaderos; además, sus principios y consejos sabios han sido una base sólida que ahora nos haya permitido tener una profesión.

Gracias

*Yo, la sabiduria,  
he residido con la sagacidad  
y hallo hasta el conocimiento  
de las capacidades de pensar.  
Por mí reyes mismos siguen reinando,  
y altos funcionarios mismos  
siguen decretando justicia.  
Por mí príncipes mismos  
siguen gobernando como príncipes,  
y todos los nobles están juzgando en justicia.  
A los que me aman, yo misma los amo,  
y los que me buscan son los que me hallan.  
Riquezas y gloria están conmigo,  
valores hereditarios y justicia.  
(Proverbios 8 : 12, 15 - 18)*

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A LA UNAM CAMPUS ARAGON:**

Por darnos la oportunidad de estudiar en ella y prepararnos como profesionistas.

### **A NUESTROS PROFESORES:**

Por compartir su tiempo, conocimientos y experiencia, por mostrar interés individual por sus alumnos e inculcar en nosotros ética profesional y dar formación personal.

### **A LA ING. KARLA IVONNE GUTIÉRREZ VÁZQUEZ:**

Por su ayuda, su buena disposición y tiempo que dedicó para que este trabajo se realizara de manera correcta.

### **A NUESTROS SINODALES:**

Ing. Pascual García Cuevas

Ing. Gilberto García Santamaría G.

Ing. Ma. de los Ángeles Sánchez C.

Ing. Ricardo Heras Cruz

por la ayuda brindada aún en circunstancias difíciles de la escuela y la disponibilidad que han mostrado para poder obtener el título de Ingeniero Civil.

## *DEDICATORIAS*

Sr. Manuel Rincón Guerrero

A ti, papá, por la gran entrega y todos los sacrificios que tuviste por lograr un objetivo: que llegara a mi meta como estudiante. Por tu amor y tu forma de ser, que me impidieron desanimarme o dejar inconcluso el camino que termina hoy.

Sra. Maricela Mancilla de Rincón

A ti, mamá, por tu abnegación, por las noches sin dormir y por los cuidados que me han protegido desde mi infancia. Por el impulso que siempre me diste y porque también has estado conmigo en las buenas y en las malas.

Gracias a los dos por confiar en mí y apoyarme siempre.

A mi hermana Erika Maricela Rincón Mancilla

Porque, aunque eres menor que yo, he aprendido mucho de ti. Por la vida que hemos llevado de alegrías y tristezas, avenencias y desacuerdos, y por todo lo que nos falta por hacer.

A mis abuelitos Benjamín y Caritina

Porque han estado conmigo en cada uno de mis logros y este no es excepción; además de la confianza y el amor que me han brindado.

A Lucía V., Gerardo B., Iván H., Jesús E., Gilberto C., Jeydecoll A., Hortensia E., y a sus familias, en representación de mis amigos, que han estado conmigo para darme apoyo, ayuda y consejos, y porque estoy seguro que seguiremos así por mucho, mucho tiempo.

A Zully R., Fernando H., Enedino M., y Adán F., de la E.N.E.P. porque llegamos a compartir más que solo trabajos en equipo.

A Patricia G., Marcelino P., Argelia D., Cristina M., y Miguel R. pues en su momento tuvimos gran compañerismo y amistad y, aunque las circunstancias nos separen, el recuerdo de lo que aprendimos juntos nunca se borrará.

Manuel Abrahám Rincón Mancilla.

## ***DEDICATORIAS***

A mis padres

Ángel Solís Paredes

Por haber sido un padre responsable y amoroso, por su esfuerzo para formar una familia estable y cuidar de ella hasta el final.

Hortencia Victoria Estrada Zorrosa

Por todo el esfuerzo y sacrificio que hizo por educarme y cuidarme con mucho amor y sabiduría durante todos estos años, debido a esto he podido lograr uno de los objetivos de mi vida. Gracias por el excelente ejemplo que como mujer, madre y profesionista nos has dado.

A mis hermanas Eunice y Noemí

Por su apoyo y cariño que siempre me han mostrado. Gracias por compartir conmigo todo momento de mi vida.

A mis compañeros.

Por haber compartido juntos el logro de esta meta y por su ayuda que me brindaron durante ella.

María Elena Solís Estrada

# Í N D I C E

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

## CAPÍTULO I

ANTECEDENTES.....	5
1.1    Concepto de puente.....	6
1.2    Elementos que constituyen un puente.....	6
1.3    Evolución de los puentespuentes en México.....	11
1.4    Historia de los puentes en México.....	17

## CAPÍTULO II

CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES.....	23
II.1    Por su uso.....	24
II.2    Por su condición.....	26
II.3    Por su material.....	30
II.4    Por su trazo.....	32
II.5    Por su tipo.....	34
II.6    Por su estructuración.....	46
II.7    Por su importancia.....	49

## CAPÍTULO III

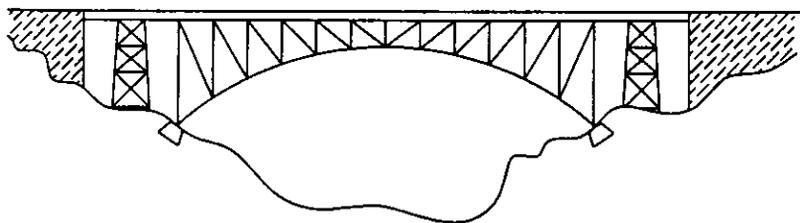
MANTENIMIENTO DE PUENTES.....	51
III.1    Necesidades de vigilancia y conservación.....	52
III.2    Visitas y auscultaciones en puentes.....	56
III.3    Causas de deterioros.....	61
III.4    Diagnóstico de las causas.....	76

## **CAPÍTULO IV**

INVENTARIO DE PUENTES.....	90
IV.1 Preliminares.....	91
IV.2 Sistemas de Administración de Puentes.....	94
IV.2.1 SIAP.....	95
IV.2.2 SIPUMEX.....	106

## **CAPÍTULO V**

ANÁLISIS CRÍTICO DE LA INFRAESTRUCTURA DE PUENTES.....	126
CONCLUSIONES .....	137
BIBLIOGRAFÍA.....	141



# INTRODUCCIÓN



## INTRODUCCIÓN

**D**esde tiempos antiguos los hombres se comunican mediante una extensa red de caminos, calzadas, carreteras y en la actualidad, autopistas, que dan testimonio de su deseo tanto de viajar y dar auge al comercio, como de guerrear y forjar imperios. Por ello son consideradas como una de las principales vías de comunicación.

Esto cobra mayor importancia debido a que permiten el desarrollo, en todos los sentidos, de un país.

Actualmente se habla de la mundialización, cuyo objetivo es elevar la calidad de vida en diversos países del mundo. Para lograrlo, será indispensable contar con la infraestructura necesaria en todas sus vertientes.

Una parte fundamental de las vías de comunicación la componen los puentes. Estos acortan las distancias entre dos puntos al permitir cruzar ríos, lagos, golfos, etc. Sin los puentes los tiempos de recorrido serían más largos, lo que originaría pérdidas en muchos sentidos, principalmente en el económico.

La tecnología en la construcción y diseño de puentes se ha desarrollado enormemente y ha ido desde los elaborados con sogas y madera, pasando por piedras y otros materiales, hasta los modernos fabricados con concreto presforzado y acero estructural. Con esto hubo un relevante desarrollo económico, demográfico, cultural y hasta religioso. También favoreció el transporte de metales, alimentos y otros artículos. En la actualidad quedan algunos restos de lo que antaño fueron



puentes que atravesaron pasos estrechos, brechas, ríos, cuencas pequeñas, lagos, llanuras y ciénagas. Estos sobrevivieron debido a la conservación que se les proporcionó; de no haber sido así, rápidamente se hubieran arruinado hasta el grado de volverse inservibles.

Lo anterior confirma el hecho de que los puentes, como todo aquello que nace de las manos de los hombres, necesita mantenimiento.

La obra que presentamos a continuación aborda este tópico: el mantenimiento de los puentes en México.

El mantenimiento es esencial para que los puentes sigan siendo funcionales y seguros, por lo que a través de este trabajo se pretende ver la situación actual en que se encuentran los puentes y qué tan grande es la necesidad de mantenerlos en buen estado.

El primero de los cinco capítulos hace referencia a los antecedentes que servirán de base para poder conocer más sobre el tema, desde la definición de puente y partes que lo integran hasta la evolución e historia de los puentes en México.

En el segundo capítulo se hace una descripción de los diferentes tipos de puentes que existen. Esta clasificación es muy general por lo que permitirá al lector identificar la estructura de que se trate y justificar su elección ante el problema planteado.

El siguiente capítulo muestra la importancia del mantenimiento. Se señalan algunas de las causas que originan el deterioro en cada una de las partes que integran el puente así como las medidas de reparación y conservación.

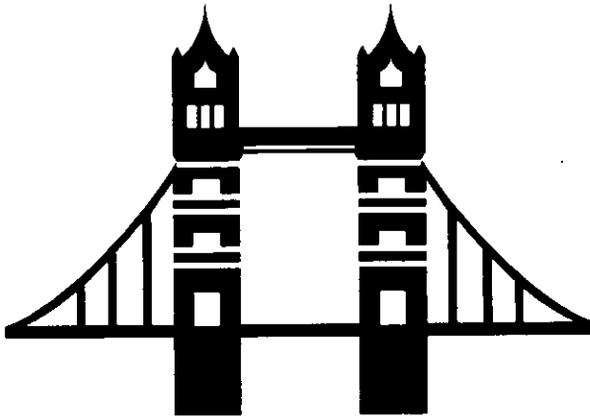


Se sabe que es indispensable la conservación de los puentes pero ¿quiénes lo llevan a cabo? y ¿cómo lo hacen?, precisamente esto trata el cuarto capítulo en donde se hablará de los sistemas de administración de puentes y cómo el uso de inventarios permiten lograr la protección y conservación de los puentes.

En el último capítulo se hará un análisis crítico con base en lo expuesto en los anteriores.

Debido a que la información detallada sobre el estado físico en que se encuentran los puentes es confidencial no fue posible hacer un análisis amplio sobre las condiciones reales actuales de la infraestructura de puentes en México, pero los datos obtenidos son suficientes para entender por qué es tan grande la necesidad de dar mantenimiento.

Para que el contenido de este trabajo fuera más didáctico se dio énfasis en la relación consecutiva de los temas; así mismo, se ha incluido una serie de dibujos, tablas y fotografías que ayudarán a esclarecer y ejemplificarán lo planteado en esta investigación.



# CAPÍTULO I



## I. ANTECEDENTES

### I.1 CONCEPTO DE PUENTE

**E**l puente es una estructura de madera, piedra, ladrillo, concreto simple o armado, o acero estructural que mide más de seis metros de largo y no llevan colchón de tierra sobre ellos.

Se utiliza para que una vía de comunicación pueda salvar un obstáculo natural o una vía de circulación terrestre, fluvial o marítima con el fin de que el camino siga su curso.

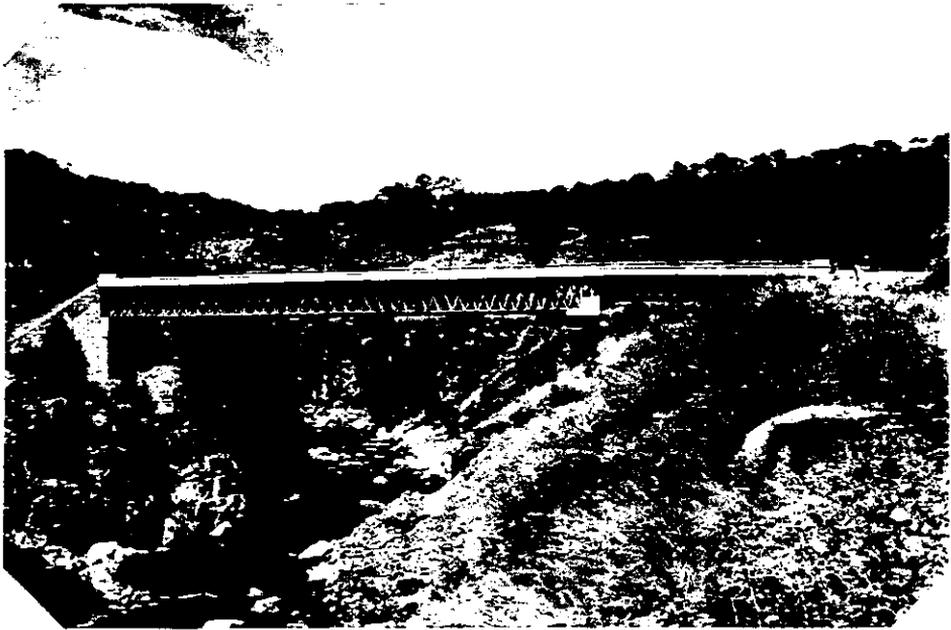
Es una obra capaz de soportar las cargas dinámicas de viento, tránsito, sismo, oleaje, etc. Debe cumplir con las condiciones de seguridad, funcionamiento y durabilidad requeridos y estética deseada.

### I.2 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN PUENTE

La estructura de un puente está formada por la superestructura, la subestructura y la infraestructura.

La **superestructura** es la parte del puente que queda arriba de las placas de apoyo (la parte que sostiene el sistema de piso). Cuando son puentes de losa, la superestructura y el sistema de piso son la misma cosa.

Esta puede estar formada por cualquiera de las siguientes alternativas:



PUENTE

losa: Monolítica simple o plana maciza  
plana aligerada  
nervurada  
sección cajón  
sobre viguetas de acero

viga: placa de concreto  
placa invertida  
de cajones

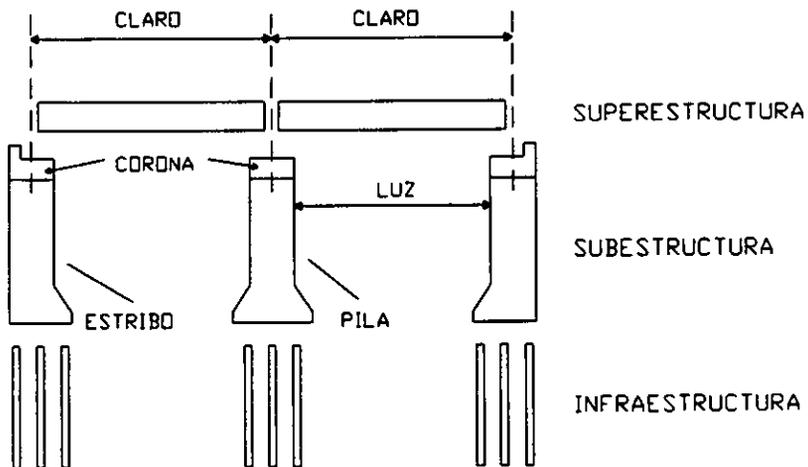
Armadura: de paso a través  
de paso superior

Arcos: de acero  
de concreto



La **subestructura** es la parte del puente que transmite las acciones a la cimentación y pueden ser:

- Estribos:      en "U"  
                  en "T"  
                  enterrado  
                  con aleros
- pilas:           de marco  
                  de muro
- Caballete:     sobre cilindros  
                  sobre pilotes



Estos se componen de:

*Corona:* La parte que recibe directamente la carga de la superestructura para transmitirla al cuerpo.



*Cuerpo:* Su función principal es la de ligar y transmitir las cargas de la corona a la zapata.

*Zapata:* Transmite las cargas al terreno de manera que no sobrepasen la carga admisible de éste.

La **infraestructura** es la parte que se encuentra debajo de la subestructura, enterrada. <sup>(1)</sup>

Cabe mencionar que las partes más importantes de todo puente son las pilas que sostienen los tramos. Algunas pilas tienen que ser construidas en lugares cubiertos por aguas profundas. Ese trabajo es peligroso y cuesta mucho dinero. Por eso se procura que el número de pilas en agua profunda sea el menor posible.

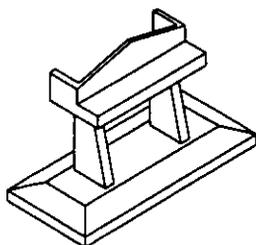
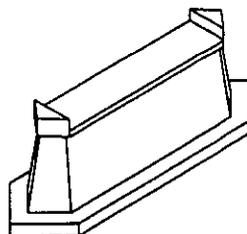
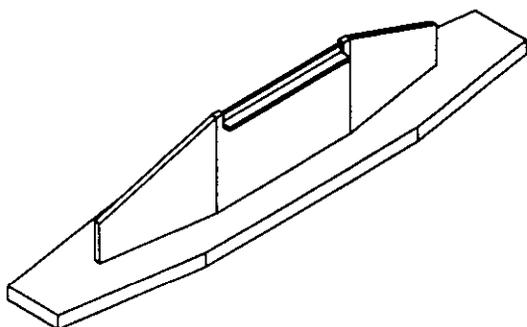


PUENTE CON UNA PILA SUMERGIDA

<sup>(1)</sup> La infraestructura no se considerará en este trabajo.



Además, puesto que no hay dos fondos de río que sean idénticos a veces la construcción de los cimientos se hace con base en experimentos. Hay ocasiones en que se necesitan modificar los planes cuando el trabajo ya tiene cierto porcentaje de avance.





### 1.3 EVOLUCIÓN DE LOS PUENTES

Se han escrito muchas historias sobre el origen de los puentes por lo que es difícil determinarlo. Tampoco se halla un sentido cronológico del término. Su evolución, más bien, se ha supeditado al desarrollo de los sistemas de movilidad y los momentos concretos en los que las circunstancias sociales, económicas y políticas han promovido cierto auge, como por ejemplo la dominación romana, la Revolución Industrial, el desarrollo tecnocrático después de la Segunda Guerra Mundial o el perfeccionamiento de nuevas tecnologías constructivas.

También, la historia de los puentes se ha escrito muchas veces centrada en el progresivo avance de sus técnicas de construcción, cálculo y diseño.

La necesidad de construir puentes está directamente relacionada a lo largo de la historia con el hecho de trasladarse. Es muy probable que los primeros puentes se hayan tendido por accidente. Por ejemplo, pudiera ser que se valieran de algún árbol derribado para cruzar un arroyo. Posteriormente, alguien necesitó un puente en un lugar especial y cortó un árbol de manera que cayera en ese lugar.

En este sentido, los primeros puentes de los que se tiene noticia hacen referencia a los empleados por las grandes gestas militares de conquista y colonización.

Hace más de dos mil quinientos años, la reina Nitocris de Babilonia construyó un puente sobre el río Éufrates pues la ciudad tenía dos sectores y el río pasaba por en medio. El historiador griego Heródoto, en el siglo VI antes de nuestra era, registra que en tiempos de los reyes que la precedieron, cuando se quería pasar de un sector a otro había que hacerlo en barca. La reina utilizó maderos, ladrillos cocidos y bloques de piedra como materiales de construcción y, hierro y plomo como argamasa.



### CUANDO HAY NECESIDAD DE TENER UN PUNTE

Heródoto, también menciona el puente que hizo construir Jerjes para permitir a sus ejércitos atravesar el Helesponto, estrecho cercano a Grecia.

El sistema utilizado consistió en unir entre sí mediante sogas 674 barcas, colocadas en dos líneas, y disponer sobre ellas un entarimado cubierto de tierra rematado lateralmente con parapetos de madera para evitar que los animales cayeran al agua. A través de esas barcas se tendieron seis gruesos cables de papiro y fibra, cada uno de ellos de más de kilómetro y medio de longitud.

Este puente, como el que hizo construir Darío sobre el Bósforo o Alejandro sobre el Éufrates, obedecía a unas características tipológicas comunes: usaban material fácil de conseguir como madera o pieles de animales que, rellenas con paja o heno y cosidas, flotaban sobre el agua.



En el siglo I, “todos los caminos conducían a Roma”, por ello, en la sociedad griega el puente queda como instrumento vinculado a las exigencias cotidianas locales de comunicación de la ciudad con su entorno. Valiéndose de piedras de hasta ocho toneladas los ingenieros romanos edificaron puentes de arco tan bien diseñados que algunos de ellos todavía permanecen en pie después de más de dos mil años. Sus acueductos y viaductos también eran puentes en realidad. Tan solo en el área de Lacio se construyeron no menos de 58 Km de puentes y acueductos que organizaban los accesos y abastecían de agua a la ciudad. El arco como aligeramiento del muro era usado como sistema sin fin para resolver los pasos por encima de la llanura y su monumentalización se evidencia al compararlo con el resto de los construidos anteriormente.



PUENTE ANTIGUO Y PUENTE NUEVO



Empiezan a notarse características como centralidad, simetría, organización en órdenes, composición global e incluso perfilada estereotomía de la piedra, queriendo significar la presencia del poder de Roma.

En la Edad Media, los puentes sirvieron a veces de fortalezas. En el año 944, los sajones construyeron en Londres un puente de madera sobre el río Támesis para protegerse de un ataque de los daneses. Casi tres siglos después fue reemplazado por el antiguo puente de Londres recordado en las páginas de la historia.

Cuando Isabel I ascendió al trono de Inglaterra, el puente de Londres era más que una fortaleza de piedra. Sobre él se habían levantado edificios que albergaban tiendas en la planta baja y viviendas para mercaderes ricos e incluso miembros de la corte real en las plantas superiores. El puente de Londres se había convertido en uno de los centros de la vida social urbana. Los alquileres que se cobraban a los tenderos y a los residentes ayudaban a costear su mantenimiento. Además, era un puente de peaje.

Mientras en Europa se construían puentes de madera y piedra, en Sudamérica los incas los hacían de cuerdas. Un destacado ejemplo es el puente de San Luis Rey sobre el río peruano Apurímac. Los incas fabricaron cables del grosor de un hombre retorciendo juntas las fibras de cierta planta, los apoyaron en pilares de piedra y los tendieron por encima del río. Después de asegurarlos por sus extremos, suspendieron una plataforma de tablones por la que se podía transitar. Había equipos de mantenimiento que reemplazaban los cables cada dos años. Tan bien construido y mantenido estaba el puente que duró unos quinientos años.

En 1779 se construye en Inglaterra sobre el río Severn en Coalbrookdale el primer puente proyectado enteramente en acero que fue el primer material artificial de construcción. Su evolución se aceleró cuando resultó que la locomotora, con la que



habían estado haciendo experimentos desde hace 100 años, solo podía ser utilizada sobre raíles (o rieles) de acero. El raíl fue la primera unidad de construcción, el precursor de la viga.

El puente sobre el Severn abre las puertas a la utilización de la fundición en la construcción de puentes, en general, a la posibilidad de la prefabricación de grandes estructuras en taller.

Se siguen depurando los sistemas más tradicionales en mira al aligeramiento de las estructuras para tratar de conseguir mayores claros y así reducir el número de apoyos pero sin aumentar los cantos, procurando mantener la imposta siempre más alta que el nivel de la máxima crecida del río. El resultado ha sido un creciente auge en la construcción de nuevas redes viarias y, desde 1825, de los trazos de líneas ferroviarias.

En 1884, el ingeniero Jean L. Résal construyó un puente metálico de 80 m de claro. Su estructura está formada por perfiles en " I " de hierro fundido y es de un solo arco. Cinco años más tarde proyecta sobre el Sena un elegante puente análogo de 107.5 m de claro.

A partir del año 1900 se construyeron los primeros puentes con el nuevo material: *concreto*. Aproximadamente en 1912 se pasó a la construcción de puentes de vigas y de pórticos con concreto armado con claros de alrededor de 30 m, mientras que los puentes en arco alcanzaban dimensiones cada vez mayores. Entre 1941 y 1945 se construyó en Suecia el puente Sandö con un arco de 280 m de claro.

Los puentes de concreto pretensado surgieron a partir de 1938. Después de 1948 éste conquistó la construcción de puentes donde, de preferencia, se utilizaron vigas



de hasta 230 m de claro. Con cables inclinados en 1977 ya se alcanzaron claros de aproximadamente 300 m.

Tras el masivo desarrollo en el terreno de la arquitectura y la construcción de principios de los 90, la nueva generación de puentes se presenta dividida. Por un lado, la producción seriada de autopistas y crecimientos periféricos sigue las pautas desarrolladas desde la Segunda Guerra Mundial y mantienen vigentes los modelos estéticos, generalizándose los sistemas de prefabricación en concreto y vigas pretensadas, y la construcción de concreto postensado *in situ*. Por otro lado, la recesión coincidió con la formulación de posiciones abiertamente críticas al Movimiento Moderno y aparecen conceptos como *complejidad* y *contradicción* en la Arquitectura.



