



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



Centro de Investigación y Desarrollo
de Educación en Línea



CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE EDUCACIÓN EN LÍNEA (CIDEL)



Instructores:
Ing. Ignacio Enrique Hernández Quinto

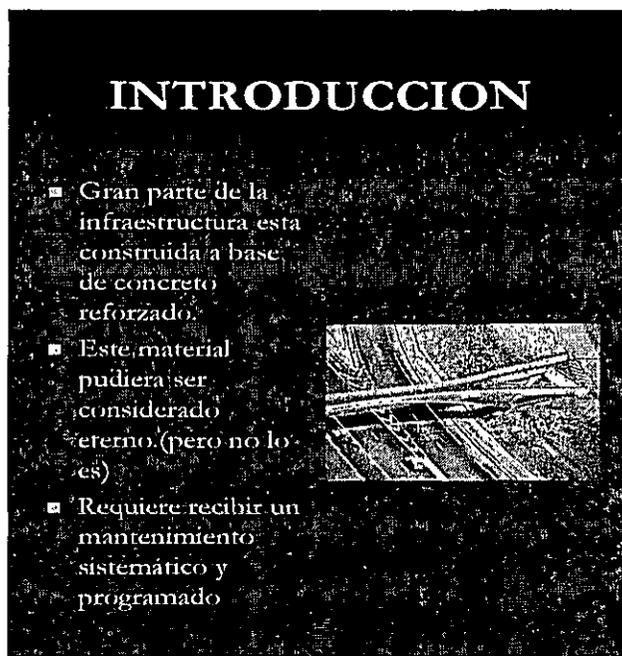
CÁMARA MEXICANA DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN
DELEGACIÓN HIDALGO
DIPLOMADO DE VÍAS TERRESTRES

CONSERVACIÓN DE PUENTES
AUTOR: ING. IGNACIO ENRIQUE HERNÁNDEZ QUINTO

INTRODUCCIÓN

Numerosos puentes de la red nacional de carreteras presentan daños importantes, como consecuencia de la acción agresiva de los agentes naturales y del crecimiento desmesurado de las cargas.

El deterioro causado por los agentes naturales es común a todas las obras de ingeniería civil y es el resultado de un proceso mediante el cual la naturaleza trata de revertir el procedimiento artificial de elaboración de los materiales de construcción y llevarlos nuevamente a su estado original. De esta manera, el concreto, piedra artificial formada por agregados pétreos unidos con cemento y agua, por efecto de los cambios de temperatura, el intemperismo y otros agentes, se agrieta y se desconcha y tiende a convertirse otra vez en arena, grava y cemento separados. Asimismo, el acero, formado por hierro con un pequeño agregado de carbono, es un material artificial inexistente en la naturaleza, que por efecto de la oxidación tiende a convertirse en un material más estable.



NECESIDADES DE CONSERVAR LOS PUENTES

Por lo que se refiere a las cargas rodantes, el desarrollo tecnológico ha propiciado la aparición de vehículos cada vez más pesados, en respuesta a la demanda de los transportistas, que encuentran más lucrativa la operación de vehículos de mayor peso (a corto plazo) y, por otra parte, el desarrollo económico se ha reflejado en un notable incremento del parque vehicular. En los últimos 35 años, el número de habitantes y la longitud de la red se han triplicado, en tanto que el número de vehículos se ha multiplicado por veinticinco. Una gran parte de nuestros 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 solicitantes 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 cargas.

Examinada con mayor atención la naturaleza de estas causas principales de daños en los puentes, se desprende que son ineludibles. La acción agresiva de los agentes ambientales forma parte del marco de referencia en que la ingeniería debe desenvolverse y, tomando en cuenta que la infraestructura debe estar al servicio del transporte, la tendencia creciente del peso y número de los vehículos debe considerarse también componente obligada del citado marco de referencia. Por otra razón, las entidades responsables de la operación de las redes de carreteras y ferrocarriles deben considerar la conservación de los puentes como parte obligada de su quehacer a fin de mantener los niveles adecuados de seguridad y servicio de las estructuras.

CAUSAS DE DETERIORO

■ Mala fabricación

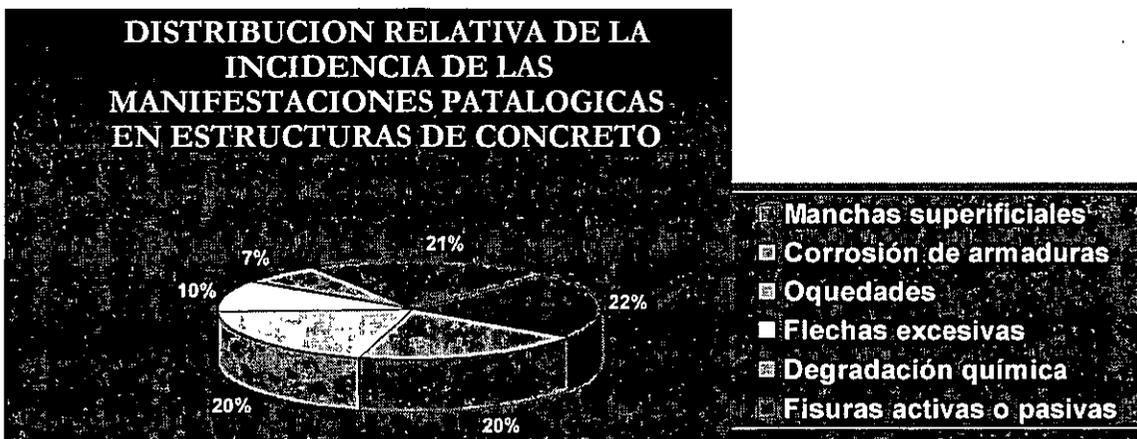


• Agentes naturales



Desafortunadamente, existe un considerable rezago en la conservación de los puentes que se traduce en un deterioro creciente de su estado físico. Entre las razones que explican, pero no justifican ese rezago, pueden señalarse las siguientes:

- Escasez de recursos. La crisis económica en que se vio inmerso nuestro país, a principios de la década de los ochenta, motivó un considerable descenso del gasto público y una desafortunada minimización de recursos disponibles para la conservación: Por el contrario, la crisis económica debió haber sido motivo para conservar con mayor esmero la infraestructura existente ya que, de destruirse, sería imposible restituirla por la escasez de