MODELO VANGUARDISTA



## I.4 HISTORIA DE LOS PUENTES EN MÉXICO

La evolución del diseño de puentes en la República Mexicana, desde los primeros puentes constituidos por losas planas o losas nervadas hasta los modernos puentes de concreto presforzado, se inicia hacia el año de 1926, tiempo en el cual el Estado tomó a su cargo la construcción de carreteras.

Los ingenieros encargados de proyectar y construir los puentes carreteros formularon la primera colección de "Proyectos tipo" que ayuda a resolver satisfactoriamente la mayor parte de los problemas de cruzamiento. En esta colección de proyectos tipo, para claros de 1 a 6 m<sup>(2)</sup>, se usan losas planas de concreto; para claros de 7 a 15 m se emplean losas nervadas. Cabe hacer notar que en esta colección, para claros superiores de 15 m sistemáticamente se recurrirá a estructuras de acero (trabes de alma llena, armaduras y, en casos excepcionales, arcos), hecho que se atribuye a la influencia de la información sobre diseño y construcción de puentes del país vecino Estados Unidos Americanos. Este hecho es notorio porque en la actualidad en México, como en muchos países, se salvan claros de 50 m y aún mayores de concreto reforzado (en claros continuos o articulados), y hasta el orden de los 100 m en concreto presforzado.

El motivo por el cual se acepta la armadura de acero para los claros superiores a 15 m proviene seguramente del punto de vista económico (gran producción de acero y mano de obra cara) pues estas resultan más económicas que las de concreto.

Todos los puentes en caminos fueron proyectados de una sola vía de circulación con carga móvil de 14 Ton. Y sus anchos de calzada variaban entre 5.2 y 5.7 m

---

<sup>(2)</sup> Los puentes con claros menores a 6 m se denominan *alcantarillas*



(estos anchos permiten el cruzamiento solo ocasionalmente de 2 automóviles a velocidades muy moderadas).

**EFFECTO DEL INCREMENTO DE LAS CARGAS VIVAS EN LOS PUENTES CARRETEROS.-** Los puentes construidos de 1926 a 1939 fueron proyectados para el paso de una sola banda de camiones tipo H 15 (13.6 ton). Los tipos de las superestructuras empleadas en ese período, salvo excepciones muy contadas, estaban constituidos básicamente de la siguiente manera:

CLARO	TIPO DE SUPERESTRUCTURA	CARGA VIVA DE PROYECTO
5 a 15	Losas nervadas de concreto.	H 15
15 a 21	Trabes de acero de alma llena de paso a través.	H 15
25	Armaduras de acero tipo Pratt, de paso a través.	H 15
30 a 80	Armaduras Pratt de paso inferior (90%) o de paso superior (10%).	H 15

No todas las superestructuras de los tipos anteriores son igualmente susceptibles a los efectos de las cargas vivas. Es más, no todas las partes de una misma superestructura son igualmente afectadas por las cargas móviles. En las trabes de las losas nervadas de 5 m de claro, el momento flexionante debido a la carga viva es el 45% del movimiento total. En las de 15 m de claro, el momento debido a la carga viva es solo el 18 % del total. Por esto, si la carga viva crece de H 15 a H 20, el momento total en las nervaduras de 5 m de claro se incrementa en un 60%, mientras que en las de 15 m de claro se incrementa sólo un 24%.

La mayor parte de las piezas esenciales que forman las armaduras (cuerda inferior, cuerda superior, diagonales y montantes) son mucho menos sensibles al efecto de las cargas vivas que los largueros bajo la losa y que las piezas de puente. De aquí que sea importante inspeccionar cuidadosamente los remaches de conexión de los largueros a las piezas puente, así como los de éstas a los nodos de la armadura, ya que las piezas de puente están en condiciones parecidas a los largueros.

Posteriormente en 1946 se formula otra colección de "Proyectos tipo" normal de losas nervadas, desde 7 hasta 16 m de claro, que presenta ya notables ventajas sobre la primera.



Se calcularon para el paso simultáneo de dos caminos de 14 ton, el ancho de calzada se aumentó a 6.7 m que permite el cruce de dos camiones a baja velocidad. Se consideró, además, un concreto de mayor resistencia y acero que admita esfuerzos de trabajo superiores a los considerados en los primeros proyectos. Con estos cambios en los materiales de construcción se logra un resultado sorprendente; pues las cantidades de concreto para los nuevos proyectos, para claros iguales, no obstante haber duplicado la carga viva, son inferiores que los requeridos en los proyectos de la primera serie.

Adviértase sin embargo, que el claro límite para este tipo de superestructura había permanecido prácticamente el mismo (16 metros).

En 1952 se hizo una tercera colección un poco corregida a la de 1946 pero sin grandes variantes.

En 1963 la Secretaría de Obras Públicas formó una cuarta colección mucho más completa que las anteriores por lo que se refiere a superestructura de concreto ya que incluye claros de mayor longitud (hasta de 35 metros), de concreto reforzado y superestructura de concreto presforzado desde 30 hasta 45 metros de claro.

Por lo que se refiere exclusivamente a losas nervadas, estas se proyectan con un ancho de calzada de 7.5 metros y para carga viva de camiones con remolque (trailers) con un peso total de 24.5 ton (casi el doble del peso de los de la segunda colección) en dos bandas de circulación; pues bien, para un mismo claro de comparación con las otras colecciones el concreto necesario, según esta cuarta colección, es solo el 72 % del requerido por el proyecto correspondiente a la de 1926.

Con la siguiente tabla se da a conocer con mayor claridad lo expuesto anteriormente:



<b>Colección</b>	<b>Calzada</b>	<b>Carga móvil</b>	<b>Porcentaje</b>
1926	5.70 m.	14 ton.	100
1946	6.70 m.	27 ton.	95
1963	7.50 m.	49 ton.	72

En México resultan más económicos los claros hasta de 35 metros en concreto presforzado que en concreto reforzado común.

En general, en claros del orden de 20 metros en adelante, es más económico proyectar las losas nervadas con solo dos en lugar de tres o más nervaduras. Esto se debe no solo al ahorro de concreto, moldes y cimbras, sino de la subestructura también.

Las estructuras continuas de concreto reforzado de gran claro se iniciaron en México entre 1953 y 1955. El puente Corona en la carretera Victoria-Matamoros (180 m. de longitud) contribuyó decisivamente a la eliminación de las armaduras de acero en tramos de unos cuarenta metros.

Una creciente extraordinaria del río Bravo, que se presentó en el año 1954, destruyó el puente internacional que unía a la población de Nuevo Laredo, Tamaulipas con la ciudad texana de Laredo. Aprovechando la cimentación de la antigua estructura se proyectó un puente continuo de concreto presforzado, de 262 metros de longitud, con calzada de 12.20 metros y dos banquetas peatonales de 2 metros de ancho cada uno, está formado por tres tramos de 45.60 metros cada uno y dos tramos de acceso. Este puente es sin lugar a duda uno de los más interesantes por su economía y sus características de amplitud. Se acabó de construir en el año 1956.



En 1959 se concluyó la construcción del puente Aguacatillo en la carretera México-Acapulco. La longitud total de esta obra es de 91 metros. El arco tiene un claro de 60 metros, la estructura es de concreto armado y está en curva horizontal, curva vertical y esviado; el arco es en realidad una poligonal de catenaria invertida con traveses de rigidez en el sistema de piso.

El puente de mayor longitud construido en el país es el puente mixto (ferrocarril y carretero) Coatzacoalcos II, cuya longitud es de 1170 metros.

En la actualidad, los puentes se construyen con acero y concreto presforzado, principalmente.

### **México a la vanguardia**

En la actualidad México tiene una marca sobresaliente. Es el primer país, a escala mundial, que cuenta con puentes atirantados en zona urbana. El primero de este tipo fue construido sobre la avenida Rojo Gómez para cruzar la Calzada Ignacio Zaragoza.



## CAPÍTULO II



## II. CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES

Los diferentes tipos de puentes han evolucionado a través del tiempo dependiendo fundamentalmente de dos aspectos: a) el conocimiento de nuevos materiales y b) el desarrollo del comportamiento resistente de los mismos.

El primer aspecto ha motivado el desarrollo de nuevos tipos de puentes, así, en orden cronológico se ha utilizado la madera, la piedra, el hierro, el acero, el concreto armado y el concreto presforzado como materiales en la construcción de puentes.



PUENTE A SERRA



Cada material ha posibilitado que se tomen formas nuevas y por tanto han originado nuevos tipos de puentes. Es fácil imaginar una estructura de madera o de piedra porque cada construcción requiere una forma determinada. Con el acero se desarrollaron las armaduras y puentes colgantes; y con el concreto, sea armado o presforzado, se han desarrollado los puentes actuales en todas sus variedades.

El segundo aspecto ha hecho que se pueda reducir las secciones de las estructuras y además usar los criterios técnicos, resultado del análisis, para desarrollar nuevos tipos que se adaptan mejor a la función estructural del conjunto.

En este capítulo se presenta una clasificación lo más general posible recopilando los tipos de puentes que se han utilizado a través del tiempo.

## II.1 POR SU USO

La utilización para el cual se construye un puente es variada pudiendo ser: para el cruce de peatones, para vehículos de carretera, para ferrocarril y para conducción de fluidos (llamados acueductos, gasoductos, oleoductos, etc.), cada uno de los cuales se diseña para soportar las distintas cargas a que estará sometido durante su vida útil.

Aunque las normas especifican estas cargas pueden presentarse algunas que no estén contempladas en las mismas, por ejemplo, cuando su utilización se sale de lo habitual. Se puede citar como ejemplo muchas carreteras cuyos puentes están sometidos a cargas de diseño mayores de lo normal, producto de los camiones pesados que las utilizan.



En resumen, atendiendo a su uso se clasifican en:

Puente peatonal.

Puentes vehiculares:      Puentes  
   Viaductos  
   Pasos

Puentes ferroviarios.

Puentes de conducción de fluidos.

Puentes mixtos.



PUENTE - PASO

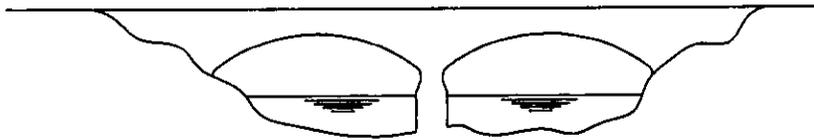


## II.2 POR SU CONDICIÓN

Los puentes son muy útiles cuando se desea cruzar un río, pero si se va en una embarcación el puente impide el paso, a menos que éste sea muy alto o se pueda abrir.

Aunque existen muchos puentes móviles la gran mayoría del total son fijos.

### F I J A



Casi todos los puentes colgantes son muy altos pero a menudo, los puentes sobre ríos pequeños son demasiado bajos y deben tener un tramo que se abra para que pasen las embarcaciones.

#### **Giratorio**

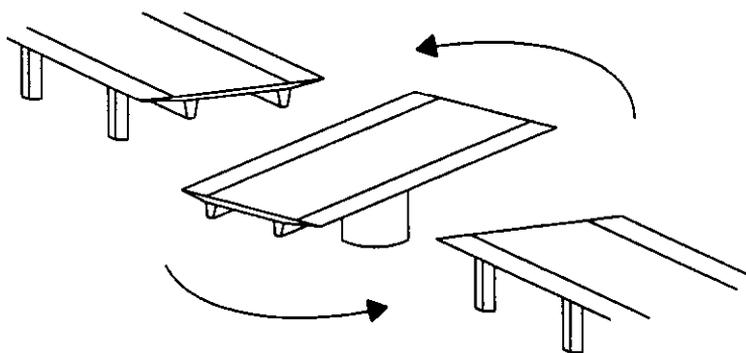
Una clase de puente móvil es la de tramo giratorio. Ese tramo está montado en un pivote vertical (sobre una pila) en medio del río. Cuando oscila un cuarto de círculo el tramo giratorio forma ángulo recto con el resto del puente y las embarcaciones pueden pasar.



Esta clase de puente da buenos resultados en ríos por las que solo navegan embarcaciones pequeñas. La pila central ocupa mucho espacio en el río y deja solo dos canales angostos a cada lado.

Generalmente, los puentes giratorios son movidos por un motor eléctrico que se encuentra en una caseta en la pila central. El vigía se cerciora de que no hay tránsito antes de girar el tramo.

## G I R A T O R I O



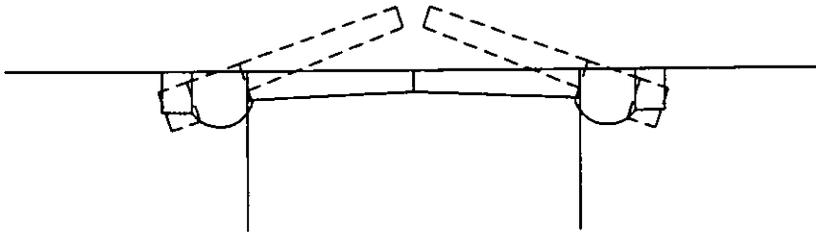
### **Basculante**

Un puente de báscula es un tramo que puede ser elevado por un enorme contrapeso en su extremo opuesto. Generalmente, los puentes basculantes tienen un gran peso en el extremo de cada tramo para que se muevan sobre sus pivotes sin que sea necesario emplear mucha energía. Esta la suministra un motor eléctrico.



Muchas básculas tienen curvados los extremos. Cuando el tramo u hoja se levanta el extremo curvado se desliza por una especie de riel o carril. Los puentes pueden ser de uno o de dos tramos u hojas. Cada uno de estos se levanta hacia su propio lado del río.

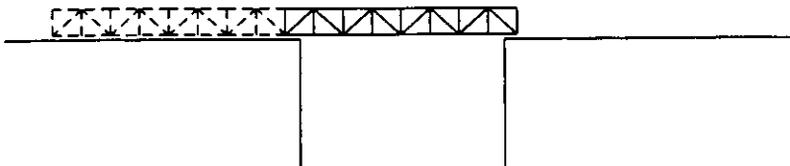
## B A S C U L A N T E



### Deslizante

En tramos cortos se puede utilizar un puente de tipo deslizante. Generalmente es de acero. Consiste en un dispositivo que corre a lo largo del acceso del puente quedando de un lado y dejando libre el paso para las embarcaciones.

## D E S L I Z A N T E



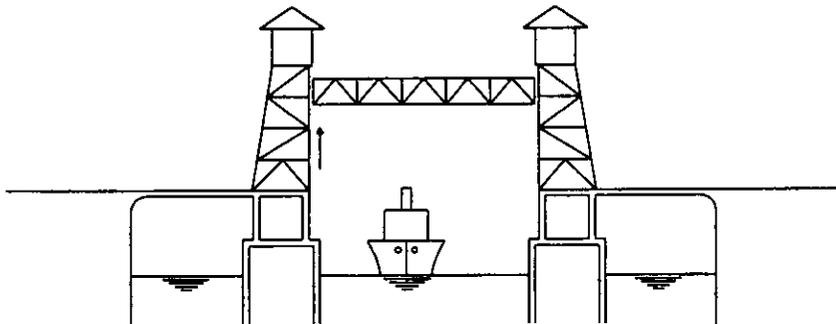


## Levadizo

En los puentes sobre ríos por los que navegan barcos de altura con frecuencia se emplea un tramo de ascensión vertical. Ese tramo se mueve hacia arriba o hacia abajo, entre dos torres, como un elevador. El tramo de ascensión funciona por medio de cables y poleas colocadas en la parte superior de las torres. Los pesos que penden de los cables casi equivalen a lo que pesa el tramo mismo.

Por lo general, los tramos suben y bajan a razón de 10 metros cada 25 segundos.

## LEVADIZO



En resumen, por su condición se tiene la siguiente clasificación:

Fijo:

- Móvil:
- a) Giratorio
  - b) Basculante
  - c) Deslizante
  - d) Levadizo



## II.3 POR SU MATERIAL

Los materiales constitutivos de los puentes son los mismos que en otras estructuras comunes. Estos son: madera, piedra, hierro, acero, concreto armado, concreto pretensado, concreto ligero y en los últimos años se han construido algunos de aluminio.

En México los de madera se han dejado solo para obras provisionales o algunos casos especiales. Los puentes de piedra fueron utilizados en gran escala en los puentes de arco debido al trabajo fundamental de esta estructura. En ello la época colonial ha dejado grandes obras. Los puentes de piedra han desaparecido quedando sólo algunos. La piedra se ha utilizado para la construcción de estribos y pilas lo cual es frecuente en el país.



ESTRIBO DE PIEDRA



El hierro y el acero se utilizan en los puentes de armaduras. Este material predominó en la época anterior al concreto.



PUENTE EN ARMADURA

Hoy día, en México se construyen puentes a base de concreto armado y pretensado casi exclusivamente. Pudiendo en estos momentos decirse que en varios años atrás todo lo que se ha construido ha sido solo en este material.

En resumen los puentes pueden clasificarse según su material constitutivo en:



Madera

Piedra (Mampostería)

Aluminio

Acero

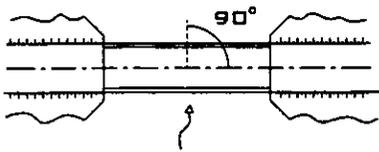
Concreto: Reforzado

Presforzado: Pretensadas

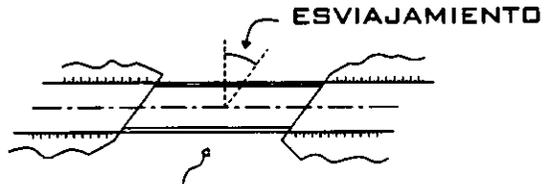
Postensadas

## II.4 POR SU TRAZO

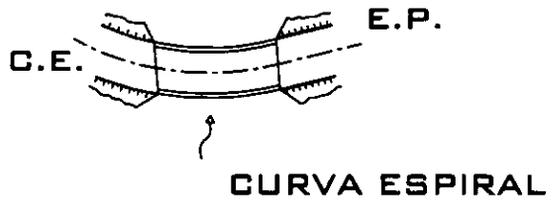
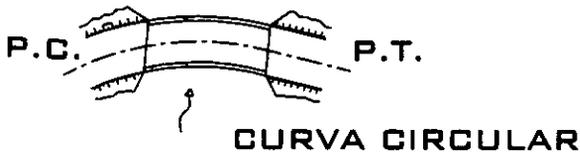
Horizontal: Normales  
Esviajados  
En curva (circular o espiral)



**NORMAL**



**ESVIAJADO**



Vertical

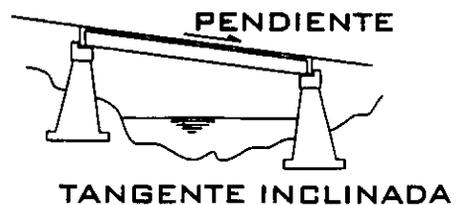
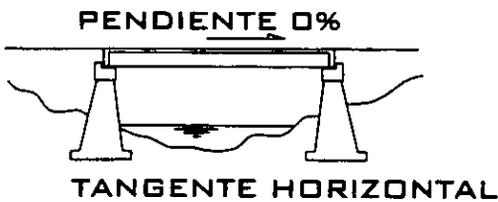
Tangente horizontal

Tangente con pendiente

En curva vertical

Cresta

Columpio

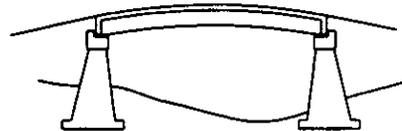




## CURVA VERTICAL (COLUMPIO)



## CURVA VERTICAL (CRESTA)



## II.5 POR SU TIPO

### Puentes en viga:

Vigas de un tramo simplemente apoyados. Esta cubre claros simples o múltiples, alineados, isostáticos; deben dimensionarse para el momento total  $M_0$  y exigen juntas en la calzada en cada uno de los extremos.

Vigas de un tramo cubriendo varios claros con una losa de tablero continua para reducir la cantidad de juntas en la calzada. Por regla general se prevén entre tres o cuatro claros sin juntas. Solo un apoyo de la cadena puede ser fijo, todos los demás deben poder desplazarse en sentido longitudinal.



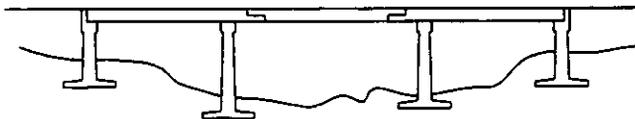
## VIGAS CONTINUAS



### MÚLTIPLES TRAMOS

Vigas de un tramo con voladizo y vigas suspendidas entre ellas (Vigas Gerber). Si bien son estáticas, exigen muchas juntas en el tablero. La distribución de los momentos flexores  $M_0$  entre las zonas de tramos y apoyos puede ser influida favorablemente por la ubicación de las articulaciones y por la variación de los momentos de inercia (alturas variables de los voladizos). Este sistema tiene muchas desventajas con respecto a las vigas continuas sin juntas.

## VIGAS GERBER

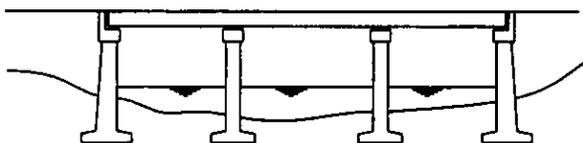


### UN TRAMO EN VOLADIZO



Vigas continuas, de dos o más tramos. Ya fueron construidas con más de 36 tramos continuos sin juntas. En lo posible los tramos extremos deben ser un 20% más cortos que los tramos intermedios, para que los momentos en los tramos resulten aproximadamente iguales. El momento  $M_0$  se distribuye entre los momentos de los tramos y de los apoyos con lo cual es posible obtener una esbeltez mayor que la de las vigas simplemente apoyadas.

## V I G A S   C O N T I N U A S



## V A N O S   M Ú L T I P L E S

El apoyo hiperestático del puente aumenta la seguridad; no se produce el derrumbe cuando falla una sección de la viga.

Los asentamientos desiguales de los apoyos originan momentos de coacción, los que, sin embargo, no deben considerarse como una desventaja. Los momentos de coacción debidos a pequeños asentamientos diferenciales, en las vigas pretensadas, son reducidos por la fluencia lenta. Diferencias de asentamientos mayores pueden compensarse levantando la viga con gatos hidráulicos y calzando los apoyos. En Duisburg se construyeron vigas de concreto pretensado, de múltiples tramos, sin juntas, en la zona de grandes hundimientos de suelos, a pesar de que eran de esperar asentamientos graduales de hasta un total de aproximadamente 5 m. Los ajustes están preparados para efectuarse en forma tal de no interrumpir el tráfico.



Las vigas continuas de concreto pretensado son, para una construcción adecuada contra asentamientos desiguales y temporales, menos sensibles que los puentes de acero porque al ajustar los niveles las fisuras vuelven a cerrarse gracias a la gran elasticidad de los elementos tensores de acero de un elevado límite elástico.

La gran ventaja de las vigas continuas es la ausencia de juntas en el tablero a lo largo de los puentes de gran longitud (800 a 1000 m). Las juntas móviles del tablero son caras, exigen mantenimiento periódico y molestan al tráfico. Por ello, en lo posible, no debe colocarse más de una junta de movimiento longitudinal en uno de los extremos del puente.

El apoyo fijo se coloca, de preferencia, en uno de los extremos del puente para tener allí una pequeña junta sin partes móviles. Los demás apoyos deben ser móviles en sentido longitudinal. En el caso de tramos longitudinales muy diferentes puede ser mejor ubicar el apoyo fijo en el lugar donde se produce la mayor reacción de apoyo.

Los puentes de vigas de gran longitud pueden subdividirse mediante vigas apoyadas sobre voladizos o articulaciones tipo Gerber.

### **Puentes en Marco (aportricados):**

En la construcción de puentes se generan marcos por la unión rígida a la flexión de un puente viga (dintel del marco) con los muros de los estribos o pilares (montantes del marco). El extremo de la viga, por ejemplo, se empotra en los estribos con lo cual una parte del momento  $M_0$  se reduce debido a momentos de empotramiento negativos, lo cual disminuye la altura necesaria en el tramo. Con montantes de marcos rígidos puede reducirse considerablemente el momento en el dintel. Con



una adecuada elección de las rigideces se puede ejercer una influencia favorable sobre la distribución de los momentos flexores, consiguiéndose por ejemplo, alturas constructivas extraordinariamente reducidas para puentes sobre vías férreas.

## MARCO RÍGIDO



Marco triarticulado isostático, es decir, libre de esfuerzos de coacción debido a temperatura y retracción. Las articulaciones pueden ser de concreto elásticas.

Marco triarticulado con un momento pendular. Isostático, teniendo en cuenta la movilidad horizontal del montante pendular. En general, no es posible efectuar rellenos laterales de tierra, por lo cual no es muy adecuado para puentes.

Marco biarticulado, con o sin tirante pretensado.

Marco biarticulado con tramos salientes del dintel apoyados, y montantes verticales o inclinados; las articulaciones, en general, son articulaciones elásticas (estricciones fuertemente armadas). Estos marcos son adecuados para pasos sobre autopistas.



## MONTANTES INCLINADOS



Marco doblemente empotrado, especialmente adecuado para pequeñas obras de paso inferior, paso de arroyos. Posible agregado de salientes como en los marcos articulados.

Marco cerrado, se adecua para cruces bajo nivel en casos de terrenos de cimentación especialmente malos.

Marco biarticulado, con montantes en forma triangular, apoyados sobre articulaciones o empotrados elásticamente, adecuado para viaductos sobre autopistas.

Marco múltiple. Montantes articulados o empotrados según la rigidez deseada y las posibilidades de permitir deformaciones longitudinales del dintel debidas a temperatura y retracción.

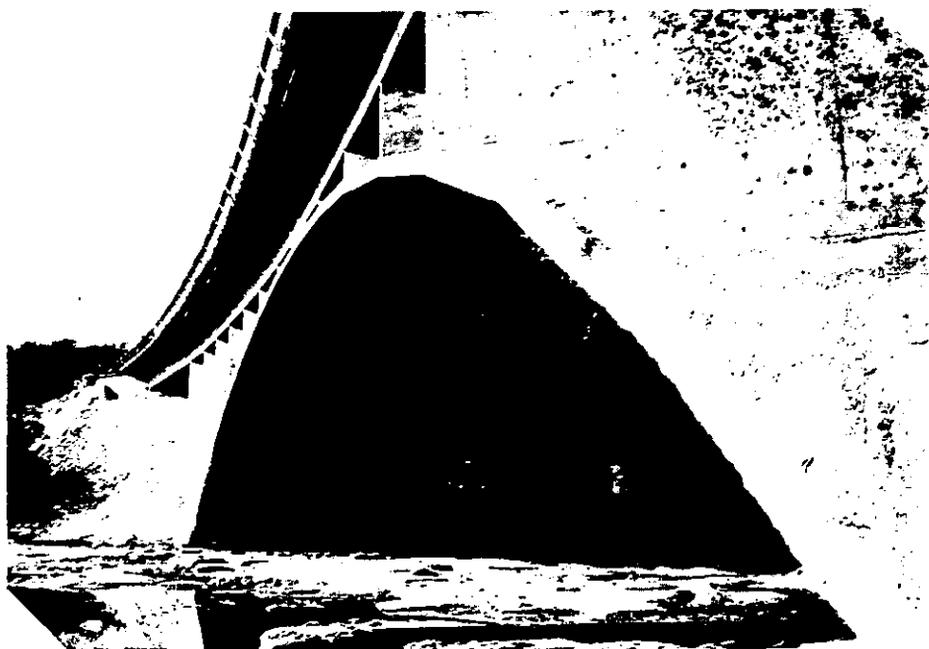
Efecto de marco en pilares de puentes para evitar allí apoyos móviles. Se emplean con frecuencia para puentes sobre valles profundos.



## Puentes en Arco:

El arco como bóveda, siguiendo la forma de la línea de presiones de las cargas por peso propio es, por su elevada resistencia a la compresión, el tipo de construcción más adecuado en materiales para construcciones monolíticas (piedra y concreto), cuando el terreno de cimentación es resistente y puede absorberse el empuje de arco con cimentaciones de costo reducido. Los puentes en arco de albañilería ejecutados con piedras naturales de buena calidad tiene una duración casi ilimitada y, en general, no requieren juntas de dilatación.

Actualmente, por regla general, se construyen los puentes en arco con concreto armado y, frecuentemente, los tableros de la calzada con concreto pretensado.



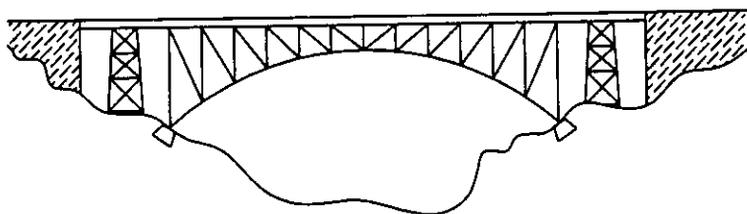
ARCO DE CONCRETO ARMADO



Para claros de hasta 50 m. los puentes en arco son demasiados caros. Más bien se prestan especialmente para los casos de cruces de valles en zonas montañosas de laderas rocosas; y también, en terrenos llanos, en forma de arco atirantado por encima de la calzada.

Arco articulado, isostático,  $l: f = 5$  hasta 12, en lo posible sigue siendo la línea de presiones, espesor variable por la fluctuación de la línea de presiones debida a las variaciones de las sobrecargas.

### P A S O   S U P E R I O R ( 3   A R T I C U L A C I O N E S )



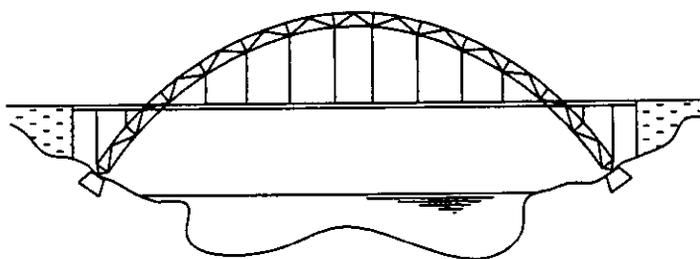
Arco biarticulado, hiperestático de primer grado,  $l: f = 4$  hasta 12, en general en forma de hoz por que los momentos en la clave resultan ser los mayores. Las articulaciones pueden ser elásticas de concreto por estricción en los arranques.

Arco de una articulación (articulación en la clave). No son convenientes para puentes porque encarece innecesariamente la cimentación por los grandes momentos de empotramiento que se producen.



Arco empotrado (hiperestático de tercer orden)  $l : f = 2$  hasta 10. En general son más gruesos en los arranques que en la clave, se deben tener en cuenta los momentos de inercia variables al determinar los esfuerzos característicos.

## DE PASO A TRAVÉS



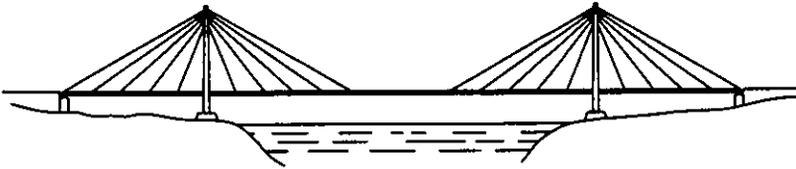
### Puentes atirantados:

El tablero cuelga de los pilones mediante cables oblicuos y/o inclinados. Solo se emplean unos pocos cables inclinados a distancias grandes entre los puntos de suspensión. El puente debe considerarse como un puente en viga con columnas intermedias (puntos de suspensión) y la viga debe tener una altura constructiva y una rigidez de acuerdo con los claros. Sin embargo el desarrollo se orientó, por razones de peso importantes, hacia la solución de muchos cables con puntos de suspensión a distancias correlativamente menores. Siendo así, el puente debe considerarse, más bien, como puente en voladizo, cuyo tablero hace las veces de cordón inferior (cordón comprimido), mientras que los cables inclinados, como



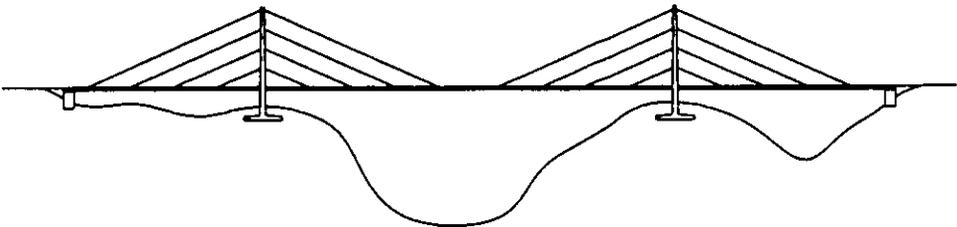
cordones tensados del voladizo transmiten las cargas a los pilones-torre los cuales deben estar anclados más o menos fuertemente hacia atrás de acuerdo con la respectiva relación entre el tramo principal y el tramo lateral.

## COLGANTE EN ABANICO



Entonces, la losa del tablero puede tener, en sentido longitudinal, una altura constructiva muy reducida la cual debe garantizar la seguridad al pandeo del cordón comprimido en el estado de deformación debido a las sobre cargas, debiendo aplicarse a la deformación y a los esfuerzos los respectivos coeficientes parciales de seguridad.

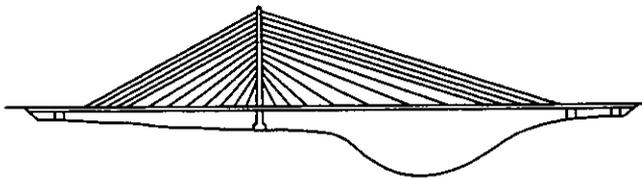
## COLGANTE EN ARPA





Los cables inclinados, en vista lateral, pueden estar dispuestos en forma de abanico o de arpa. La forma en abanico es técnicamente más eficiente y más económica que la forma en arpa, que sin embargo, para pocos cables presenta un mejor aspecto (no hay entrecruzamientos en la vista sesgada). Naturalmente también pueden disponerse los cables en forma mixta.

## DISPOSICIÓN MIXTA Y ASIMÉTRICA



Los puentes atirantados han demostrado ser especialmente adecuados para grandes claros desde el punto de vista técnico y también del económico. Estos puentes pueden construirse por voladizos sucesivos sin cimbras, con claros de hasta aproximadamente 700 m para tráfico carretero, y hasta 500 m para tráfico ferroviario, empleando concreto pretensado y utilizando los cables de alambres paralelos, desarrollados especialmente para estos tipos de puentes.

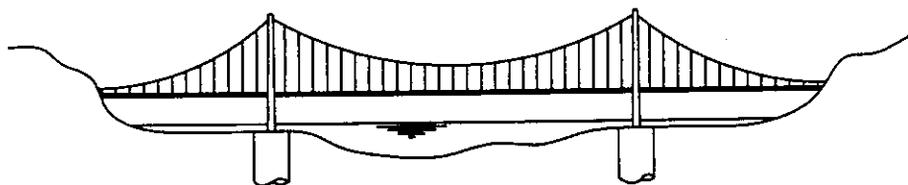
### **Puentes colgantes:**

El puente colgante clásico, con cables de forma parabólica y péndulos verticales, no es apropiado para los puentes monolíticos, por cuyo motivo solo se han



adoptado raramente. El puente colgante anclado en sí mismo mediante cables inclinados (efecto de reticulado), es atractivo para sobrecargas livianas, por ejemplo puentes peatonales.

## COLGANTE



### **Puentes cantilever:**

Este tipo de puentes está formado por dos ménsulas salientes hechas de vigas reticuladas, construidas en los lados opuestos de cada pila.

Primero se construyen las torres. A continuación se habilita la serie de vigas reticuladas, a cada lado de la torre y al mismo tiempo, para que los dos brazos queden nivelados cual si fuera un balancín. Al llegar a la orilla cada uno de los brazos se anclan sólidas pilas. Los brazos que dan al río se van ensanchando hacia el espacio hasta que se encuentran en la mitad del obstáculo a librar. Ya para entonces el peso del puente lo soportan los estribos.

Para que un tramo de cantilever tenga mayor alcance se coloca a veces una pequeña sección adicional de vigas reticuladas entre los dos brazos del puente para unirlos.



## II.6 POR SU ESTRUCTURACIÓN

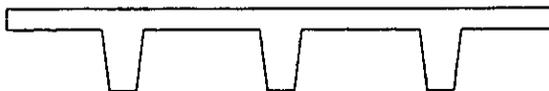
- Losa:      - monolítica simple      Es apropiada para puentes pequeños de un tramo, hasta claros de unos 20 m; para puentes con varios tramos continuos, para claros de hasta aproximadamente 30 m -con cartelas, hasta 36 m- con espesores de losa desde 25 cm hasta aproximadamente 70 cm.



- plana aligerada      Es una losa hueca con encofrados perdidos en forma cilíndrica o de perfil rectangular que se utiliza cuando se requieren espesores mayores de 70 cm para reducir el peso.



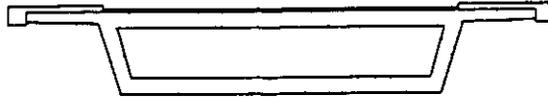
- nervada      Se utilizan cuando existen momentos positivos muy grandes.





- sección cajón

En lugar de tener varios encofrados, solo existe un hueco a lo largo de toda la losa.



- sobre vigas  
transversales

Dispuestas a distancias reducidas (2 a 4 m).  
Se utilizan en puentes atirantados y en arco debido a los esfuerzos longitudinales.

Viga:

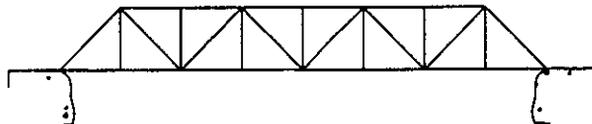
- placa de concreto

Es una forma de sección transversal muy adecuada para el concreto armado y el pretensado especialmente cuando deben absorberse momentos flexores positivos.

- placa invertida

- de cajones

Armadura: - de paso a través



- de paso superior





Arcos: - de acero

Estribos: - en "U"  
- en "T"  
- enterrado  
- con aleros

Pilas: - de marco  
- de muro

Caballete: -sobre cilindros  
- sobre pilotes



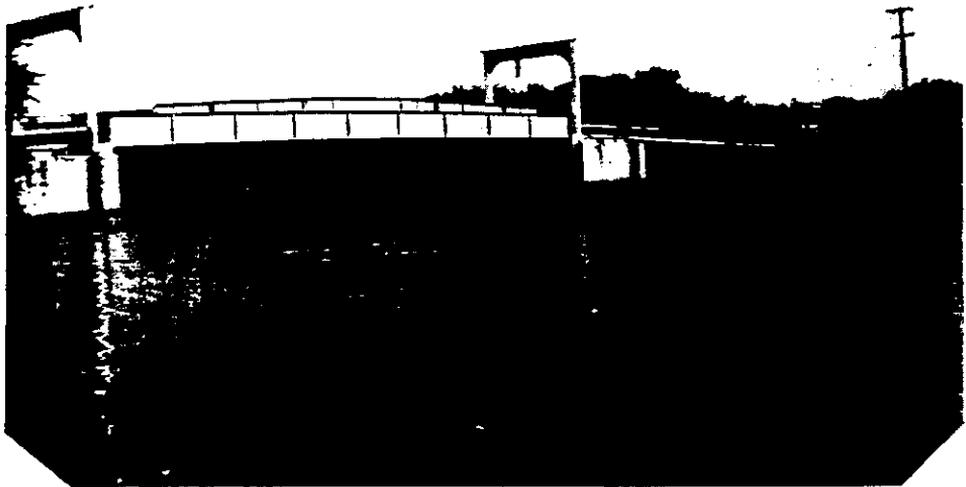
ESTRIBO EN "U"



## II.7 POR SU IMPORTANCIA

Se puede determinar al evaluarlos sobre la base de los siguientes factores:

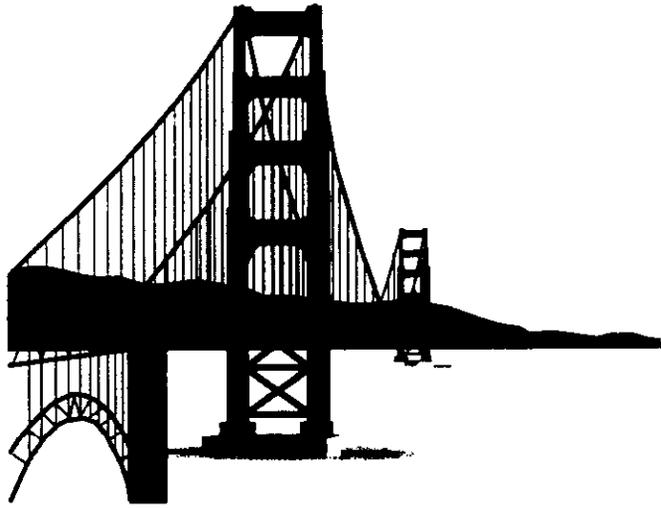
- Costo unitario: El costo en función del material con que se construyó y la facilidad de conseguir mano de obra.
- Dificultad de reposición: Tiene que ver con el costo, los materiales y las situaciones geográfica y topográfica.
- Pérdidas de operación: Es la inversión que se realiza para el buen funcionamiento del puente.
- Impacto social: Cómo afecta en las regiones que comunica.



PUENTE INTERNACIONAL



Para clasificar a un puente por su importancia el siguiente hecho puede dar una idea: antes de que estuviera construido el puente sobre el río Tuxpan, en el estado de Veracruz, el número de vehículos que cruzaba el río en chalanes era de 800 por día, aproximadamente. Al cabo de seis meses de haber sido puesto en servicio el puente (mayo de 1969) cruzaban por él 1200 vehículos diariamente, en números redondos. De ahí que, la carencia del puente limitaba el tránsito a sólo el 67% del que en esa época podía circular por el tramo de la carretera en que se encuentra.



# CAPÍTULO III



## III. MANTENIMIENTO DE PUENTES

### III.1 NECESIDADES DE VIGILANCIA Y CONSERVACIÓN

**A**bierto un puente a la circulación, hay que mantenerlo en condiciones de servicio con el fin de garantizar a los usuarios las condiciones de seguridad y de utilización conveniente. Para ello debe ser cuidadosamente vigilado, conservado y, en su caso, reparado, reforzado, reconstruido o modernizado.



ARMADURA CON REFORZOS



Todas las obras se degradan con el transcurso del tiempo y los puentes no son una excepción; están sometidos a agresiones, no solo por tráfico cada día más excedido en peso intenso, sino también a la contaminación atmosférica, las emisiones de humos, las variaciones de temperatura y a los nocivos efectos del agua.

La vigilancia y la conservación son indispensables por razones de seguridad. Cualquiera que sea la calidad inicial de un puente, los materiales que lo constituyen envejecen y se fatigan. A menor o mayor plazo, sus cimentaciones se ven atacadas, sus mamposterías se dislocan, los concretos se agrietan y los aceros se ven corroídos. Cuando no se llevan a cabo acciones de conservación, la resistencia de algunas secciones disminuye y la obra se ve amenazada de ruina. Si los puentes no son vigilados con propiedad habrá muchos más accidentes y colapsos por falla brusca y hundimiento.

Desde el punto de vista económico, ha resultado mucho más ventajoso conservar regularmente los puentes, manteniéndolos en estado de servicio y tomando medidas preventivas necesarias, que dejar que las degradaciones se desarrollen hasta el punto en que la seguridad se vea comprometida.

Los puentes tienen la reputación de ser estructuras aparentemente eternas por la impresión que dan. Esta proviene de la robustez efectiva de las bóvedas de mampostería (pero este concepto tiene mucho que ver con los cuidados que se les ha prestado a los puentes, y sería un grave error atenuar su vigilancia con el pretexto de que resisten desde hace mucho tiempo).

Los tres síntomas principales de deterioro de una obra de concreto son: las grietas, la disgregación y la desagregación (que se puede definir como una pudrición de toda la superficie, con pérdida de cemento y liberación de agregados). Cada uno de estos síntomas fundamentales es visible y puede ser fácilmente detectado y



diferenciado de los demás. Sin embargo, cada uno tiene, bajo sus diferentes manifestaciones, su significado propio. Además, en una obra dada, no solo pueden aparecer juntos los tres síntomas principales de degradación, sino que también son susceptibles de manifestarse al mismo tiempo sus diferentes formas. Por tanto, diagnosticar la causa de la degradación del concreto es una operación muy delicada que difiere claramente de la misma investigación en una obra de acero o de madera, donde la relación entre los síntomas y la causa es normalmente muy clara.



GRIBLAS POR DESAGREGACIÓN

Este problema se resuelve buscando todas las causas posibles del estado observado y procediendo por eliminación. Este procedimiento en primer lugar necesita la confección de una lista de los agentes, procesos de degradación y la comprensión



de su modo de actuar y afectar a los constituyentes del concreto. La siguiente etapa consiste en diagnosticar la causa probable recurriendo al proceso de eliminación. La etapa última consiste en escoger un método de reparación y ponerlo en práctica.

Entre las causas más frecuentes de degradación del concreto están:

1. Causas de degradación que se producen durante la construcción.
  - a) Asientos localizados en las superficies sobre las que se cuela.
  - b) Desplazamientos de cimbras.
  - c) Vibraciones.
  - d) Segregación del concreto fresco.
  - e) Retracción de fraguado del concreto.
  - f) Decimbrado prematuro.
2. Retracción durante el endurecimiento.
3. Efectos térmicos.
  - a) Variación de la temperatura atmosférica.
  - b) Variación de la temperatura interna.
4. Absorción del agua por el concreto.
5. Corrosión de las armaduras.
  - a) Corrosión debida a ataques químicos.
  - b) Corrosión debida a efectos electrolíticos.
6. Corrosión del concreto.
7. Alteraciones atmosféricas.
8. Ondas de choque.
9. Erosión (abrasión).
10. Mala concepción de los detalles constructivos.
  - a) Ángulos entrantes.
  - b) Variaciones bruscas de sección.



- c) Juntas rígidas entre losas prefabricadas.
  - d) Deformaciones.
  - e) Fugas por las juntas.
  - f) Sistema de desagüe mal proyectado.
  - g) Drenaje insuficiente.
  - h) Juego insuficiente de las juntas de dilatación.
  - i) Tensiones tangenciales no previstas en soportes y contrafuertes.
  - j) Incompatibilidad de materiales o secciones.
  - k) Efectos de fluencia no previstos.
11. Errores de proyecto.

### III.2 VISITAS Y AUSCULTACIONES EN PUENTES

En México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, mediante SIPUMEX, ha ordenado que los puentes existentes en la Red Federal de Carreteras sean visitados e inspeccionados sistemáticamente en revisiones que consisten en un examen visual de la obra, completándolo eventualmente con otros trabajos. Lo importante es saber observar, esforzarse por interpretar y determinar las características de los daños y degradación de un puente contempladas en tres rubros generales:

1. Daños y degradación de la superestructura, incluidos los dispositivos de apoyo y las juntas.
2. Dislocación, asentamientos y erosión en las subestructuras de mampostería además de agrietamientos en las de concreto.



### 3. Insuficiencia hidráulica, erosión, socavación e inestabilidad del cauce.

Estas visitas han dado por resultado un Inventario de Puentes, en el que se contemplan su ubicación, sus características estructurales y geométricas, así como el catálogo de defectos, daños y degradación que sufren. Con la actualización de ese Inventario es posible comparar los resultados con la visita anterior, lo que justifica el establecimiento y clasificación de las observaciones de verificación en el expediente respectivo. Estas son las que definen el estado cero o inicial del puente antes de que se presente una falla.

Otras visitas se llevan a cabo después de cualquier acontecimiento o evento que halla podido afectar a la obra: avenidas extraordinarias, choques de objetos arrastrados por la corriente, sismos, accidentes de tránsito donde se produzcan impactos a los elementos estructurales, paso de una combinación vehicular excepcional en peso y/o dimensiones, etc., en las que las constataciones que se hacen quedan debidamente anotadas y clasificadas.

Inspecciones periódicas más detalladas deben incluir un examen visual más completo y profundo, así como medidas de nivelación de los apoyos y de las flechas del tablero precisando medios de acceso a todas las zonas del puente. Para obras pequeñas basta con encalas o simples andamiajes. Las flechas se miden por simple nivelación topográfica, o bien, por medio de flexímetros o niveles hidráulicos.

Cuando se descubren anomalías y son necesarias investigaciones más profundas, conviene recurrir a especialistas para proceder a una auscultación profunda de la obra o de alguno de sus elementos. Las técnicas empleadas para ello han hecho grandes progresos en los últimos años y actualmente son numerosas y variadas. Por ejemplo:



- Las deformaciones de conjunto se pueden medir mediante flexígrafos láser o por métodos de topometría de alta precisión, y, en algún caso, mediante estereofotografía.
- Las deformaciones locales, que permiten estimar las variaciones de esfuerzos, se miden con ayuda de resistencias extensométricas.
- Varios tipos de extensómetros mecánicos o eléctricos se emplean para medir la abertura de fisuras.
- Las reacciones de apoyo de los puentes se miden con buena precisión levantando el tablero por medio de gatos planos o de un pistón y trazando la curva presión - desplazamiento vertical.
- Para evaluar la calidad de los materiales se pueden realizar extracciones de muestras que se someten a ensayos mecánicos y a análisis químicos, o utilizar métodos de control no destructivo: auscultación mecánica, radiografía, gammagrafía, etc.

Todas estas técnicas resultan delicadas y, para que sus resultados sean confiables, hay que tomar grandes precauciones para la colocación de los dispositivos y el funcionamiento de los mismos. En general deben utilizarse varios de ellos, de modo que se complementen los informes parciales que se suministran. Además, la interpretación de tales medidas necesita el análisis y el cálculo de la estructura y, a veces, la comparación de varias hipótesis relativas a su funcionamiento. Tal estudio se prosigue según diversos procedimientos en función de los casos, siendo siempre la meta a alcanzar el análisis de los fenómenos, la detección de sus orígenes, la



definición de las reparaciones a realizar y las medidas a tomar para hacer frente a las causas del mal y no tan solo a sus síntomas.

Cuando los resultados de la auscultación no conducen a la puesta fuera de servicio de la obra o a reparaciones inmediatas, conllevan a menudo a su puesta "bajo vigilancia" con señales preventivas o cuando menos con un refuerzo de la vigilancia por medio de dispositivos que permiten seguir en intervalos cortos su evolución (variación de las flechas, desarrollo de las fisuras, detección de roturas parciales) a la espera de su puesta en condiciones de servicio normal.

Aunque no quepa asignarle un valor exacto, si es posible actuar de modo que la duración de vida de un puente a construir sea muy amplia, y ello se logra manteniendo la primera inversión dentro de límites razonables.

Las precauciones destinadas a mejorar la vida útil del puente deben tomarse en todas las etapas de su vida: concepción, ejecución y mantenimiento de la obra. La siguiente lista, que se refiere básicamente a los puentes de concreto y que está lejos de ser exhaustiva, indica algunas:

### **En la etapa de la concepción y del proyecto**

*Prever una estructura duradera por sí misma:*

- Elegir formas macizas y simples, mejor que débiles y complicadas
- Evitar al máximo los puntos de posible infiltración del agua tales como las cajas de anclaje de los cables levantados en pretensado, las juntas y las uniones.
- Preferir técnicas seguras y probadas a las de punta que exigen gran precisión de cálculo y ejecución.
- Asegurarse de que el proyecto ha tenido en cuenta tanto esfuerzos principales como los secundarios.



- Examinar con cuidado las disposiciones constructivas y los detalles del proyecto.
- Prestar particular atención al cálculo y la concepción de las cimentaciones.
- No dudar en reforzar ciertos elementos más allá de lo que sería estrictamente necesario para la seguridad.

*Prever en el proyecto la protección de la estructura:*

- Las características y detalles de las capas de impermeabilización de los dispositivos de evacuación de aguas han de quedar precisamente señaladas.
- Las partes que resulten inaccesibles deben protegerse muy especialmente contra la corrosión.
- Existen medios de protección superficial de los alambres metálicos consistentes en grasas, revestimientos plásticos o galvanizados que se pueden aplicar.

*Prever en el proyecto posibilidades de inspección y conservación:*

- No olvidar en los estudios de ejecución las puertas, trampillas de acceso, agujeros de hombre y escalerillas necesarias para la vista interior de la obra.
- Los muretes de guarda deben coronarse con voladizos que permitan visitar los extremos de las vigas.
- Los aparatos de apoyo deben ser, en la medida de lo posible, visitables.

*Prever en el proyecto posibilidades de volver a poner en condiciones de servicio y refuerzo para el puente:*

- En los puentes atirantados resultará más fácil cambiar sucesivamente los cables si estos son numerosos y separados que sustituir un cable grueso cuando ello se haga necesario.
- En los puentes de concreto pretensado es bueno reservar la posibilidad de añadir algunas armaduras, bien dejando a la espera algún conducto vacío en el concreto, o bien, construyendo dentro del cajón bloques de anclaje para futuras armaduras exteriores al concreto.



### **En la etapa de la ejecución.**

Se refiere a la calidad de los materiales que debe verificarse no sólo al comienzo, sino también tras su transporte y almacenamiento. La fabricación del concreto debe presentar la resistencia deseada, buena compactación y carencia de elementos químicos peligrosos. Por último, la colocación en obra debe respetar las indicaciones geométricas de los planos y debe ser llevada a cabo de modo que se obtengan las características físicas y mecánicas previstas.

### **En la etapa de la vigilancia y la conservación.**

La primera precaución a tomar es instalar en el puente puntos de referencia y anotar en el momento de las pruebas el "estado cero" para poder seguir su evolución. Resulta necesario y obligatorio proceder a visitarlo e inspeccionarlo periódicamente, manteniendo al día el expediente de la obra según los estatutos que marque el reglamento. Los trabajos corrientes de conservación deben desarrollarse tan pronto como parezcan necesarios.

Cualquiera que sea la calidad de la obra en su inicio, los cuidados y el mantenimiento que reciba son esenciales para prolongar su vida.

## **III.3 CAUSAS DE DETERIOROS**

### **CAUSAS DE DEGRADACION QUE SE PRODUCEN DURANTE LA CONSTRUCCIÓN**

La utilización de métodos y procedimientos inadecuados pueden afectar durante cualquier fase de la obra la calidad del concreto y, aunque esto puede ser puerta abierta para los agentes agresivos, raramente es causa directa de deterioros salvo en los casos siguientes:



- a) *Asientos localizados de la superficie sobre la que se cuela.* En las superficies sobre las que se cuela, de bolsas de aire o huecos, la presencia de zonas de desigual resistencia puede producir un asiento localizado del concreto fresco bajo el efecto de su propio peso. Si este asiento se produce después del acabado de la superficie del concreto, se producirán fisuras. Conviene evitar este fenómeno vigilando de cerca la compactación y drenaje de la superficie de trabajo. Hay que impedir a los obreros que anden sobre el papel de revestimiento y suprimir las bolas de aire. Las fisuras de este tipo se rellenarán al acabar la superficie del concreto, salvo si este acabado se hace inmediatamente después del vertido. Por tanto, en la medida de lo posible, hay que retardar esta operación mientras el concreto sea trabajable en superficie. Las fisuras cegadas ya no aparecen.
- b) *Desplazamientos de las cimbras.* Todo movimiento de la cimbra que se produzca en el momento en que el concreto comienza a perder su fluidez y en el momento en que acaba de fraguar, provoca la aparición de fisuras. Estas fisuras pueden ser internas y por consiguiente invisibles. En estas condiciones constituye un peligro potencial, pues se forma una bolsa de agua en la masa del concreto que al helarse hace estallar la superficie. La corrosión de las armaduras por estas bolsas de agua es igualmente peligrosa. Para impedir la aparición de tales fisuras hay que revestir la superficie de la madera utilizada para la cimbra con objeto de impedir la absorción de humedad, o sea, el hinchamiento de la madera. Es también necesario que la cimbra este bien proyectado, en particular en lo que concierne a detalle de unión y a deformaciones. La velocidad de colado se debe señalar en los planos de la cimbra o en un anexo. Estos planos no deben ser omitidos. Los clavos deben trabajar a cortante para evitar todo juego. Hay que comprobar periódicamente los montajes y la ejecución durante el vertido.
- c) *Vibraciones.* Las fisuras debidas a las vibraciones producidas durante el fraguado del concreto son frecuentes. Estas se deben a la circulación de



vehículos, a la hincada de pilotes, a voladuras, a una compactación por vibración tardía, a una vibración accidental causada por choques de las herramientas o por obreros negligentes. Para evitar estos inconvenientes no hay que dejar que los obreros utilicen las cimbras como banco de trabajo durante el fraguado. Hay que impedir que los camiones choquen contra la cimbra. En un terreno pulverulento de poca o mediana capacidad, la máquina de hincada debe encontrarse por lo menos a 15 m del lugar donde se vierte el concreto. Sobre un terreno arcilloso o limoso no hay que hincar pilotes en las proximidades en tanto que el concreto no haya fraguado completamente. Asimismo, no hay que desplazar material pesado por los alrededores. Conviene desviar toda la circulación rodada intensa próxima a la obra.

- d) *Segregación del concreto fresco.* Antes del fraguado se produce una sedimentación de las partículas más pesadas. Como el concreto endurece primero en la superficie, si un obstáculo rompe la homogeneidad de esta sedimentación, se producirán fisuras. Una armadura fija puede ser un obstáculo.

Cuando las armaduras forman una malla densa, pueden producirse -en lugar de fisuras en superficie- un plano de separación bajo esta malla. Este plano provoca desperfectos al helarse el agua cautiva y por la corrosión de las armaduras.

Medidas de protección: Las fisuras superficiales pueden colmatarse: basta con retrasar el acabado de las superficies. Se recomienda igualmente comenzar el curado del concreto lo antes posible tras su puesta en obra; este tratamiento retrasa el fraguado y reduce la diferencia entre la segregación en superficie y la que tiene lugar en el interior de la masa. Es una de las razones por las que importa abrigar el concreto, protegerlo del sol y comenzar el curado rápidamente en los días de calor y viento, o en climas áridos. Conviene aplicar una mezcla densa y plástica. La compactación por vibración es una necesidad.



Sin embargo no se puede impedir ni corregir la formación de planos de separación de la masa retardando el acabado de la superficie ni realizando un curado rápido. Por tanto, cuando el volumen de concreto es importante y la malla de la armadura es densa, el ingeniero debe prever la probable formación de este plano de menor resistencia en la obra. Debe tener en cuenta su existencia, hacer vibrar el concreto o disminuir los esfuerzos de adherencia.

- e) *Retracción de fraguado del concreto.* Las variaciones de volumen al comenzar el proceso de fraguado del concreto, tienden a provocar la formación en superficie de pequeñas fisuras. Estas fisuras presentan un aspecto característico de escamas de cocodrilo.
- f) *Decimbrado prematuro.* La velocidad y economía actualmente buscadas en la construcción provoca que se retiren a menudo los apuntalamientos o el cimbrado antes de que el concreto haya adquirido suficiente resistencia.

Entonces aparecen frecuentemente fisuras en el concreto. Estas pueden ser graves y para evitarlas basta dejar en su sitio los apuntalamientos y las cimbras hasta que sea lo bastante resistente.

#### **Retracción durante el endurecimiento.**

Las reacciones químicas que se producen durante el endurecimiento del concreto se prolongan durante mucho tiempo (probablemente varios años) y llevan consigo una disminución de volumen denominada "retracción de endurecimiento" o simplemente "retracción". Si la obra no puede deformarse libremente, se crean esfuerzos que pueden fisurar el concreto.

Medidas preventivas. Pueden limitarse los efectos de la retracción empleando mezclas más pobres, de cemento tipo I o II (alta resistencia inicial) y agregados de densidad normal en lugar de áridos ligeros. Con una dosificación dada y un tipo de marcas dadas de cemento, no se puede hacer gran cosa para limitar los efectos de



la retracción, más bien es necesario suprimir los efectos utilizando numerosas juntas de construcción y dilatación, previendo una armadura adecuada con objeto de repartir y reducir la dimensión de las posibles fisuras y enfriando los áridos y el agua de la mezcla. Esta última técnica permite disminuir la temperatura media del concreto por debajo de la temperatura ambiente al ponerlo en obra, lo que lleva consigo un calentamiento interno que compensa la disminución de temperatura que representa tradicionalmente el fenómeno de retracción.

### **Efectos térmicos**

a) Variaciones de temperatura atmosférica. Las variaciones de temperatura en el concreto endurecido implican cambios de volumen, y de forma. Si tales cambios son coartados por la estructura de la obra se producen esfuerzos que pueden producir tracciones en el concreto con fisuraciones en casos como los siguientes.

Consideremos una losa de concreto que reposa sobre el suelo, construida al final del verano o principio del otoño. Durante el invierno la temperatura atmosférica media y la temperatura del concreto pueden bajar  $40^{\circ}\text{C}$  o más. Para una longitud de losa de 30 cm, la contracción sería superior a 1 cm. Esta deformación es coartada por el rozamiento de la losa y el terreno. Si este rozamiento es suficiente para impedir que se produzca el movimiento de contracción -lo que ocurre generalmente- la sección transversal estará sometida a una tensión de fracción del orden de  $90\text{kg}/\text{cm}^2$  que supera ampliamente su resistencia.

Otro caso puede ser con materiales homogéneos como dos concretos de distinta edad en contacto. Los coeficientes de dilatación térmica de los materiales probablemente no serán los mismos, e incluso, un cambio de temperatura uniforme en este medio homogéneo provocará un alabeo de la pieza; de aquí puede resultar un estado de esfuerzos desfavorables para la misma.



Medidas de protección.- El problema es muy parecido al que plantea la retracción; la solución consiste en prever juntas destinadas a reducir esfuerzos que se produzcan en la estructura y armaduras para repartir esfuerzos.

Para una calzada se prevén generalmente juntas de dilatación a intervalos de unos 10m y una cuantía de armadura de un 0.20 a 0.25%. Ocurre con frecuencia en puentes y edificios en donde no pueden realizarse muchas juntas; la solución consiste en prever todas las juntas de dilatación que se pueda, colocarlas en lugares críticos y aumentar las cuantías de armaduras.

Es muy importante determinar las cuantías de armadura necesarias para absorber los efectos térmicos. El cálculo de esfuerzos es prácticamente imposible. En general, hay que aplicar los mínimos de 0.20 a 0.25% recomendados por las normas de ACI.

b) Variaciones de temperatura.- Las variaciones de volumen del concreto pueden deberse también a variaciones de temperatura interna. Por ejemplo, el aumento de temperatura del concreto durante el fraguado en presas, losas de cimiento y cimientos masivos que resulta de las reacciones exotérmicas que se producen, es un fenómeno conocido. Menos conocida, pero también importante, es la influencia del empleo de agregados cuyo coeficiente de dilatación térmica difiere netamente del coeficiente medio del concreto que es de  $12 \times 10^{-8}$  cm por grado centígrado.

En el primer caso el concreto está sometido a una variación de volumen debida al desprendimiento de calor. En el segundo no hay tal desprendimiento, pero las variaciones de volumen que resultan de los cambios de temperatura externa o interna no son uniformes. En ambos casos si los cambios de forma o de volumen no pueden producirse libremente aparecen fisuras.



Medidas preventivas: son las mismas que se toman para disminuir los efectos de la retracción, conviene también tener en cuenta la posible presencia de agregados cuyos coeficientes de dilatación térmica sean diferentes de los del concreto. Como esto no es fácil de saberlo, es mejor usar cementos y agregados de origen conocido.

Cuando no es el caso, se aconseja proceder a cuidadosos ensayos de los materiales en laboratorio para determinar sus propiedades térmicas, al mismo tiempo que se efectúan los ensayos habituales de calidad.

### **Absorción de agua en el concreto**

En mayor o menor grado todo concreto es poroso. De hecho, frecuentemente se comprueba que entre las diferentes partes de una misma obra, construidas con los mismos materiales, por el mismo contratista y según las mismas normas, algunas están gravemente dañadas mientras que otras están sanas. Esto se debe generalmente a las diferentes cantidades de agua absorbida por el concreto según sus condiciones de utilización y según su porosidad que es función de la calidad de ejecución.

Cuando la cantidad de agua en el concreto aumenta, éste se hincha y por lo tanto aumenta de volumen. Se han comprobado dilataciones comprendidas desde el 0.01% para concretos de baja calidad, dependiendo este valor de la edad, porosidad, tipo de agregados y cantidad de agua inicial.

Si el aumento de volumen está coartado, se producen fisuras y disgregaciones superficiales.

Medidas preventivas: en general, no es posible impedir el aumento de volumen del concreto debido al incremento de su contenido de agua. El remedio es tener en



cuenta la dilatación del concreto en obras sometidas a ciclos de humedad y sequedad.

### Corrosión de las armaduras

a) Corrosión debido a los agentes químicos. Salvo en los pocos casos de obras de concreto en masa, la construcción de obras de concreto contiene armaduras de acero. Estas armaduras se colocan expresa y casi invariablemente a algunos centímetros, normalmente apenas a más de dos, de la superficie. Si la armadura está en contacto con el aire o el agua, se corroe. El volumen del óxido producido por la corrosión es unas ocho veces el del metal de mano de que procede, lo que provoca fisuras y disgregaciones del recubrimiento de concreto.



EFECTOS DE LA CORROSIÓN



Medidas preventivas: para impedir la corrosión de las armaduras es preciso que el acero no esté en contacto con agua que contenga oxígeno disuelto o con agua en presencia de oxígeno. El mejor método para lograrlo es envolver las barras en una masa de concreto compacto de espesor suficiente.

Conviene evitar los detalles que favorezcan la acumulación de agua, no utilizar secciones en "U" desprovistas de agujeros de drenaje grandes o numerosos. Las construcciones de rieles y vías férreas deben ser provistas de drenajes eficaces.

Las superficies horizontales deben tener una pendiente de al menos 1% o mejor aún del 2%. Es necesario no omitir ninguna pendiente en las partes superiores de las guarniciones. Estas pendientes deben preverse de manera que el agua vierta hacia el exterior de la obra. Además se debe cuidar que los desagües no estén obstruidos y que el agua captada en la superficie de rodamiento se vierta lejos de la obra.

b) Corrosión debida a efectos de electrolitos.- En contacto con el agua, sobre todo en presencia de sales, el concreto es conductor; las corrientes eléctricas erráticas pueden engendrar un efecto electrolítico sobre el acero y provocar una fuerte corrosión. Los orígenes de estas corrientes son frecuentemente accidentales, como las tomas a tierra o las fugas; pueden también provocarse en casos la protección catódica.

Cuando se toman medidas de protección, hay que recordar que los sulfatos, cloruros y carbonatos favorecen la corrosión.

Lo mismo sucede con el agua de mar que se aconseja no utilizar en la elaboración del concreto, ya que es difícil asegurar que las sales sean completamente absorbidas por las reacciones de hidratación. Los cloruros de calcio y magnesio



utilizados para acelerar el fraguado del concreto o como anticongelantes favorecen la corrosión si se encuentran en proporción excesiva.

Además, si las armaduras son de diferentes metales, la corrosión ataca los puntos de unión de estribos y barras, y en particular a los tirantes con barras. Por consiguiente, en una sección dada, todas las armaduras deben tener la misma composición y, si es posible, provenir de la misma fábrica. Las precauciones a tomar expuestas anteriormente son también válidas.

### **Corrosión del concreto**

El concreto también se corroe y, según las experiencias<sup>(3)</sup>, las causas pueden ser las siguientes:

- a) Materiales defectuosos.- La utilización de materiales defectuosos o sucios provocan variaciones de volumen del concreto, fisuras y todo tipo de desperfectos imprevisibles. Por esta razón la discusión que sigue supone que se utilizan materiales conforme a las Normas para el cemento y para los agregados: que el agua este limpia y poco cargada de sales; que los aditivos, si los hay, son de tipo y marcas de uso corriente y suficientemente ensayados; y que los materiales no se han ensuciado antes o durante el vaciado del concreto.
- c) Algunos agentes destructores importantes.- Los cementos comerciales son alcalinos y son atacados por los ácidos, los compuestos orgánicos hidrolizables en ácidos y algunos alcoholes.
- d) El agua ácida del terreno.- Se debe a la presencia de vegetales en descomposición y a veces constituye una fuente de dificultades a este respecto. Los pisos de lecherías plantean un problema a causa del ácido láctico de la leche

---

<sup>(3)</sup> El comportamiento y las reacciones químicas del concreto durante y después del endurecimiento atraen la atención de físicos y químicos desde hace un siglo, por lo que no están completamente explicados. Debido a esto, este tema no se tocará a fondo, solo se citarán algunos de los agentes destructores más corrientes, las reacciones más frecuentes y algunos procedimientos para impedir o frenar las reacciones químicas destructoras.



vertida que se agria. Los pisos de cervecerías, de fabricas de pasta, de papel y de productos alimenticios son otros tantos que tienen problemas.

Las sales que contienen iones, amonio y magnesio atacan al concreto reaccionando con el calcio. En particular, la sustitución de calcio por magnesio se produce al contacto con el agua de mar. Es uno de los mecanismos por los que el agua de mar ataca al concreto.

Las soluciones de sulfato reaccionan con el aluminato tricálcico hidratado, constituyente normal del concreto para dar sulfato-aluminato hidratado. Esta reacción va acompañada de un fuerte aumento de volumen y provoca la fisuración y estallido de la masa de concreto.

Aunque este ataque por los sulfatos se produce sobre todo en los concretos situados en el mar, puede también producirse con residuos de combustión, con aguas residuales de minas e industrias y, más generalmente, donde las soluciones de sulfato entran en contacto con un concreto endurecido de cemento portland.

Las fuertes temperaturas (por encima de 300°C) originan la descomposición de algunos hidratos del cemento reduciendo así su resistencia. La acción bacteriológica se cita con frecuencia entre las causas de degradación del concreto.

El gas carbónico reacciona con el concreto fresco por lo que debe evitarse el contacto.

La degradación del concreto puede deberse también a reacciones químicas entre cementos fuertemente básicos y los componentes minerales de algunos agregados. Esta reacción provoca "cráteres" en la superficie del concreto, una malla de fisuras y una dilatación general de la masa.



En general, los síntomas del ataque químico son la desagregación, la disgregación superficial y el aumento de espesor de fisuras y juntas. Se produce también una desintegración general de la masa del concreto y un aumento de volumen de la obra. Los áridos se separan y el cemento pierde sus propiedades de conglomerante. Cuando la reacción produce incremento de volumen de la masa de concreto se observa la formación de mallas de fisuras que aumentan de espesor y profundidad hasta que los elementos son destruidos por disgregación.

Cuando la dilatación se produce libremente las fisuras se forman aleatoriamente, y cuando está coartada a lo largo de uno o varios ejes (pilas de puentes o contrafuerte donde la carga impide los desplazamientos verticales), las fisuras se manifiestan en forma de aberturas paralelas, dilatándose el concreto perpendicularmente a la dirección de las tensiones.

Medidas preventivas: Se debe utilizar un concreto compacto de buena calidad conforme a las normas fijadas por las especificaciones.

Un concreto así, impide la penetración de soluciones químicas nocivas y resiste mejor y más tiempo a los ataques químicos que un concreto mediocre. Incluso el buen concreto puede ser atacado en buena medida por los agentes citados y es necesario tomar las precauciones siguientes en las fases de proyecto, realización y reparación de una obra.

1. El concreto utilizado en medio selenitoso (sulfatado) debe estar confeccionado con cemento resistente a los sulfatos. En particular, el concreto utilizado para obras marítimas debe hacerse con un cemento portland cuyo contenido en aluminato tricálcico no supere el 8%.

Los cementos de tipo II, IV y V cumplen con esta condición; no así los cementos de los tipos I y III. El concreto utilizado en medios con gran



concentración de sulfatos (más del 0.2% expresado en  $\text{SO}_4$ , o más de 1.000 por millón) debería confeccionarse con cementos de contenido aún menor de aluminato tricálcico, por ejemplo un 5%; esta condición la cumplen los cementos que observan las normas tipo V.

2. En medio ácido, el empleo de caliza como árido reduce en cierta medida la agresividad del medio neutralizando una parte del ácido que ataca al cemento. Sin embargo, una medida de protección más eficaz consiste en aplicar al concreto un revestimiento. En el mercado se encuentran revestimientos a base de hule. Los revestimientos asfálticos tienen una eficiencia satisfactoria para proteger de aguas selenitosas o débilmente ácidas. También es posible impregnar el concreto con una solución de asfalto. Esto se utiliza para proteger la obra del ataque de los sulfatos disueltos en agua de mar.
3. En un concreto situado en medio nocivo las fisuras deben ser rellenadas con productos asfálticos para impedir la penetración de soluciones químicas.
4. Para impedir la reacción de las bases alcalinas con los áridos, hay que exigir el empleo de un cemento que contenga menos de 0.60% de compuestos alcalinos (medido tomando el porcentaje de  $\text{Na}_2\text{O}$ , más el porcentaje de  $\text{K}_2\text{O}$  multiplicado por 0,658); Se ha demostrado que en un concreto hecho con áridos corrientes y un cemento tal no se producen reacciones como estas. Evidentemente, si se emplean áridos alcalinos, hay que reducir más la proporción de compuestos alcalinos en el cemento. Sin embargo, esta condición no debe tomarse al pie de la letra. La mayoría de los cementos portland contienen más o menos millones de alcalinos procedentes de las arcillas o margas con que se fabrican, y una limitación arbitraria puede incrementar, de forma sustancial, el costo del cemento. En la práctica, el mejor medio de asegurarse que los áridos no sean sensibles a los alcalinos consiste en escoger aquellos cuyas propiedades han sido controladas, por ejemplo, utilizando los ensayos descritos por las normas correspondientes.



La utilización de aireantes contribuye también a reducir la expansión provocada por la reacción.

### **Alteración atmosférica.**

Como se indicó anteriormente, todos los concretos son significativamente porosos y por tanto, son capaces de absorber agua. Si el agua absorbida se expone a temperaturas inferiores a 0°C, se hiela y aumenta el volumen; la presión resultante provoca que el concreto se disgrege. La repetición de este proceso lleva consigo la desintegración de la superficie del concreto.

Medidas preventivas: Siendo el problema esencial la dilatación del agua absorbida por la masa del concreto al helarse, la mejor precaución es disminuir la porosidad utilizando un concreto compacto y de buena calidad. En particular, la proporción agua/cemento no debe sobre pasar 23 litros con una relación a/c = 0.5.

La utilización de aireantes es indispensable. La eficiencia de estos aditivos para incrementar la resistencia a los agentes atmosféricos esta bien probada.

Es recomendable el empleo de encofrado con revestimiento absorbente para incrementar la capacidad de la superficie de concreto cuando la obra se utiliza en condiciones particularmente severas, variables o sometidas al oleaje. Puede también recomendarse la protección superficial de resina.

La naturaleza del aireado parece tener influencia sobre la resistencia del concreto a la alteración. Los áridos angulosos (a veces triturados) parecen comportarse mejor que los rodados. Esto acaece porque las partículas redondeadas tienen una menor superficie específica, y por tanto, una menor adherencia. Además, las partículas redondeadas son extraídas de su posición en el seno del concreto con mayor facilidad. Los materiales que componen el árido deben ser impermeables, estables y de origen conocido.



### **Ondas de choque.**

Siendo el concreto un material heterogéneo, es susceptible a disgregarse cuando está sometido a ondas de choque. Esto se debe a las diferentes velocidades de propagación de las ondas en los diferentes materiales: áridos, conglomerados y armaduras. Los pilotes prefabricados de concreto son muy sensibles a los efectos de este fenómeno y por eso se hace necesaria una hincia potente para su colocación.

**Medidas preventivas.** La experiencia adquirida en las zonas sísmicas ha demostrado que la utilización de secciones muy armadas garantiza una excelente resistencia de las obras de concreto a las ondas de choque. La resistencia a los choques también pueden mejorarse por la utilización de áridos angulosos y rugosos (machacados) en la confección de concreto en vez de áridos rodados. En el caso de pilotes hincados lo mejor es ayudar con chorro de agua a efecto de golpearlos con menor fuerza.

### **Erosión.**

La protección esencial consiste en utilizar un concreto de buena calidad, compacto y liso en superficie.

**Losas de pavimento.** La carga por eje de vehículos en la actualidad es normalmente fuerte, lo que produce erosión considerable en la superficie de rodamiento de las losas de puentes. Asimismo, la basura y detritus que no se retira inmediatamente hacen el papel de abrasivos para el pavimento.

**Medidas preventivas.** Es útil la aplicación de un producto que refuerce la superficie como un revestimiento antiabrasión, si estos son económicamente aceptables. Puede pensarse en el empleo de un endurecedor líquido (fluorsilicato de magnesio o zinc). Estos tipos de tratamiento disminuyen la formación del polvo de concreto y contribuyen en la resistencia a los ataques químicos.



### **Mala concepción de los detalles constructivos.**

Se ha descrito la degradación debida a deficiencias en los componentes del concreto, a una construcción inapropiada o mal concebida y a la agresividad del medio en sus diversas formas. Sin embargo, si se examina un gran número de obras en lugares diversos, se descubre que las degradaciones se producen con mayor frecuencia debido a los detalles, por lo que conviene tomarlos muy en cuenta durante la realización del proyecto.

## **III.4 DIAGNÓSTICO DE LAS CAUSAS.**

Diagnosticar las causas del deterioro de una obra de concreto consiste esencialmente en proceder por eliminación hasta llegar a una conclusión. Para ello se puede ir examinando elemento por elemento.

### **LAS CIMENTACIONES**

La historia de los puentes muestra hasta la saciedad la importancia de las cimentaciones y los riesgos que conllevan sus fallas. La mayoría de los puentes de mampostería han perecido precisamente por su cimentación. Es un riesgo que subsiste para todo tipo de puentes, y raro es el año que no se producen accidentes por fallas de cimentaciones sobre todo durante los periodos de avenidas.

Tales riesgos son mayores cuando el estado de las cimentaciones no se puede apreciar más que indirectamente. Los únicos índices visibles son las deformaciones y grietas de los apoyos sostenidos. Por ello es necesario vigilar con gran cuidado la geometría y el aspecto de tales apoyos. Además, es preciso interpretar correctamente las constataciones, distinguiendo entre los desplazamientos debidos a los asentamientos previsibles y aceptables del suelo, y



aquellos que pueden indicar una falla del mismo o bien desórdenes en la propia cimentación.

Los problemas relativos a los asentamientos son particularmente difíciles en terrenos inestables y en aquellos que presentan discontinuidades en su estratigrafía. Hay que prever desde la concepción de la obra dispositivos o disposiciones especiales que permitan posibles intervenciones ulteriores.

Las cimentaciones en cause de río son las más vulnerables, sobre todo a causa de los riesgos de socavación, y también, por efecto de las degradaciones causadas por la corriente.

Se debe recordar que, cuando las cimentaciones no están protegidas contra la socavación, el único medio de salvación consiste en proteger la base de las pilas y estribos mediante un talud de escollera, el cual es absolutamente indispensable vigilar con regularidad pues no constituyen una protección absoluta o duradera. Las escolleras se hunden o se ven arrastradas por la corriente y es preciso recargar los taludes en intervalos de tiempo no excesivamente largos, sobre todo después de las crecidas.

Cuando los desórdenes provienen de una insuficiencia del suelo o afectan elementos estructurados situados en el interior del terreno (mala ejecución de los cilindros, grietas o deformaciones excesivas de los pilotes, deslavado de los concretos, etc.), las reparaciones son siempre difíciles. Los métodos que se pueden plantear (refuerzos de cimentación, inyecciones, etc.), deben estudiarse y elegirse cuidadosamente en cada caso particular. Generalmente son muy costosos y, en muchos casos, su éxito no está asegurado.



Esta es una razón suplementaria para conferir gran importancia a la concepción y ejecución de las cimentaciones.

### APOYOS Y DISPOSITIVOS

Cuando han sido ejecutados correctamente y sus cimentaciones no están deterioradas, las pilas y los estribos apenas plantean problemas de mantenimiento. Basta con comprobar que sus parámetros permanecen en buen estado, limpiándolos en su caso de abrasión o de erosión superficial. Hay que vigilar ante todo las pilas ligeras y caballetes que pueden sufrir choques de vehículos o barcos, y estar deteriorados sin que se haya declarado el accidente.

Los dispositivos de apoyo, cualquiera que sea su tipo, deben ser visitados regularmente, incluso si son inaccesibles. Las mecedoras de concreto armado pueden fisurarse, los apoyos metálicos pueden oxidarse, las placas de elastómeros pueden desplazarse, los aparatos deslizantes se pueden bloquear, etc. El mal estado de los apoyos puede provocar graves desórdenes en el tablero y en los diafragmas, por ello es indispensable comprobar su funcionamiento y remediar los defectos comprobados. La mejor prevención se hace desde el proyecto al facilitar su visita y permitir su sustitución.

También hay que controlar que el agua se drene convenientemente de las zonas contiguas a los apoyos, sobre todo cuando están en una cabeza de pila.

### LOS PUENTES DE MAMPOSTERÍA

Abandonar la vigilancia y mantenimiento de los puentes de mampostería bajo pretexto que son más robustos y duraderos que los modernos, sería un error. En primer lugar, hay que preocuparse por sus cimentaciones que son más vulnerables que las de los puentes modernos. Ocurre que puentes que han resistido varios



## ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

MANTENIMIENTO

siglos se ven deteriorados precisamente porque su protección ha sido olvidada o ha quedado mal asegurada.

El exterior de los puentes de mampostería es relativamente fácil de mantener en buen estado, salvo cuando las piedras se ven afectadas por enfermedades debidas a bacterias, lo que afortunadamente es bastante raro. Además, hay que limpiar de vez en cuando los paramentos, procediendo a resanes entre las juntas de las piedras, y sobre todo, eliminando regularmente la vegetación que suele crecer entre ellas.



VEGETACIÓN

La precaución más importante consiste en controlar el funcionamiento de los dispositivos de evacuación de aguas, desazolvarlos y, si es preciso, volverlos a poner en buenas condiciones. Cuando el agua infiltrada en el puente atraviesa los



tímpanos o la bóveda, las juntas se degradan, las piedras sometidas a la humedad se deterioran y pueden estallar bajo el efecto de heladas, este es el origen de numerosas fisuras y grietas.

Grietas e incluso fracturas pueden provenir también de desplazamientos relativos entre el frontil de la bóveda y el rostro de la misma, o entre aquel y los tímpanos, bajo efecto de asentimientos de apoyo o variaciones de temperatura o incluso, del paso de cargas pesadas.

En muchos casos las fisuras constatadas en puentes de mampostería son inevitables y normales, no ofreciendo ningún peligro. De modo que basta con simples operaciones de rejuntado. Sin embargo, es prudente vigilar su evolución y, si se agravan, plantear reparaciones más importantes.

Cuando aparecen piedras y dovelas en muy mal estado conviene sustituirlas, lo que puede hacerse sin gran dificultad ni riesgo.

En el caso de fracturas graves, con amenaza de despegue de paños enteros de mampostería, es preciso recurrir a refuerzos por medio de inyecciones, anclajes, tirantes o elementos de consolidación metálicos o de concreto armado.

Generalmente, los puentes de mampostería deben ser más cuidados ya que son una parte importante de los puentes en servicio, permiten el paso de las cargas más pesadas y, además, porque constituyen una preciosa e irremplazable herencia del pasado.

## LOS TABLEROS

Cualquiera que sea su material constitutivo las visitas de inspección deben referirse a:



- Las deformaciones del tablero. Básicamente las flechas permanentes y sus variaciones respecto a las constataciones precedentes se deben medir en el curso de las inspecciones periódicas.
- Los dispositivos de evacuación del agua. Su funcionamiento es fundamental para la duración del puente, no olvidando la vigilancia de los drenes que deben disponerse en todo punto bajo, y ello no sólo a lo largo de la calzada, sino también en el interior de las aceras, dentro de los cajones y los aligeramientos, etc. El mantenimiento de estos dispositivos debe ser permanente, sin que la aparición de estalactitas y de corrosiones tengan que recordar su necesidad.

### LOS TABLEROS METALICOS

Los antiguos puentes de fundición deben ser objeto de una particular vigilancia a causa de los graves riesgos de falla debidos a la fragilidad de este material bajo el efecto de la circulación, de los choques o simplemente de las variaciones de temperatura. La reparación de las fallas es delicada y muy aleatoria y, cuando los deterioros se desarrollan el único remedio es la sustitución de la obra.

En todos los puentes metálicos las uniones deben ser examinadas con detalle. En cada caso, el estado de los remaches o de los cordones de soldadura o en el apretado de los tornillos de alta resistencia deben controlarse, al igual que los eventuales inicios de fisuración en las cartelas.

El estado de los sistemas de protección (pinturas, metalización/pintura), debe ser comprobado en el curso de cada visita anual y de las inspecciones más detalladas y profundas. Tal examen debe extenderse a todas aquellas zonas difícilmente accesibles que, a menudo, son las más expuestas a la corrosión. Es importante restaurar el sistema de pintura en cuanto aparezcan alteraciones con el fin de evitar su agravación. Cuando las reparaciones parciales ya nos son suficiente, es indispensable proceder a una limpieza del metal y a la extensión de un sistema de



pintura totalmente nuevo. En cualquier caso, tal operación debe realizarse con intervalos del orden de unos diez años, más o menos, según la calidad del sistema de protección y la agresividad del ambiente.

Si esto no se ha hecho a tiempo, el metal se ve atacado por la corrosión y la seguridad impone entonces reparaciones y refuerzos de la estructura que hubiera sido posible y preferible, desde todos los puntos de vista, evitar. Para limitar la corrosión es preciso impedir que el agua penetre en el tablero. Un medio suplementario muy sencillo consiste en suprimir la vegetación que retiene la humedad en los bordes del puente.

Los puentes antiguos, que soportan cargas a menudo muy superiores para los que fueron calculados, deben ser vigilados con especial atención para impedir que la corrosión los debilite. Conviene examinar no solo los elementos de su estructura principal, sino también el estado de los elementos secundarios, del tablero y aceras, operando por medio de sondeos, practicando aberturas para alcanzar las piezas no visibles; tales elementos amenazan con oxidarse y hundirse si no se reparan a tiempo.

Los puentes colgantes y atirantados plantean problemas especiales de vigilancia y conservación que, establecen a su vez, la necesidad de procedimientos específicos de conservación para cada puente. La protección exterior de los cables se asegura por medio de sistemas especiales que deben ser vigilados y mantenidos regularmente. Sin embargo, ningún sistema de protección es capaz de impedir la penetración del agua, su circulación y permanencia en el interior de los cables y de las suspensiones, por consiguiente, están expuestas a la corrosión generalizada o puntual e incluso a la corrosión bajo tensión. A través del tiempo se han desarrollado métodos que permitan verificar los cables y detectar anomalías pero, a pesar del esfuerzo que se hace, hasta la fecha todavía no es posible conocer con



certidumbre el estado interno de los cables. Por lo tanto, es indispensable vigilar constantemente el mantenimiento y conservación de estos puentes, ya que, el hecho de que exteriormente parezcan en perfecto estado no es una garantía absoluta respecto a su integridad.

#### TABLEROS DE CONCRETO ARMADO.

La vigilancia de los tableros de concreto armado se refiere esencialmente a su estado de fisuración y por supuesto a cualquier otro tipo de degradación, segregaciones, armaduras aparentes, astillados, desconchados, etc. que puedan afectar la estructura.

La fisuración es un fenómeno normal que se basa en el principio básico del concreto armado. No hay motivo de inquietud en la medida en que permanezcan limitadas y no amenacen con traducirse en problemas graves. Conviene desde el principio detectar fisuras (limpiando los paramentos) y medir su abertura (que no supere de 0.1 a 0.2 mm) por medio de un fisurómetro, clasificándolas posteriormente, según su comportamiento, en fisuras "muertas" que no evolucionan y en fisuras "vivas" de abertura variable bajo las cargas, que pueden provenir de un subdimensionamiento de la obra. Conviene apreciar también los riesgos de corrosión que ellas conllevan para las armaduras. Finalmente, conviene seguir la evolución de las fisuras en el tiempo, para esto es necesario anotar regularmente su trazado, abertura y si es posible su profundidad. No es fácil fotografiar un conjunto de fisuras, salvo en el caso de un paramento seco después de la lluvia, donde la humedad traza las líneas de la red. La colocación de testigos y la puesta al día del expediente de inspección permite apreciar su gravedad.

La calidad del concreto se puede evaluar con bastante certidumbre por medio de diversos aparatos, tales como el esclerómetro, y con mejor precisión recurriendo a la auscultación dinámica.



Según los casos, cuando una reparación parezca necesaria, se pueden utilizar diversos métodos; desde el simple recubrimiento de la superficie mediante hidrófugo, hasta la inyección de productos diversos, pasando por el recipiente del concreto deteriorado hasta las armaduras y su sustitución por un mortero o de un microconcreto cuya adherencia al antiguo hay que asegurar.

El éxito de estas reparaciones viene facilitados por las posibilidades que ofrecen numerosos productos modernos: polímeros termoendurecibles (resinas epóxicas, poliuretanos, poliésteres) o termoplásticos (resinas scrilamidas), etc. Sin embargo, hay que saber elegir correctamente el producto a utilizar en función del tipo de reparación. Hay que precisar sus características y conocer sus condiciones exactas de empleo.

#### TABLEROS DE CONCRETO PRETENSADO.

La vigilancia de los tableros de concreto pretensado es obligatoria y tanta más necesaria cuando están sometidos a peligros específicos. El más grave es la corrosión bajo tensión, susceptible de provocar fallas frágiles de los alambres de alta resistencia, tensados a cargas próximas a su límite elástico convencional. Por tanto es imperativo impedir que el agua penetre hasta las armaduras; ello exige mayor atención al funcionamiento de los dispositivos de protección y evacuación de las aguas pluviales.

Como en los demás tipos de puentes, deben medirse con regularidad las deformaciones del tablero, aunque la interpretación de los resultados sea aquí más difícil. En efecto, los tableros de concreto pretensado sufren obligatoriamente deformaciones diferidas debidas a la fluencia y relajación; la distinción entre las deformaciones normales que de ello resultan y las que pueden traducir una anomalía de la estructura no es demasiado evidente.



Teóricamente no se deberían observar fisuraciones en los puentes de concreto pretensado calculados con "pretensado total", mientras que el concreto siempre debería estar comprimido.

En realidad, a causa de la simplificación de los esquemas de cálculo, siempre hay en estos puentes zonas y direcciones en las que el concreto está traccionando y se descubren en ellas fisuras. Entonces, la gran dificultad consiste en distinguir entre las fisuras normales e inofensivas y aquellas que no debieron producirse. Cuando estas fisuras amenazan con alcanzar una armadura de pretensado existe el riesgo de su falla por corrosión, puesto que permiten la penetración del agua, o bien, a largo plazo, por fatiga, a causa de las variaciones de tensiones que resultan en el acero bajo por efecto de las cargas.

Las reparaciones de los tableros de concreto pretensado deben ser estudiadas en cada caso según su naturaleza y la causa de los problemas, que siempre resultan difíciles y aleatorias. Los principales métodos utilizados son la inyección de las fisuras, lo que rara vez es suficiente, la inyección de las vainas y el refuerzo del pretensado mediante cables suplementarios situados en el exterior del concreto (normalmente en el interior de una viga cajón, las mayores dificultades en este caso provienen del anclaje de estos cables). El método de refuerzo consistente en placas metálicas pegadas con resina que han sido objeto de algunos ensayos, no parece todavía suficientemente eficaz para ser generalizado. En cualquier caso las reparaciones y refuerzos precisan la intervención de servicios especializados.

## EQUIPAMIENTOS

El mantenimiento en buen estado de servicio de los equipamientos no debe ser despreciado, siendo recomendable, por el contrario, vigilarlos con frecuencia. Ya se ha insistido en la importancia de la impermeabilidad y de la evacuación del



agua. Los drenes corren el riesgo de colmatarse o verse obstruidos por tierra u hojas muertas. En general, resulta fácil desatascarlos, pero si dejan de funcionar conviene emprender sin retraso los trabajos precisos para volverlos a poner en condiciones de trabajo.

Igualmente si surgen filtraciones o estalactitas que denuncian que el agua atraviesa la losa del tablero, no hay que dudar en reparar parcial o totalmente la capa de impermeabilización, sin esperar a que aparezcan problemas mayores en la estructura y, con mayor razón, si se trata de una ruta sobre la que se extienden en invierno sales antihielo. En cuanto a la superficie de rodamiento, que no tiene importancia para la durabilidad del puente, son los propios usuarios los que se encargan de señalar sus defectos cuando estos no se reparan rápidamente. Esta capa precisa un mantenimiento constante, ya que se ve expuesta a degradaciones a causa de los esfuerzos, y deformaciones que le son impuestos y de la heterogeneidad de los elementos que componen el puente.

Las juntas de calzada deben verificarse con suficiente frecuencia para asegurarse de que no provoquen choques y que sus anclajes están bloqueados por tierra o piedras. Su abertura debe medirse periódicamente y, en particular, durante los grandes fríos y los fuertes calores con objetos de controlar no solo su propio funcionamiento sino también la libre dilatación del tablero, es decir, el buen funcionamiento de los aparatos de apoyo a los que hay que prestar una atención especial.

Los choques que reciban los parapetos exigen reparación inmediata. Estos y las barreras de seguridad deben pintarse ya que están expuestos a la corrosión. Los empotramientos en el tablero que condicionan su resistencia, deben verificarse de vez en cuando. Debe vigilarse el estado de la pintura de las luminarias y en



particular de la base de los postes de iluminación de los parapetos metálicos y de cualquier otro elemento.

### MODIFICACIÓN DE PUENTES

La conservación consiste en mantener la obra en estado de servicio para dar seguridad a sus usuarios. Las reparaciones intentan volver a poner el puente en estado de servicio como se encontraba, o en el que hubiera debido encontrarse en su origen.

Pueden resultar necesarias ciertas modificaciones respecto a la situación inicial de la obra. Se trata básicamente de refuerzos o ensanches impuestos por la evolución del tráfico o por otros cambios tales como acondicionamientos de los accesos al puente, instalación de canalizaciones suplementarias en el tablero, aumento de calado de una vía navegable, construcción de una presa que pueden exigir la modificación de las cimentaciones, etc.

Gran número de puentes antiguos se mantienen en servicio, a pesar de haber sido calculados para cargas netamente inferiores a las de ahora, gracias a que los esfuerzos admisibles en su época eran más bajos que los actuales. Al disponer de un margen de seguridad grande han podido hacer frente a la agravación de las cargas, sin embargo, para conservar una seguridad suficiente es preciso imponer limitaciones a las cargas admisibles sobre ellos.

Esto se aplica sobre todo a los viejos puentes metálicos o de concreto armado. Los puentes de mampostería, si están bien contruidos y mantenidos, son capaces de resistir a las cargas más pesadas a condición de tener buenas cimentaciones.

Naturalmente, la evaluación de las cargas admisibles no debe basarse tan solo en el cálculo de la estructura original, más bien, se debe por el contrario tener en cuenta



el estado real de la obra con sus posibles efectos de corrosión y degradaciones, lo que exige una visita detallada y, eventualmente, la auscultación del puente.

Cuando la importancia del itinerario no permite prescribir limitación de carga sobre el puente es preciso sustituirlo o intentar su refuerzo. En caso de que la sustitución se revele necesaria, suele proponerse a menudo la reconstrucción de la superestructura conservando los apoyos que exteriormente parecen tener buen estado. Resulta indispensable, en tal caso, asegurarse de la situación real de las cimentaciones, sin conformarse con recalcularlas según los planos. Es normal descubrir que se hayan bastante más degradadas y son menos resistentes que la superestructura desahuciada, siendo preciso rehacer totalmente el puente.

El posible refuerzo debe estudiarse en cada caso particular. Los métodos a plantear son muy diversos en función del material constitutivo, la estructura, las disposiciones y las características de los elementos a reforzar (vigas longitudinales, diafragma, losa superior, etc.). Si bien su principio parece simple, las modalidades de integración al tablero antiguo y las de su realización plantean problemas difíciles. Los gastos que conllevan y con un resultado siempre aleatorio, son tales, que a menudo resulta preferible reconstruir el puente.

Generalmente los puentes metálicos se prestan mejor al refuerzo que los de concreto armado. Cuando es suficiente un refuerzo parcial del tablero hay que asegurarse de que éste no agrava la situación de los elementos conservados. Por ejemplo, los pisos de acero que subsisten en algunos puentes antiguos deben sustituirse por pisos de las mismas características más que por losas de concreto para no aumentar la carga permanente y, si es posible, aliviar a la estructura.

Los refuerzos se llevan a cabo para permitir el paso de convoyes excepcionales que cada día son más numerosos.

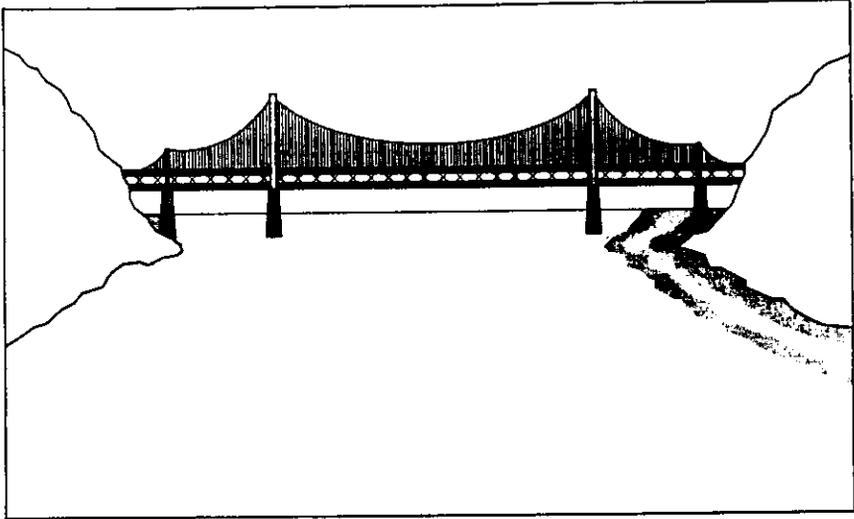


Los ensanches suponen la verificación de la resistencia del puente, ya que conducen a un aumento de la carga a considerar. Tal verificación debe referirse tanto a la superestructura como a las cimentaciones, teniendo siempre en cuenta el estado real de la obra y esto puede conducir a su reforzamiento.

Cuando se trate de un ensanche importante, la solución puede ser construir una nueva superestructura adosada a la antigua. Así se han ensanchado diversos puentes de mampostería.

En otros casos, el puente debe quedar separado e independiente del antiguo. Si el puente a ensanchar es relativamente moderno, esto no ofrece demasiadas dificultades. Pero si se trata de un puente viejo hay que resolver un delicado problema de arquitectura: ¿es preferible construir con grandes gastos en falso estilo antiguo, o conviene más aceptar la proximidad y coexistencia de dos estilos discordantes?. En tal caso, la mejor solución consiste en separar suficientemente las dos obras, incluso a costa de una prolongación del recorrido, independizando ambos sentidos de circulación.

Aunque son innumerables los casos que se pueden presentar, los precedentes explicados dan una idea del proceso a seguir en circunstancias no consideradas en este capítulo. No obstante, estos son métodos técnicos, y si le añadimos la experiencia del ingeniero en la materia, puede resultar más rápida y acertada la solución.



# CAPÍTULO IV



## IV. INVENTARIO DE PUENTES

### IV.1 PRELIMINARES

**E**n los más de 40,000 km. de la Red Federal de Carreteras existen 6,281 puentes con una longitud del orden de 219 Km, que representan una inversión superior a los 8,000 millones de pesos. De acuerdo con los numerosos estudios realizados en todo el mundo, un nivel mínimo recomendable de inversión para la conservación de estructuras viales es el 2% de la inversión inicial.

Esto nos conduce a definir un presupuesto anual de 160 millones de pesos como el mínimo necesario para la conservación de esas obras. En una evaluación reciente de los puentes de la Red Federal se estimó que aproximadamente en 3,000 de ellos, el 48% del total, se requerían acciones importantes de rehabilitación. Obviamente, los costos por reparación anuales para estas acciones, al incluir tareas de restauración y rebosamiento, son mucho mayores que la cifra señalada, que se refiere únicamente a acciones preventivas y no correctivas.

A pesar de que la construcción y administración institucional de puentes carreteros en México empieza en 1925 con la fundación de la Comisión Nacional de Caminos, fue en 1982 cuando se iniciaron acciones administrativas que consideran el problema global de la conservación de puentes. Antes de esa fecha sólo se emprendían acciones dispersas diferidas a casos puntuales que en su mayoría eran puentes colapsados por socavación durante los temporales y que sólo raras veces constituían verdaderas acciones preventivas de conservación, como la renovación de la pintura de estructuras metálicas.



En 1982 se levantó un inventario de los puentes de la Red Federal que incluye una evaluación de sus condiciones. Este documento constituye un esfuerzo importante de la Dirección General de Construcción y Conservación de Obras Públicas para el control de las estructuras viales a su cargo. Posteriormente, se establecieron Residencias de Conservación de Puentes en la mayor parte de los estados y se llevaron a cabo numerosas obras de reparación y modernización de puentes. Similares esfuerzos han sido realizados en la última década por los organismos Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, por el Departamento del Distrito Federal y por la empresa Ferrocarriles Nacionales de México, para atender los puentes a su cargo. Estas tareas fueron en buena parte impulsadas por la ocurrencia de algunos colapsos de puentes causados tanto por sobrecargas excesivas como por el mal estado físico de las obras.

Por lo expuesto, resulta evidente que la conservación de los puentes presenta ahora un avance considerable respecto a la situación que se tenía hace diez años. Sin embargo, para consolidar los esfuerzos realizados y orientar adecuadamente las tareas futuras, se estima conveniente que cada una de estas dependencias implante un sistema de administración para la conservación de los puentes a su cargo.

Por otra parte, es importante señalar que existen numerosos puentes que se encuentran desprotegidos debido a que las entidades que los administran no han realizado acciones sustantivas para su conservación y rehabilitación quizás por la carencia de recursos. Se trata de los puentes de las redes estatales de caminos alimentadores y de los puentes de los caminos rurales. Aunque estos puentes soportan en general volúmenes de tránsito mucho menores que los de la red troncal, muchos de ellos tienen una gran antigüedad y un deterioro severo como consecuencia de una escasa o nula conservación, por lo que constituyen un grave peligro para la seguridad pública. A estas obras desprotegidas deben sumarse muchos puentes dispersos por todo el país construidos por municipios de escasos recursos o por particulares, que



constituyen un peligro peor, ya que en muchos casos, a un deficiente estado de conservación suman una condición original defectuosa por haber sido diseñados y construidos con graves carencias de tecnología.



PUENTE SIN TECNOLOGÍA

Para todas estas obras es urgente implantar programas de conservación similares a los emprendidos por las entidades mayores ya mencionadas, y protegerlos con sistemas de administración de la conservación que podrían tener por alcance el territorio de cada una de las Entidades Federativas. Aunque es evidente que las pequeñas obras municipales y rurales, por su aislamiento y lejanía, quedan mejor vigiladas y conservadas por las autoridades locales, se estima conveniente que el sistema de administración quede a cargo de los Gobiernos de los Estados para que proporcionen el necesario apoyo técnico y económico.



## IV.2 SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES

El Banco Mundial sacó una publicación que sirve como guía para la implantación de sistemas de administración de puentes en países en desarrollo. Un sistema de este tipo se define como *“un conjunto de elementos administrativos y técnicos, regidos por normas y procedimientos implantados por una institución para proyectar, realizar y supervisar todas las tareas de atención a los puentes después de la puesta en servicio de éstos”*.

Los objetivos generales del sistema son los siguientes:

- Garantizar la seguridad de los usuarios.
- Proteger la inversión patrimonial.
- Predecir con suficiente anticipación el monto de los recursos necesarios para la conservación y rehabilitación de las obras.
- Garantizar la continuidad y la calidad del servicio.
- Optimar la aplicación de los recursos disponibles.
- Generar una base de datos con el inventario y la información de las inspecciones de puentes.

Aunque existen diversos Sistemas de Administración implementados por instituciones como CAPUFE, Ferrocarriles Nacionales de México, los dos sistemas que se pueden calificar como importantes son:

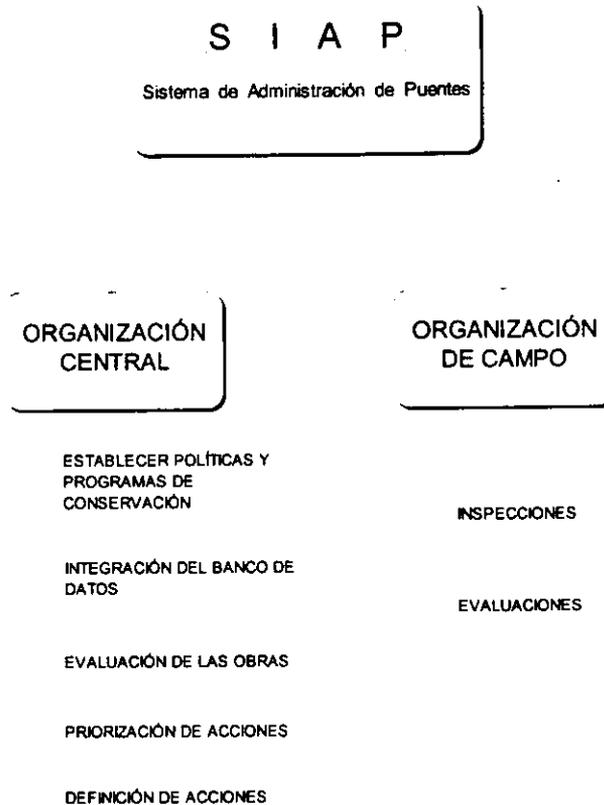
SIAP (Sistema de Administración de Puentes).

SIPUMEX (Sistema de Puentes de México).



## IV.2.1 SIAP

La organización institucional de SIAP se puede manejar de la siguiente manera:



**Organización institucional propuesta  
por el SIAP**



Algunas necesidades en cuanto a normas y procedimientos a establecer son las siguientes.

## 1. Organización Central

Dentro del sistema propuesto se requiere que la toma de decisiones sobre las acciones de conservación de los puentes se realice en una organización central que deberá supervisar la ejecución de los trabajos. Estas tareas no pueden estar a cargo de la organización de campo porque deben realizarse considerando la operación global de la red y no únicamente las circunstancias particulares de cada caso. Para los puentes de la Red Federal de carreteras esta organización será en primera instancia el Centro SCT en cada Estado y, en segunda, las dependencias centrales.



S.C.T. TOMA LAS DECISIONES



Las actividades centralizadas dentro del sistema propuesto son las siguientes:

- a) Establecer políticas y programas de conservación
- b) Integración del banco de datos
- c) Evaluación de las obras
- d) Definición de acciones
- e) Priorización de acciones

## **2. Organización de campo**

Dentro del sistema se requieren organismos que realicen directamente las tareas de campo. En el caso de la Red Federal de Carreteras los organismos responsables a este respecto deben ser las Residencias de Conservación de puentes auxiliadas en lo conducente por las Unidades Generales de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones. Las tareas a realizar por estas dependencias dentro de este sistema son las siguientes:

- a) Inventario
- b) Inspecciones
- c) Evaluaciones

### **a) INVENTARIO**

Existe un inventario que requiere ser revisado periódicamente para la eliminación de inexactitudes, la actualización de datos y la simplificación de la información captada para facilitar su manejo.

El inventario debe incluir exclusivamente datos de carácter casi permanente, útiles para tomar decisiones básicas y no para decisiones de ingeniería. Deben separarse



de la forma del inventario las cuestiones referentes a la detección y evaluación de daños. Entre esos datos se incluyen los siguientes:

- a) Nombre
- b) Ubicación
- c) Dimensiones:
  - 1. Longitud total
  - 2. Longitud de cada claro
  - 3. Altura sobre terreno
  - 4. Ancho
  - 5. Ancho de accesos
- d) Tipo de:
  - 1. Superestructura
  - 2. Dispositivos de apoyo
  - 3. Subestructura
  - 4. Cimentación (de ser posible)
- e) Fecha aproximada de construcción
- f) Institución que construyó

Es recomendable que todos los puentes de la red sean identificados con un solo nombre, colocado físicamente en el sitio con señales informativas en ambos extremos de la obra. Esto es necesario pues el sistema de cómputo genera un número de inventario formado por la abreviatura del estado, el número de puente y las iniciales de la entidad responsable del puente.

## b) INSPECCIONES

Para la detección y evaluación de daños se requiere inspeccionar los puentes. Se recomiendan tres tipos de inspecciones:



### *Inspección preliminar*

Es una inspección fundamentalmente visual por lo que no se requiere personal especializado en puentes, pero sí adiestrado específicamente para la identificación y evaluación de daños. Se realiza anualmente y el objetivo es detectar y evaluar daños por lo que se recomienda realizarla después de la época de lluvias, cuando la disminución de los niveles de agua facilita el acceso bajo las obras y cuando están frescos los indicios de socavación.

Debido a la escasez de información y de lo somero de la inspección, de forma práctica, se definen tres grupos:

- A. Requiere atención inmediata.
- B. Requiere atención a mediano plazo.
- C. Requiere mantenimiento rutinario.

### *Inspección principal*

A realizarse por lo menos una vez al año en aquellos puentes que hallan sido clasificados en el grupo "A" durante la inspección preliminar. Esta segunda inspección la realizará personal especializado en puentes y tendrá el objetivo de ratificar o rectificar la calificación preliminar. Para ello deberá contarse con equipos que permitan el acceso a todas las partes del puente y que permitan la medición cuantitativa de las respuestas de la estructura con precisión suficiente.

### *Inspección especial*

Se realizará por personal altamente especializado en aquellos puentes que vayan a ser rehabilitados y tendrá por objeto el recabar los datos necesarios para la realización del proyecto ejecutivo. Entre las actividades a realizar se incluyen el levantamiento geométrico de la estructura, la determinación de la naturaleza y extensión de los daños y la realización de diversos estudios que permitan determinar la causa y el mecanismo de propagación de



los daños. Para esto es necesario utilizar equipos desarrollados por la tecnología mundial especiales.

Dada la extensión y complejidad de estos trabajos y el alto grado de responsabilidad profesional que implican, es recomendable que se realicen con el apoyo de empresas especializadas de consultoría, contratadas para ese efecto.

*Banco de datos:* Con las cédulas de inventario y con los informes de las inspecciones se integrará un expediente para cada puente. A esa información se añadirá toda la información técnica sobre el puente que pueda recabarse.

Entre los documentos de interés pueden señalarse los siguientes:

- a) Estudios previos: topográficos, hidráulicos, geotécnicos, de ingeniería de tránsito, etc.
- b) Memorias de cálculo y planos estructurales.
- c) Datos de construcción: contratos, modificaciones al proyecto, control de calidad, etc.
- d) Reportes de accidentes.
- e) Datos sobre reparaciones o refuerzos.

Los expedientes deben agruparse por tramo, carretera y por red, para conformar un archivo ordenado que permita la recuperación rápida de la información.

### c) EVALUACIONES

La evaluación del puente debe incluir dos aspectos; por un lado, evaluar sus características resistentes actuales y previsibles en un futuro próximo, <sup>(4)</sup> y por otro,

---

<sup>(4)</sup> Existen en la literatura técnica mundial algunas guías para la determinación de estas capacidades para los casos más comunes y que incluyen recomendaciones para subsanar la falta o la imprecisión de los datos. Estas guías requerirán ajustes para adaptarse a las circunstancias de los puentes nacionales.



que señale cuáles son sus características funcionales destacando el tipo de trazo en que está inscrito el puente, su ancho de calzada, su gálibo y su sección hidráulica entre otros.

Estas propiedades de resistencia y de funcionalidad deben compararse con las características mínimas aceptables o deseables que debe tener un puente para que cumpla su cometido dentro de la red vial.

Para obtener la capacidad resistente de un puente existen dos procedimientos. El primero consiste en la elaboración de un análisis estructural utilizando un modelo lo más apegado a la geometría del puente. Un problema que se presenta en este procedimiento es la determinación de los parámetros de rigidez y resistencia para el nivel de deterioro que tenga el puente. El segundo procedimiento consiste en obtener las características dinámicas reales (modos de vibración, amortiguamiento y frecuencias) a partir de la medición de vibraciones. Estas técnicas se están utilizando cada vez más ya que constituyen un procedimiento más confiable de evaluación estructural y, además, los procedimientos y equipos necesarios son cada vez más sencillos.

En lo que se refiere a la evaluación de los aspectos funcionales, esta se hará comparando los datos actuales de ancho de calzada y gálibos con los definidos como mínimos deseables o aceptables en los niveles de servicio.



## EVALUACIONES

### CARACTERÍSTICAS RESISTENTES

CAPACIDAD DE CARGA

SOCAVACIÓN

### CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES

TRAZO

ANCHO DE CALZADA

GÁLIBOS

SECCIÓN HIDRÁULICA

### **CAPACIDAD RESISTENTE**

ANÁLISIS ESTRUCTURAL MODELANDO LA GEOMETRÍA DEL PUENTE Y SUPONIENDO VALORES A LAS CONSTANTES DEL MATERIAL ACORDE CON EL NIVEL DE DETERIORO DEL PUENTE.

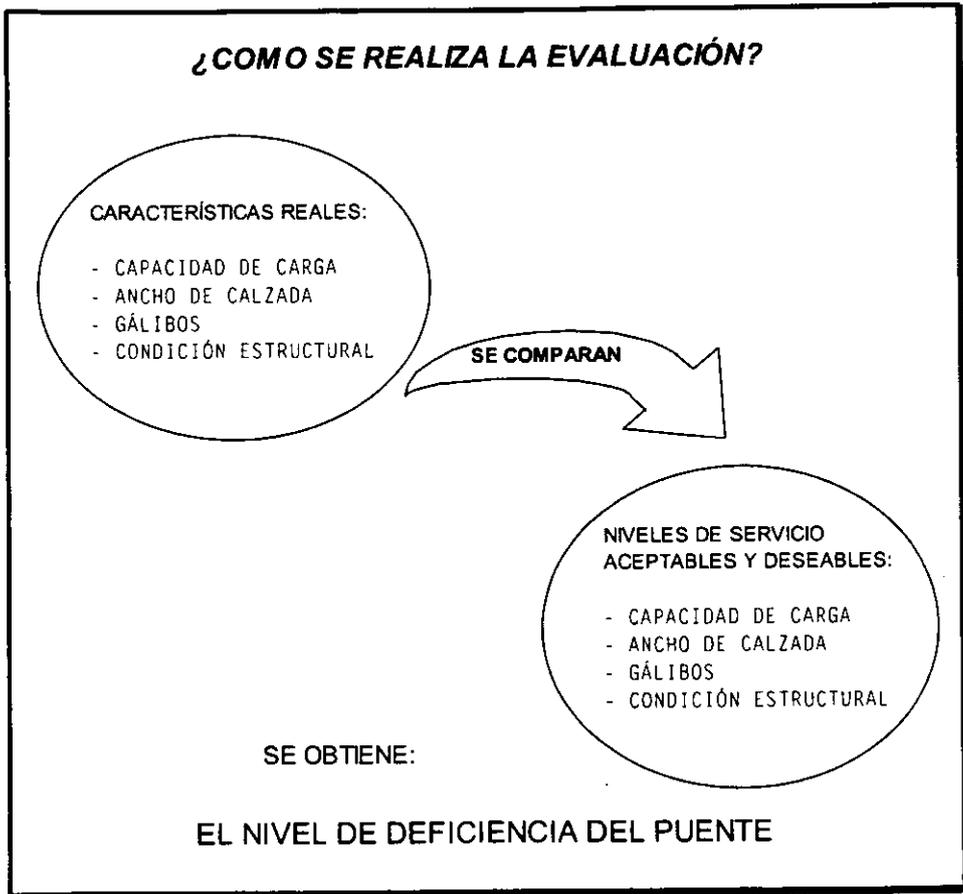
MEDICIÓN DE VIBRACIONES CON EL OBJETO DE OBTENER PARÁMETROS REALES, TALES COMO PERÍODOS DE VIBRAR Y CON ESTOS CALIBRAR LOS MODELOS TEÓRICOS.

MÉTODOS SIMPLISTAS TALES COMO LA "FÓRMULA PUENTE" QUE DAN VALORES DEL PBV QUE PUEDE CIRCULAR POR EL PUENTE.

**Sistema de evaluación de los puentes  
propuesta en el SIAP**



El SIAP considera en los aspectos de resistencia: la capacidad de carga y socavación; y en los aspectos funcionales: el trazo, el ancho de calzada, los gálibos y la sección hidráulica.



**Esquema general de la evaluación de  
los puentes en el SIAP**



## Sistema de Cómputo

El SIAP es un sistema de cómputo desarrollado en ambiente de computadora personal, el cual progresó modularmente, lo cual permite incorporarle mejoras futuras como por ejemplo un módulo para el manejo en un ambiente de Sistemas de Información Geográfico (SIG). Los objetivos del sistema son:

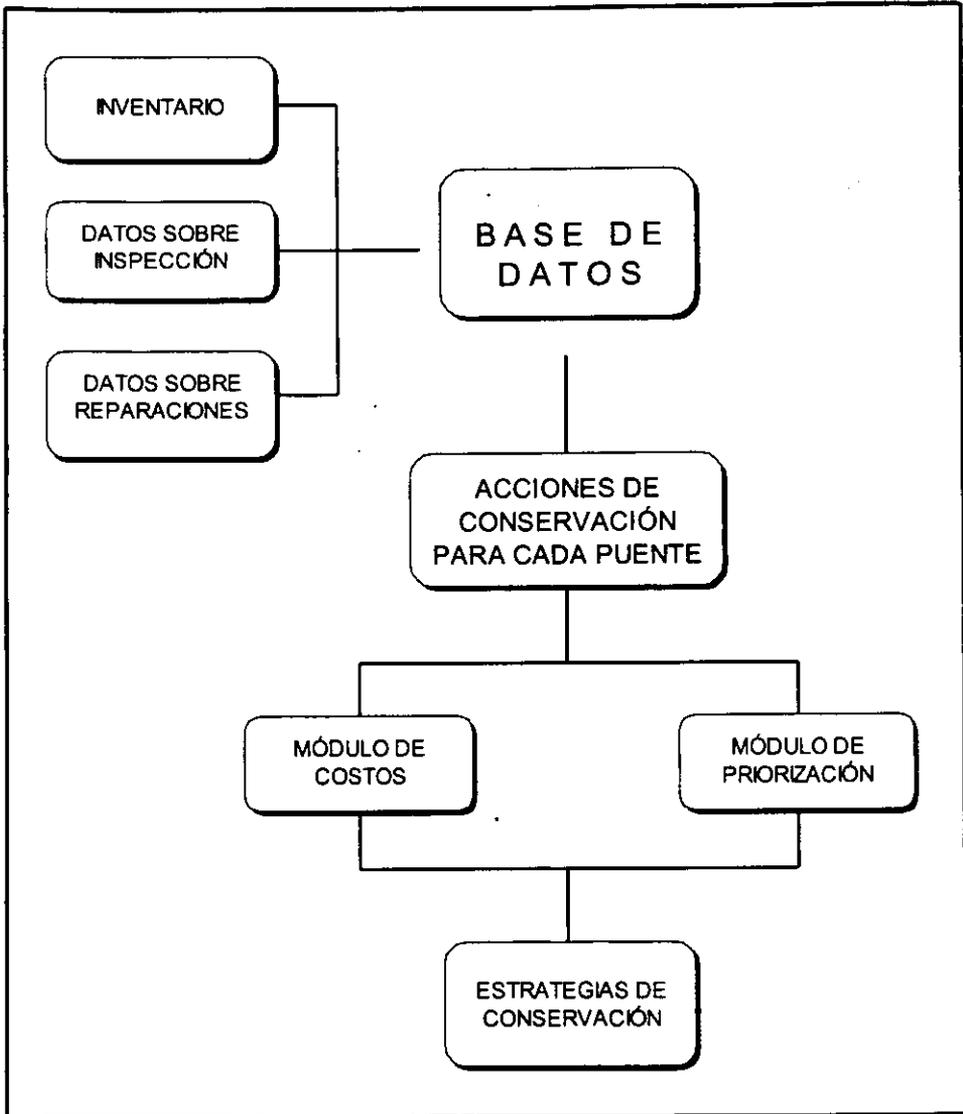
- Generar un inventario de puentes.
- Almacenar los datos de las inspecciones.
- Dar una estimación de los recursos necesarios para la conservación de los puentes.
- Priorizar las acciones de mantenimiento en puentes.

El sistema cuenta con una interfase para ligarse con el Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP) lo que permite traer o llevar información de un sistema a otro. El funcionamiento del SIAP se muestra en el esquema de la página siguiente.

### Base de Datos del SIAP

En un sistema de administración de puentes una parte importante es su base de datos que debe contener información adecuada y breve que permita identificar un puente desde la localización geográfica hasta el tipo de material del que está construido, su carga de diseño, su forma estructural, tipo de cimentación, etc., así como todos los datos que tengan que ver con la operación del transporte como puede ser su geometría, gálibos, etc. También debe contener la información proveniente de las inspecciones de campo y, además, debe diseñarse para que los datos sean registrados en forma cronológica.

La base de datos del sistema está organizado de la siguiente manera.



**Esquema general del SIAP**



## INVENTARIO

- A) Datos generales.
- B) Datos geométricos.
- C) Datos sobre la estructura.
- D) Datos de operación.

## INSPECCIONES DE CAMPO

- A) Datos de la inspección de evaluación.
- B) Datos sobre la condición.
- C) Datos de pruebas especiales.

### IV.2.2 SIPUMEX

Otro esfuerzo lo constituye la instalación de un sistema de administración de puentes llamado SIPUMEX, el cual fue desarrollado por una empresa danesa para la Dirección General de Construcción y Conservación de Obras Públicas (D.G.C.C.O.P.)

Por lo que se refiere a los puentes carreteros de la Red Federal, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes cuenta con todos los elementos administrativos y organizacionales que permiten la pronta implantación del sistema propuesto a través de la estructura existente en los Centros SCT y en las Dependencias Centrales, requiriéndose únicamente el fortalecimiento de algunos recursos específicos necesarios para la operación del sistema.

El Sistema de Puentes de México es un sistema que permite contar con un inventario de la totalidad de los puentes libres de peaje de la Red Federal de Carreteras, en el que se incluyen las características, ubicación y estado físico. Ello permite efectuar una priorización de las necesidades de mantenimiento y



rehabilitación, con lo que se logra una optimización de los recursos aplicables, atendiendo al mismo tiempo a la seguridad de los usuarios.

Hasta antes de 1982 no se contaba en México con ningún procedimiento definido para llevar a cabo sistemáticamente el mantenimiento de puentes de la Red Carretera Federal. Se daba atención a las estructuras conforme se detectaban que tenían problemas graves o cuando, a juicio del ingeniero residente, debían efectuarse trabajos de mantenimiento o reforzamiento. En 1981 las autoridades de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes tenían varias preocupaciones en relación con los puentes de la red:

- a) No se sabía si las estructuras podrían soportar las cargas autorizadas para circular por las carreteras federales de acuerdo con el Reglamento de Pesos y Dimensiones que había sido publicado en 1980.
- b) Se tenía desconocimiento del número de puentes existentes en la red.
- c) No se contaba con un sistema que permitiera efectuar, de manera ordenada y metódica, el mantenimiento de los puentes.

En virtud de lo anterior se decidió levantar un inventario nacional de puentes en el que se consideraron las condiciones técnicas, geométricas y de ubicación de las estructuras, así como la naturaleza y magnitud de los daños que presentaban. El inventario fue terminado en 1982, pero debido a que adoleció de muchos errores y omisiones, se le fue perdiendo confianza y finalmente se abandonó al no ser actualizado periódicamente.

En el año de 1991, conscientes las autoridades de la Secretaría de la necesidad de contar con un procedimiento sistemático para atender el mantenimiento de los puentes de México, se inició una investigación a escala mundial para conocer si se contaba en algunos países con un sistema para tal fin y ver la posibilidad de que se implementara uno de ellos en nuestro país. Se encontró que en Dinamarca se había



implantado hacía algunos años el sistema conocido con el nombre de DANBRO, el cual era sencillo de aplicar, moderno, y se había adoptado también con buenos resultados en otros países como Arabia Saudita, China, Taiwan, Tailandia e Indonesia. Conviene mencionar que entonces no se contaba en México con ningún sistema que pudiera ser implementado para los fines correspondientes.

En el año de 1992 se firmó con el Directorado Danés de Carreteras la Primera Fase del Sistema de Puentes de México, SIPUMEX, cuyos objetivos fueron establecidos como sigue:

1. Garantizar que el mantenimiento de los puentes de la Red Federal se lleve a cabo de una manera óptima.
2. Jerarquizar las necesidades de los proyectos de rehabilitación y de la ejecución de las obras.
3. Realizar una optimización de los presupuestos anuales.
4. Efectuar proyecciones de los requerimientos de presupuesto para un período de 5 años.

La **Primera Fase** está constituida por las siguientes actividades:

### **INSPECCIONES PRINCIPALES**

Son inspecciones visuales de las estructuras para determinar sus condiciones y evaluar la necesidad de atenderlas. De aquí se obtienen datos como: la entidad federativa en que se ubica la estructura, la carretera, kilometraje, tramo, años de construcción, tipo de superestructura y subestructura, los materiales con que están construidas, el tránsito promedio diario anual (TPDA), su clasificación, etc. La calificación que se determina para la estructura es en la escala de 0 a 5, siendo 0 cuando la estructura no presenta daños en ninguno de sus elementos, y 5 cuando se considera que está en peligro su estabilidad.



<b>SIPUMEX</b>		FECHA	HOJA
DICC/SCT Reporte de inspección municipal		05/02/01	1
IDENT. 5702000030	Lapinelli		
Estado .....	: Tamaulipas		
Carretera ... ..	: Nuevo Laredo - Lauro Villar (Ruta 2)		
Kilometraje ... ..	: 38.600		
Tramo .....	: Matamoros - Reynosa		
Año de construcción .....	: 0		
Año de la última reconstrucción .....	: 0		
Paso Superior / Inferior .....	: S		
Dir. de Kmt de la car. principal .....	: E		
Requisitos de inspección .....	: 0 Nada		
Número de secciones de inspección .....	: 1		
Colección de datos	Fecha .....	: 1994.06.08	
	Iniciales .....	: MSE	
<b>Posición geográfica</b>			
Latitud: 025gra 54.94 min	Longitud: 097 gra 48.68 min	Altitud: 154 m	
<b>Geometría:</b>			
Número de claros .....	: 5 m		
Longitud del claro mínimo .....	: 5.5 m		
Longitud del claro máximo .....	: 5.5 m		
Longitud total .....	: 27.5 m		
Ancho total .....	: 9.3 m		
Ancho del camellón .....	: 0.0 m		No apl
Ancho de la banqueta izquierda ... ..	: 0.5 m		
Ancho de la banqueta derecha ... ..	: 0.5 m		
Ancho de la calzada .....	: 6.6 m		
Ancho entre bordillos ... ..	: 8.1 m		
Ancho del acceso .....	: 6.7 m		
Área .....	: 255 m <sup>2</sup>		
Puente en curva .....	: N		
Esviajamiento .....	: 0 gra		
<b>Superestructura, tipo principal:</b>			
Diseño tipo ... ..	: S		
Diseño de la sección transversal .....	: 10 Losa		
Diseño de la elevación .....	: 10 Simpl. apoyado, secc. const.		
Material .....	: 20 Concreto reforzado <i>in situ</i>		
<b>Superestructura, tipo secundario:</b>			
Diseño tipo ... ..	: N		
Diseño de la sección transversal .....	: 91 No aplicable		
Diseño de la elevación .....	: 91 No aplicable		
Material .....	: 91 No aplicable		



/DGCC/SCT	SIPUMEX	FECHA	HOJA
	Reporte de inspección principal	9/02/01	2
FUENTE: 27 002 000 0 0 0 0		Empinell	
<b>Subestructura:</b>			
Estribos:	Tipo .....	21	Enterr. col./ pilotes con cabezal
	Material .....	21	Concreto reforzado
	Tipo de cimentación .....	10	Cimentación directa
Pilas:	Tipo .....	10	Pila sólido
	Material .....	21	Concreto
	Tipo de cimentación .....	10	Cimentación directa
<b>Detalles:</b>			
	Tipo de parapeto .....	20	Concreto sólido
	Parapeto inclinado .....	S	
	Tipo de superficie de desgaste .....	10	Asfalto
	Tipo de juntas de expansión .....	51	Junta de cartón asfaltado
	Tipo de apoyos fijos sobre soportes .....	10	Junta de construcción
	Tipo de apoyos móviles sobre sopor .....	10	Junta de construcción
	Tipo de apoyos fijos en traves .....	91	No aplicable
	Tipo de apoyos móviles en traves ... ..	91	No aplicable
Carga de diseño ... ..		H20	
Cl. de distrib. de carga .....		2	Distribución en 1 dirección
<b>Obstáculo que cruza:</b>			
	Tipo de paso .....	30	Río o arrollo
	Ident de la carretera .....		Kmt....:
	Nombre de la carretera .....		
<b>Espacio libre:</b>			
	Sobre el puente ..... (m)	I:	MI:      DM:      D:
	Bajo el puente ..... (m)	I 3.50	MI: 3.50    DM: 3.50    D 3.50
Propietario .....	100	DGCCOP/SC	
Cooperador .....	27	Tamaulipas	
Resp. de la inspec. ....	100	DGCCOP/SCT	
Proyectista .....	0		
Observaciones:			



## INVENTARIO

Con las inspecciones principales se pudo obtener el inventario de los puentes existentes en la red federal carretera, resultando que el número de estos es de 6,281. Se ha visto que los principales problemas que presentan las estructuras consisten en:

- a) agrietamiento de nervaduras y traveses por esfuerzo cortante y por flexión,
- b) fallas de apoyo de contacto con placas de plomo, y
- c) inestabilidad por erosión o socavación en los elementos de la cimentación o en los conos de derrame de estribos y caballetes.



DGCC/SCT	SIPUMEX Número y área de los puentes			FEXHA 980227	HOJA 1	
Estado	Totales para todos los pu. :			De estos pasos peaton. :		
	Número	Longitud m	Área m <sup>2</sup>	Número	Longitud m	Área m <sup>2</sup>
1 Aguascalientes	56	1958	21940	10	425	1066
2 Baja California	139	5719	60471	8	231	551
3 Baja California Sur	93	2775	28678	4	128	304
4 Campeche	70	1842	14177	3	105	264
5 Coahuila	281	7605	88849	9	273	920
6 Colima	58	3142	31255	4	157	345
7 Chiapas	226	8670	78172	29	1004	1997
8 Chihuahua	350	9822	99390			
9 Durango	247	7822	77367	7	253	489
10 Guanajuato	165	3949	44046	14	416	1003
11 Guerrero	381	18111	163498	22	724	1578
12 Hidalgo	153	5308	46876	40	1501	3403
13 Jalisco	297	11120	106063	21	659	1475
14 México	182	7550	65214	56	1858	3945
15 Michoacán	458	15695	156300	20	664	1527
16 Morelos	77	1927	17181	16	361	858
17 Nayarit	123	4709	42880			
18 Nuevo León	253	8826	99101	20	753	1704
19 Oaxaca	364	16900	160676	11	357	1139
20 Puebla	143	4200	43015	14	342	666
21 Querétaro	109	3344	36262	9	368	746
22 Quintana Roo	16	538	5373			
23 San Luis Potosí	220	7444	76090	5	217	434
24 Sinaloa	218	9605	98334	2	75	169
25 Sonora	466	9231	98377	3	78	171
26 Tabasco	84	5574	58110			
27 Tamaulipas	315	9811	95956			
28 Tlaxcala	156	3952	34763	29	739	2403
29 Veracruz Norte	254	10658	99854	22	668	1756
30 Veracruz Sur	142	6810	68844	5	142	290
31 Yucatán	9	360	3685	1	30	60
32 Zacatecas	176	4093	38262	12	390	784
Totales	6281	219070	2159059	396	12918	30047

## Inventario de Puentes



## PROGRAMAS DE REPORTES

De la base de datos del sistema se podrán generar diferentes tipos de reportes.

- Reportes de Inventario.
  - Lista de Puentes
  - Espacio Libre Vertical
  - Carga de Diseño
  - Número y Área de los Puentes
  - Puentes angostos
- Reportes de Inspecciones Principales
  - Inspecciones en un año dado
  - Calificaciones Altas
  - Calificación de Puentes en General

## ANÁLISIS BENEFICIO - COSTO

Se realiza en función de alternativas de reparación, costo de operación, desviaciones del tránsito y costos de operación.

## INSPECCIONES RUTINARIAS

Son inspecciones someras del aspecto superficial de los puentes para garantizar la seguridad del tránsito.

## MANTENIMIENTO MENOR Y LIMPIEZA

Es la ejecución de trabajos menores tales como reparación de baches, resanes de concreto y de pintura, limpieza de calzada y de drenes, reparación de parapetos.

La inspección principal en campo es un chequeo visual sistemático de todas las partes accesibles de la estructura que tiene como finalidad lo siguiente:

- Mantener la seguridad del tráfico



- Evaluar la necesidad de reparaciones
- Monitorear los cambios en la condición del puente
- Monitorear la ejecución del mantenimiento menor y de limpieza

Para evaluar la condición en que se encuentra el puente, el Sistema lo divide en 14 componentes, en donde a cada uno se le dará una calificación.

La calificación que se determina para la estructura es en la escala de 0 a 5 como sigue:

<b>CALIFICACIÓN DE CONDICIÓN</b>	
0	Sin daño o daño insignificante
1	Daño pequeño pero no es necesario reparación (excepto mantenimiento)
2	Algún daño , reparación necesaria cuando se presente la ocasión . El componente funciona como se diseñó
3	Daño significativo, reparación necesario muy pronto
4	Daño grave, reparación necesaria inmediata
5	Daño extremo, falla total o riesgo de falla total del componente
?	Desconocido

Además, se indicará el tipo de daño que sufrió el puente y el tipo de reparación que tendrá que efectuarse.

## 1. SUPERFICIE DEL PUENTE

*Cambio de pavimento de asfalto.*- Remoción completa del pavimento antiguo y limpieza de la superficie. Reparación de posibles daños en la parte superior de la



losa. Aplicación de una membrana adhesiva bituminosa (tack coat) y colocación de una nueva carpeta asfáltica, mezclando cuidadosamente según especificaciones.

*Cambio de pavimento de concreto.*- Remoción del pavimento antiguo. Limpieza de la superficie y reparación de posibles daños en la parte superior de la losa. Colocación de pavimento nuevo de concreto.

*Tratamiento superficial (sello).*- Limpieza de la superficie. Distribución de aglutinante seguido por colocación de agregados de piedras trituradas. Compactación con rodillos neumáticos y después de algunos días remoción de agregados sobrantes. Es recomendable introducir medios de reducción de velocidad vehicular hasta que se realice la limpieza final de la calzada.

## 2. JUNTAS DE EXPANSION

*Reparación de junta.*- Limpieza. Mejoramiento de partes metálicas no muy dañadas. Cambio de elementos no metálicos.

*Cambio de juntas de acero.*- Retiro de la junta existente, limpieza del sitio y colocación de la junta nueva.

*Cambio a junta de goma asfáltica.*- Remoción del material asfáltico existente. Adecuación y limpieza de la junta. Colocación de la placa de acero al fondo de la junta. Instalación del material asfáltico nuevo.

## 3. CAMELLON

*Cambio de banquetta.*- Demolición de la sección dañada y restitución de la misma sección por medio de materiales buenos y aptos.



#### 4. PARAPETOS/PASAMANOS

##### *Reparación de parapetos.*

Parapetos de concreto: eliminación de la sección dañada, restauración de reforzamiento y colocación de la sección.

Parapetos de acero: Enderezamiento de la parte afectada y/o restitución de partes defectuosas.

*Cambio de parapeto.-* Eliminación de las partes dañadas las cuales no pueden ser reparadas incluyendo las conexiones con la superestructura. Limpieza y colocación cuidadosa del nuevo parapeto sea prefabricado o hecho en el lugar asegurando una conexión con la superestructura.

#### 5. CONOS/TALUDES

*Rellenar.-* Acarreo de material propio. Relleno y compactación para obtener la pendiente y el espesor original.

*Reparación de protección.-* Eliminación de la protección de secciones dañadas. Relleno de zonas erosionadas por material propio, renivelación y compactación. La reconstrucción de la protección es en forma de vallado de piedras, concreto, baldosas u otro medio.

*Protección de conos de derrame.-* Afinación del cono de derrame por medio de instalación de material apto, renivelación y compactación, hasta que el cono tenga su forma y pendiente original. Colocación del medio de protección, por lo general, en forma de vallado de piedras

#### 6. ALEROS

*Reparación de concreto.-* Eliminación de la pared afectada, cortando el concreto en mal estado hasta que se encuentre concreto sano. Limpieza profunda, incluyendo el



posible reforzamiento. Reconstrucción de la parte afectada por medio de concreto de alta calidad, colocado en forma correcta.

*Encamisado de concreto reforzado para protección.*- Limpieza de la parte que se reforzará. Colocación de acero de refuerzo y preparación de la obra falsa, asegurando una buena conexión entre la obra existente y la protección nueva. Colado de concreto, después retiro de la obra falsa.

*Encamisado como reforzamiento estructural.*- Limpieza de la parte que se reforzará. Colocación de acero de refuerzo y de presfuerzo según los requerimientos, y de obra falsa asegurando una buena conexión entre la estructura existente y la protección nueva. Colado del concreto, después de alcanzada la resistencia adecuada del concreto tensado de presfuerzo e inyección de mortero, retiro de la obra falsa.

*Cambio de la estructura.*- Designación del elemento que se cambiará. Demolición del elemento, limpieza y reconstrucción según especificaciones en mampostería, en concreto reforzado o concreto ciclópeo.

*Cambio de parte de parte de la estructura.*- Eliminación de la parte afectada hasta que se encuentre material sano. Limpieza sólida inclusive de un posible reforzamiento que no debe ser dañado. Reparación de la parte en cuestión por medio de materiales de alta calidad.

## 7. ESTRIBOS Y PILAS

Las reparaciones serán las mismas que en los aleros, pero en estas estructuras tendrá que tomarse en consideración la nivelación.



*Nivelacion.-* Apuntalamiento seguro del puente y ganeo de la superestructura. Retiro de los apoyos, si es necesario por medio de eliminación de la parte superior del estribo y reconstrucción del mismo. Recolocación de apoyos y acomodación de la superestructura en su posición original. Retiro de apuntalamiento.

## 8. APOYOS

*Cambio de apoyos.-* Ganeo y apuntalamiento seguro de la superestructura del puente. Retiro de los apoyos designados y colocación de apoyos nuevos según las especificaciones. Acomodación de la superestructura en su posición original. Retiro del apuntalamiento.

*Corrección de la posición.-* Ganeo y apuntalamiento seguro de la superestructura del puente. Retiro de apoyos y colocación de estos nuevamente a sus posiciones correctas, fijándolos según especificaciones. Acomodo de la superestructura en su posición original. Retiro de apuntalamiento.

*Reparación del concreto/lechar.-* Apuntalamiento de la superestructura sobre el apoyo en cuestión. Eliminando el concreto dañado hasta encontrar material sano sin dañar el acero de reforzamiento. Limpieza y colado de concreto de buena calidad para restablecer la forma y la extensión de la superestructura. Retiro de apuntalamiento.

## 9. LOSAS

*Reforzamiento de losas.-* Limpieza cuidadosa de la losa existente, inclusive eliminación del pavimento y escarificación de la parte superior de la losa. Instalación de espigas metálicas sobre la losa para asegurar la conexión fija con la sobre losa. Colocación de reforzamiento y obra falsa para la sobre losa y colado del concreto. Tras el fraguado, reconstrucción del pavimento.



*Cambio de losa.-* Demolición de losa existente. Colocación de obra falsa y colado del concreto. Después del fraguado retiro de la obra falsa.

*Inyección de grietas epoxi/resina.-* Limpieza cuidadosa. Inyección de material prescrito según las especificaciones.

## 10. LARGUEROS/TRABES

*Reforzamiento de trabes.-* Este tipo de obra se iniciara solamente de acuerdo a una revisión especial de la superestructura. Por ser una obra delicada será realizada por empresas especializadas.

*Cambio de trabes de concreto.-* Apuntalamiento seguro del puente. Gateo de la sección dañada y demolición de las trabes. Si se trata de una trabe nueva colada en sitio se aplica reforzamiento y obra falsa y se coloca el concreto. En caso de trabe prefabricada se instala en la posición preparada. Acomodamiento de la superestructura y remoción del apuntalamiento.

*Reparación de componentes de acero.-* Reparación del componente dañado sin retirarlo de su posición en el puente.

*Pintura de acero.-* Limpieza cuidadosa del elemento eliminando totalmente la pintura existente. Remoción completa de la corrosión, si es necesario, por medio de enjuague de arena (sandblasting) u otro medio óptimo. Aplicación de pintura nueva de alta calidad siguiendo las instrucciones del proveedor del producto.

*Cambio de trabes de acero.-* Apuntalamiento seguro del puente. Gateo de la parte asignada y retiro de la trabe. Colocación de una trabe nueva elaborada según los requerimientos. Acomodación de la superestructura en su lugar y retiro del apuntalamiento.



*Reforzamiento de traves de acero.*- Es recomendable no iniciar este tipo de obra sin efectuar anteriormente una inspección especial para definir el tipo de reforzamiento y el procedimiento de ejecución del mismo.

## 11. CAUCE

*Renivelar.*- Se realiza por medio de excavación y translación del material del sitio sin importación de materiales. Compactación ligera.

*Reencauzamiento.*- Excavación para formar encauzamiento. Remoción de materiales.

*Protección del cauce.*- Formación del cauce a su forma designada. Instalación de protección de erosión en material apto, sea mampostería, vallado de piedras o concreto.

*Gabiones.*- Formación de la zona designada. Colocación de cajas de gabiones y relleno de piedras según las especificaciones.

## 12. OTROS ELEMENTOS

*Reparación de señales.*- Enderezamiento y/o cambio de las partes de la señal. En caso de daños ligeros, limpieza y pintura. En caso de daños severos cambio total de la señal.

## 13. PUENTE EN GENERAL

*Cambio del puente.*- Esta operación debe ser realizada únicamente después de estudios profundos. Demolición completa del puente existente. Arreglo del sitio y construcción de un puente nuevo según especificaciones.



**Cambio de la superestructura.-** Esta operación debe ser utilizada únicamente después de estudios profundos asegurando que la subestructura del puente existente siempre servirá para soportar una superestructura nueva. Demolición de la superestructura, sin afectar pilas y estribos e instalación de una superestructura nueva, según requerimientos y especificaciones.

**Ampliaciones.-** Esta operación debe ser realizada únicamente después de estudios profundos asegurando que la estructura existente será capaz de soportar una aplicación y que la estabilidad no será deteriorada. Además, el resultado de la inspección especial debe mostrar la forma apropiada para establecer la aplicación.

**Puente nuevo (paralelo).-** Esta operación debe ser realizada únicamente después de estudios para determinar la necesidad de construir un puente paralelo al existente (el estado de la estructura, el volumen de tránsito, etc.). Construcción del puente según los requerimientos y especificaciones.

DGOC/SCT	SIPUMEX	FECH	HOJA
	Reporte de inspección principal	950201	3
UNITE: 5-4024000030 Tipinell			
Resumen cronológico :	Fecha 1994.06.08	Actividades Inspección Principal	
Última Inspección Principal :			
Fecha: 1994.06.08	Iniciales: MEVA	Tiempo Soleado	Temperatura: 36
Tráfico: TPDA .....	:	0	
Camros % .....	:	0	
Autobuses % .....	:	0	
Camiones % .....	:	0	
Año de la próxima inspección principal .....	:	1998	



**SIPUMEX**  
Reporte de inspección principal

FECHA  
95/02/01

HOJA  
4

PUNTE 2.002000000

Empinell

No. de Componente	Descripción del daño Tipo de daño	Fotos	Calif	Man ten	Ins Esp	Obras de reparación			
						T P	Cant	Año	Costo
1	SUPERFICIE DEL PUENTE	0	1	-					
2	JUNTAS DE EXPANSIÓN	0	2	-					
3	BANQUETA / CAMELLÓN	0	1	-					
4	PARAPETO / PASAMANOS	0	3	-					
5	CONOS / TALUD	0	1	-					
6	ALEROS	0	1	-					
7	ESTRIBOS Agrietados y concreto desintagrandose Daño en concreto / corr	1	3	-		A	150	1996	69,750
8	PILAS	1	4	-		A	90	1996	41,850
9	APOYOS	0	1	-					
10	LOSA Acero expuesto corroído Daño en concreto / corr. acero	1	4	-		B	50	1996	50,000
11	LARGUEROS/TRABES								
12	CAUCE	0	1	-					
13	OTROS ELEMENTOS								
14	PUENTE EN GENERAL	0	4	-					

### EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA

Es un análisis para evaluar la capacidad de carga remanente de las estructuras y su capacidad para satisfacer los requerimientos que les impone el paso de los vehículos.

### JERARQUIZACIÓN DE LOS TRABAJOS DE REHABILITACIÓN

Se establecen las prioridades para los trabajos de refuerzo o rehabilitación de los puentes registrados con la ejecución de las Inspecciones Principales, con base en la condición de los puentes, capacidad de las estructuras para distribuir la carga y el



tránsito promedio diario anual; como resultado se genera el programa de obra para el siguiente año.

A mediados de 1993 se firmó el contrato de la Fase 2, cuyos trabajos finalizarían a fines de 1996. Esta segunda fase incluye las siguientes actividades:

### **INSPECCIONES ESPECIALES**

Inspecciones detalladas con el uso de equipo especial para determinar los daños y sus causas, por lo que los resultados de las inspecciones se utilizan para decidir la estrategia de reparación óptima para cada puente y decidir cuáles reparar si los fondos no son suficientes para llevar a cabo todos los trabajos solicitados. Por esta razón la inspección especial tiene que ser llevada a cabo siempre antes de la rehabilitación o trabajos de reemplazo, a menos que la extensión del daño sea insignificante.

### **DISEÑO DE REPARACIÓN DE PUENTES**

Preparación de un manual de diseño de reparaciones con base en las inspecciones especiales. El año de la reparación se determina tomando en consideración la seguridad al tránsito y el desarrollo esperado del daño.

### **DISEÑO Y ESPECIFICACIONES PARA PUENTES NUEVOS**

Incluye el ajuste a las normas de diseño existentes con base en las experiencias obtenidas de las inspecciones.

### **RUTAS PARA TRANSPORTE PESADO**

Establecimiento de rutas para vehículos pesados especiales de modo que no provoquen daños a los puentes.

### **PRESUPUESTO Y CONTROL DE AVANCE**

Un sistema que elabore presupuestos y controle los avances de los trabajos.



## MAPA DE PUENTES

Sistema para localizar los puentes de la red en mapas.

## SISTEMA DE ARCHIVO

Manejará todo el material de archivo del SIPUMEX.

## LIBRO DE PRECIOS

Elaboración de un catálogo de precios unitarios para trabajos de mantenimiento y rehabilitación.

## SUPERVISIÓN DE

### OBRA

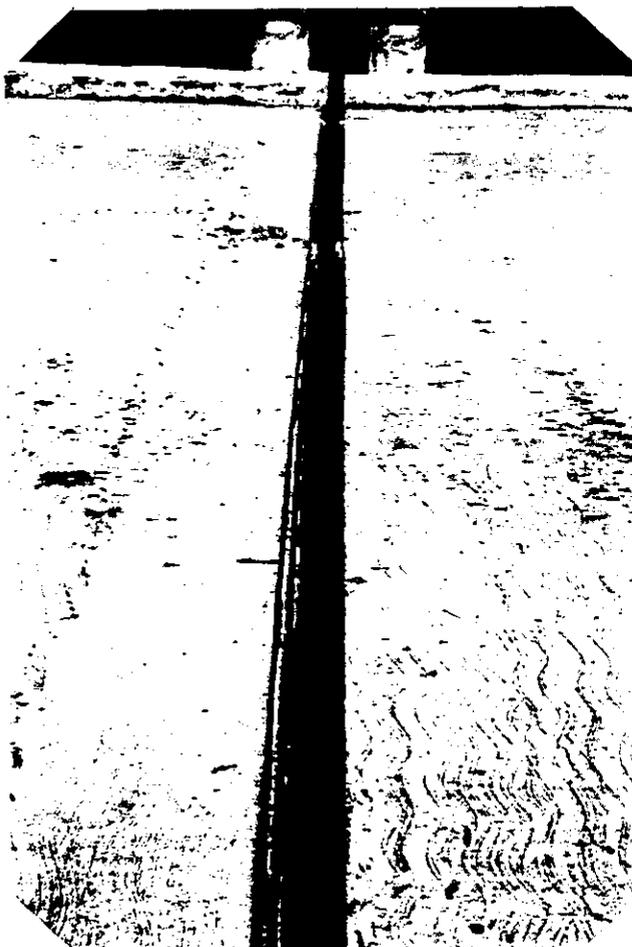
Introducción de nuevos procedimientos de supervisión de obra, incluyendo manuales

## JUNTAS ASFÁLTICAS

### PARA PUENTES DE

### CONCRETO

Entrenamiento en diseño y construcción de una nueva junta de expansión para puentes



JUNTAS EN PUENTES



Se establecerá una base de datos que contendrá fotografías de los puentes tomadas durante las inspecciones principales.

El flujograma para el desarrollo del SIPUMEX comprende diferentes actividades que tienen que realizar tanto la Dirección General de Conservación de Carreteras, en el ámbito central, como los Centros SCT.

Con la información recabada se tendrán los elementos necesarios para alimentar el Banco de datos, lo que permitirá ofrecer un mejor servicio de mantenimiento y conservación a los puentes. Tal información se actualiza cada año; con esto se procura evita el error que tuvo el primer inventario.



# CAPÍTULO V



## V. ANÁLISIS CRÍTICO DE LA INFRAESTRUCTURA DE PUENTES

En un marco de referencia amplio, el Sistema Nacional de Carreteras enfrenta varios problemas. Uno delicado es la creciente incapacidad para atender la demanda del transporte que, a pasos acelerados, se ha venido presentando como resultado de la dinámica que se ha dado a los diferentes sectores productivos, así como el proceso de desconcentración que el Gobierno de la República se ha propuesto realizar.

Este uso intensivo, combinado con el grado de deterioro derivado de la edad de las carreteras de la red federal, ha provocado la necesidad de realizar esfuerzos importantes para aumentar los niveles de servicio, lo cual se traduce en un incremento de los recursos que se destinen a la conservación. No obstante, a la fecha no se ha logrado llegar a lo deseable en virtud de la canalización de recursos hacia otros rubros igualmente prioritarios.

Esto es de suma importancia ya que toda construcción que no se conserva termina por inutilizarse, lo que equivale a la pérdida de la inversión hecha en esa obra, es decir, una descapitalización.

Los puentes no son una excepción. Consecuentemente, el no conservarlos significa una pérdida real de capital invertido en ellos. ¿A cuánto ascendería la pérdida si se inutilizaran los puentes de las carreteras federales por falta de conservación?

De acuerdo con una estimación reciente, el número de puentes construidos por la antigua Secretaría de Obras Públicas y por la actual Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas entre 1962 y 1982 es de 1643, con una longitud total de



79 800 m. Esta longitud es aproximadamente el 51 % de la longitud de los puentes construidos desde 1926 hasta 1979, lo que significa que desde 1926 hasta 1979 se contaba con unos 156 470 m de puente.

De 1926 a 1960 se tenían por lo tanto  $156\ 470 - 79\ 800 = 76\ 670$  m de puentes en servicio en las carreteras federales.

Si en la actualidad se tuvieran que construir estos 76 670 m de puente, se requeriría una inversión del orden de 14 000 MDP, conservadoramente estimados.

En vista de lo anterior, se pone de manifiesto la importancia económica de conservar los puentes que se tienen en operación en las carreteras federales, no solo por la inversión que en sí representan esas estructuras, sino por la trascendencia que tienen en el funcionamiento de la economía general del país.

Si a la escasez de recursos para una conservación eficiente de la red aunamos el hecho cotidiano de que el autotransporte de carga transita por las carreteras nacionales con cargas superiores a las permisibles en el Reglamento y muy por arriba a las correspondientes al vehículo de diseño, da por resultado la degradación rápida de las estructuras de los pavimentos y puentes que las integran, por lo cual no se puede tener una red eficiente por más dinero que se destine a la conservación de la misma.

Una gran parte de los puentes fueron calculados para la carga AASHTO H-15 con un peso total de 13.7 ton, en tanto que el camión tipo T3-S3 autorizado por el Reglamento de operación de caminos tiene un peso legal de 47 ton. y frecuentemente un peso ilegal de 75 ton. Esta situación explica los daños en las estructuras de pavimentos y puentes, causados por el aumento de las sollicitaciones mecánicas al aumentar el peso de las cargas rodantes y por la disminución de



resistencia por efecto de la fatiga estructural ocasionada por el aumento de frecuencia en la aplicación de esas fuerzas repetidamente.

Además, hay que tomar en cuenta otros factores como las causas principales de daño que presentan la mayor parte de los puentes y para fines prácticos se dividen en dos grupos:

- a) Causas externas
- b) Causas internas

a) **Causas externas:** son aquellos factores ajenos al comportamiento de la estructura y son: las fuerzas sísmicas, el viento, las cargas vivas, el intemperismo, la erosión, el agua, el hundimiento del suelo, desgaste de la superficie de rodamiento, golpes que reciben los elementos estructurales, procedimientos constructivos mal aplicados, maltrato en el transporte de las piezas prefabricadas (en su caso), mala supervisión de obra (al no realizar las pruebas para el control de calidad), cambios bruscos de temperatura, falta de mantenimiento.

Las *fuerzas sísmicas*: Se puede decir, en general, que existen tres zonas regidas por el tipo de suelo; zona de lomerío, zona de transición y zona de lago. Aquí se toman en cuenta varias consideraciones para el análisis y diseño de los puentes, pues el objetivo de conocer el terreno es la prevención de daños que ocasionan las fuerzas de los sismos.

Puesto que ha quedado demostrado lo que un fenómeno de esta naturaleza ocasiona en las estructuras, se debe tomar en cuenta la importancia del diseño en las nuevas estructuras.

Las *cargas vivas*: El excesivo crecimiento demográfico y de transporte origina que se utilicen vehículos cada vez más grandes y por consecuencia más pesados, que



aunado a la antigüedad del puente, que no fue diseñado para soportar dichas cargas, ocasiona que no se obtenga un coeficiente de seguridad apropiado.

*El intemperismo:* En el medio ambiente existen determinadas partículas que son dañinas para la elaboración de los materiales a emplear en la construcción del puente. Los puentes son obras que siempre están en contacto directo con la intemperie, por lo que se debe tomar en cuenta en su planeación y proyecto. Es necesario hacer un estudio del tipo de suelo y de la humedad, entre otros factores, con los que el puente siempre está en contacto.

*La erosión:* Causa ciertos daños cuando la superestructura se encuentra en contacto directo con el terreno natural.

*El agua:* Es uno de los elementos más dañinos para cualquier tipo de construcción, siendo este uno de los agentes más corrosivos para el concreto y el acero.

En los puentes de concreto se debe cuidar el drenaje pues se ha comprobado que absorben mucha agua provocando erosión dentro de las piezas estructurales y la oxidación en el acero de refuerzo.

*Hundimientos:* Si los terraplenes presentan hundimientos más rápidamente que la propia estructura es por que, generalmente, está piloteada a la capa dura y no presenta hundimiento alguno. Esto provoca la ruptura de los muros estribo.

*Desgaste de la superficie de rodamiento:* Se presenta por el uso constante o por el derrame de algunas sustancias corrosivas que provocan agrietamientos, y en ocasiones, baches.



*Golpes en la estructura:* En algunos puentes, por ejemplo los de paso superior, con el reducido gálibo y el paso de vehículos altos las trabes presentan golpes que con el impacto se fracturan y provocan el mal funcionamiento de la estructura.

*Maltrato de los elementos:* Es posible que en elementos prefabricados se lleguen a tener percances durante la transportación o colocación y debido al costo unitario o la mala supervisión esa pieza es colocada.

*Cambios de temperatura:* Algunos elementos presentan ciertas alteraciones, como dilatación o contracción, al tener cambios bruscos de temperatura que no fueron considerados en el diseño.

*Mantenimiento:* Aunque el mantenimiento debe ser constante y permanente en los puentes, la falta de este se considera entre los mayores problemas del país.

b) **Causas internas:** Son aquellas que actúan en la mecánica de los materiales y son:

*Superestructura:* cortante, flexión, torsión y pandeo.

*Fallas en los apoyos o juntas:* cortante, aplastamiento, flexión, juntas fluidas.

*Subestructura:* cortante, flexión, compresión, esbeltez.

*Cimentación:* empujes laterales, hundimientos, supresión, asentamientos.

*Otras causas:* desprendimiento de juntas, malas resistencia y control de calidad en los materiales.

Tomando en cuenta lo antes mencionado, se puede observar que es necesario dar mantenimiento a los puentes.

Debido a la importancia que tiene la infraestructura vial en el gran activo de la riqueza de una sociedad como la mexicana de grandes luchas para lograr adelantar



en su desarrollo nacional, la Red Nacional de Carreteras juega un papel prioritario ya que dentro del sistema de transporte terrestre en la actualidad se responsabiliza del 80% de las cargas mientras que la vía férrea absorbe menos del 20% restante. En cuanto a pasajeros, la carretera capta el 97% del total, quedando para la vía férrea solo el 3%.

En el ejercicio de la profesión de la ingeniería se ha dado considerable atención al diseño de estructuras de puentes y tales diseños requieren nuevas técnicas analíticas y especificaciones para garantizar la seguridad de la estructura. Semejantes diseños ofrecen a las dependencias de carreteras nuevos desafíos y responsabilidades. Sin embargo, esas oficinas tienen la gran responsabilidad de mantener la seguridad de esas nuevas estructuras y, también, más importante, la de aquellos puentes que han estado en servicio por muchos años.

Existen muchos puentes antiguos en toda la red de carreteras del país y realmente en servicio aún cuando no hayan sido propiamente mantenidos. Si las oficinas de las diferentes dependencias deciden remplazar estos puentes el costo será prohibitivo, esto es, el mantenimiento apropiado, la conservación y la valuación de los puentes es una necesidad.

Mientras que la preocupación por la seguridad ha estado siempre presente en los objetivos principales de los proyectistas y constructores, resulta sorprendente que las primeras investigaciones serias en un aspecto tan importante sean relativamente recientes, y sus resultados todavía poco conocidos y escasamente enseñados.

A principio de este siglo, al empezar a construirse con concreto armado, fue preciso referir tal límite de seguridad a la resistencia del material, ya que la del concreto, al contrario del acero, podía variar en grandes proporciones.



Lo mismo ocurrió con la evolución de los reglamentos de carga. En lo que a sobrecarga en puentes carreteros se refiere, se ha buscado representar por medio de convoyes fijos y cargas repartidas uniformes los efectos de los vehículos reales.

Las cargas reglamentadas han experimentado crecimientos continuos en paralelo con el aumento del número y peso de los vehículos.

Deben efectuarse trabajos de mantenimiento preventivo, y luego apegarse al tiempo señalado para cada cosa. Existen dos reglas de oro para el mantenimiento de los puentes. La primera es evitar tantos problemas como sea posible antes de comenzar. Y la segunda, atajar cuanto antes los problemas que de todas formas se presentan.

Y aunque esto sería lo idóneo, no ha sido posible llevarlo a cabo debido a la situación económica en que se encuentra el país. Por todo el mundo las naciones se enfrentan a una elevada inflación, la devaluación de la moneda, la inestabilidad económica y la carencia de cultura de conservación; como resultado de esta situación es casi imposible dar atención a todas las necesidades, particularmente al mantenimiento de los puentes del país.

Aunque es indispensable dar mantenimiento rutinario y preventivo a los puentes, esto no se ha logrado ya que el presupuesto es reducido, por lo que solo ha sido posible dar mantenimiento correctivo a los puentes que se encuentran en un estado crítico, es decir, los que tengan calificación 4 ó 5 que son los que presentan daños mas graves, los otros tendrán que esperar al siguiente año, cuando posiblemente ya se encuentren en peor estado.

Los sistemas de administración son eficaces pues han permitido que muchos puentes sigan dando servicio. El problema radica en que el país no cuenta con los recursos necesarios para implantar correctamente estos sistemas.



A través de estos se obtuvo que el 48% de los puentes necesitan mantenimiento correctivo, y en general muestran las condiciones en que se encuentran el total de puentes.

Número de puentes 1997	
Estado	Número
1 Aguascalientes	30
2 Baja California	126
3 Baja California Sur	84
4 Campeche	55
5 Coahuila	266
6 Colima	51
7 Chiapas	204
8 Chihuahua	349
9 Durango	234
10 Guanajuato	149
11 Guerrero	355
12 Hidalgo	134
13 Jalisco	288
14 México	175
15 Michoacán	385
16 Morelos	94
17 Nayarit	126
18 Nuevo León	205
19 Oaxaca	344
20 Puebla	139
21 Querétaro	108
22 Quintana Roo	13
23 San Luis Potosí	219
24 Sinaloa	208
25 Sonora	889
26 Tabasco	50
27 Tamaulipas	310
28 Tlaxcal	156
29 Veracruz Norte	254
30 Veracruz Sur	151
31 Yucatán	6
32 Zacatecas	155
Totales	6312

Número de puentes 1998	
Estado	Número
1 Aguascalientes	56
2 Baja California	139
3 Baja California Sur	93
4 Campeche	70
5 Coahuila	281
6 Colima	58
7 Chiapas	226
8 Chihuahua	350
9 Durango	247
10 Guanajuato	165
11 Guerrero	381
12 Hidalgo	153
13 Jalisco	297
14 México	182
15 Michoacán	458
16 Morelos	77
17 Nayarit	123
18 Nuevo León	253
19 Oaxaca	364
20 Puebla	143
21 Querétaro	109
22 Quintana Roo	16
23 San Luis Potosí	220
24 Sinaloa	218
25 Sonora	466
26 Tabasco	84
27 Tamaulipas	315
28 Tlaxcala	156
29 Veracruz Norte	254
30 Veracruz Sur	142
31 Yucatán	9
32 Zacatecas	176
Totales	6281



Las tablas que se presentaron permiten ver que en el lapso de un año el número de puentes disminuyó, esto se debe posiblemente a que algunos dejaron de existir y otros se han canalizado a la administración de cada uno de los Estados. Estas medidas tampoco son las más apropiadas ya que la mayoría de los Estados no cuentan con los conocimientos ni medios necesarios que les permitan mantener los puentes en buen estado.

Es cierto que México necesita grandes inversiones en otros rubros no menos importantes, pero también es cierto que descuidar la infraestructura de carreteras sería descuidar una fuerte base económica que permite el desarrollo del país.



PUENTE DETERIORADO



Desafortunadamente esto es precisamente lo que está ocurriendo. El gobierno no ha canalizado los recursos suficientes para tal efecto y se justifica con la crisis que se ha venido dando desde el año de 1995. Pero los resultados anteriores muestran que en general la infraestructura de puentes en México se encuentra en una situación muy grave, por lo que las dependencias involucradas necesitan dar mayor atención a su mantenimiento y rehabilitación. Esto da como resultado un considerable rezago en la conservación de los puentes que se traduce en un deterioro creciente de su estado físico.

Por último, entre las razones que explican, pero no justifican ese rezago, pueden señalarse las cuatro siguientes:

- **Escasez de recursos.** Una crisis o cualquier tipo de problema económico decrementa el gasto público y minimiza los recursos disponibles para conservación.
- **Preferencia a la estructura térrea.** Los limitados recursos se han canalizado a terracerías y pavimentos por ser más vulnerables a daños más extensos y frecuentes, descuidando los demás materiales.
- **Impopularidad de la conservación.** El crecimiento demográfico y la creciente urbanización generan una gran demanda de obras nuevas de infraestructura, ante las cuales la conservación de las obras ya existentes resulta poco atrayente al asignar recursos.
- **Carencia de cultura de conservación.** En una sociedad subdesarrollada existe poca conciencia sobre la necesidad de conservar las obras tanto públicas como privadas.



# CONCLUSIONES



## CONCLUSIONES

Los puentes, parte importante de las carreteras, habían recibido poca atención por lo que las acciones para su mantenimiento y conservación no eran suficientes. Se implanta un sistema de administración de puentes para poder establecer un procedimiento sistemático de evaluación y reconocimiento de los requerimientos en los puentes, así como el de establecer una serie de actividades administrativas encaminadas a normalizar el proceso general de conservación.

Este sistema de administración de puentes logra integrar un conjunto de órganos administrativos, normas y procedimientos para poder planear, ejecutar y supervisar las acciones de atención a los puentes de una red después de su puesta en servicio, tomando en cuenta la operación integral del sistema carretero y sus efectos en la vida económica de una región o de un país.

Respecto a la implantación del Sistema de Administración de Puentes en México se ha observado que existen los elementos administrativos y organizacionales que permiten la pronta implantación del sistema a través de la estructura establecida en los Centros SCT y en las dependencias centrales, requiriéndose únicamente el fortalecimiento de algunos recursos específicos necesarios para la operación del sistema.

Lamentablemente será difícil cumplir con este objetivo ya que se requiere grandes inversiones y en este momento México se encuentra sumergido en la crisis más grave de los últimos años.



Estos recursos son los referentes a una organización central y a una organización de campo, las cuales se encargaran de la toma de decisiones en la conservación y de las actividades de inspección y evaluación de la estructura respectivamente.

También se recomienda el establecimiento de niveles de servicio fijados bajo las características funcionales adecuadas para la operación del transporte dentro del sistema vial. Dichas características se definieron como medidas mínimas deseables y aceptables en gálibos, ancho de calzada y en la capacidad de carga. El nivel de servicio *deseable* es para aquellos puentes existentes que están en condiciones de prestar servicio, requiriendo únicamente la modificación en los elementos antes mencionados de acuerdo a los niveles establecidos. El nivel de servicio *aceptable* es fijado para aquellos puentes que van a ser construidos.

Aunados a estos niveles de servicio se establece un criterio de priorización como elemento auxiliar para la asignación de los fondos y elección de las estructuras que posean un nivel alto de necesidades respecto a otras. En este criterio se toman en cuenta aspectos funcionales y estructurales para la designación de las actividades de conservación.

Referente a la inspección se establece una metodología con el fin de tener un medio cualitativo y cuantitativo en la obtención de datos sobre la condición de los puentes. Para que dicho proceso sea sistemático y gradual de acuerdo a la condición que presente los puentes, en primer lugar se tendrá una inspección de evaluación; en caso de que se requiera la verificación de esta o por que se demande una inspección más minuciosa, se hará entonces una inspección especial, o aun, inspecciones con pruebas especiales, según lo requiera el puente de acuerdo a la inspección y evaluación iniciales realizadas por los organismos encargados.



Esta metodología es muy compleja y requiere grandes desembolsos económicos por lo cual SIPUMEX solo ha puesto en marcha su Primera de dos Fases.

Conviene señalar que para que el Sistema funcione adecuada y permanentemente, es necesario cumplir con los siguientes puntos:

1. Uniformizar los criterios de inspección de todas las Residencias Generales de Conservación de Carreteras.
2. Actualizar sistemáticamente la base de datos por lo menos una vez al año.
3. Contar con los recursos necesarios para mantener el sistema en operación.
4. Corregir errores y detalles mal aplicados conforme se vaya adquiriendo experiencia.

Para lograr completarlos, sobre todo a la hora de plantear el aspecto económico, le falta mucho a México, pero vale la pena al fin y al cabo por miles de años, el hombre ha podido salvar espacios infranqueables –ríos, desfiladeros, barrancos, etc.– gracias a estos diferentes tipos de puentes. Por lo que sería importante pensar ¿Qué haríamos sin ellos?

## BIBLIOGRAFÍA

1. CREIGHTON, Peet. Mis primeros conocimientos de Puentes. 12a.edición. México. Editorial. Kratos, 1989.
2. ROIG, Joan. Nuevos Puentes. 7a. edición. Barcelona. Editorial Gustavo Gili S.A.. 1996.
3. Inventario de Puentes de la Red Federal Carretera. SECRETARÍA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y OBRAS PÚBLICAS. DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS. México, 1982.
4. MENDOZA A. y CADENA R. A. Estudio de Pesos y Dimensiones. INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, 1991
5. Manual para Inspección y Conservación de Puentes. TOMO II SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA S.C.T. 1980

## ECONOGRAFÍA

6. Gaceta "Notas". INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE - S.C.T. México, 1998.
7. FREGOSO VAZQUEZ, Alberto. Exposición "Conceptos Respecto a la Conservación de Puentes en la Red Federal de Carreteras". Universidad Autónoma De Zacatecas. Escuela de Ingeniería Zacatecas, ZAC. 1985
8. Curso Institucional "Inspección, Mantenimiento y Rehabilitación de Puentes". FACULTAD DE INGENIERÍA, U.N.A.M. DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTÍNUA, 1997

9. **Sistema de Puentes en México**. S.C.T. Revista de Ingeniería publicada por la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Volumen XV. Número 3 (Julio-Septiembre de 1995) p. 175-179.
10. **Apuntes de la Especialidad en Puentes**. E.N.E.P Aragón. Universidad Nacional Autónoma de México, 1998.
11. Villalva Hernández, Victor. **"Sistema de Administración en Puentes en México"**. Tesis de Ingeniería Civil. Aragón, Edo. de México. E.N.E.P Aragón. Universidad Nacional Autónoma de México, 1997.
12. Romero Rodríguez, José. **"Ingeniería de Puentes"**. Tesis de Ingeniería Civil. Aragón Edo. de México. E.N.E.P Aragón. Universidad Nacional Autónoma de México, 1968.
13. GALINDO SOLÓRZANO, Amilcar. **"Conservación de Puentes. Curso Internacional de Conservación de Carreteras"**. INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, 1991.
14. **"Formato para Inspección de Puentes y Pasos a Densivel"**. DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS S.C.T. 1985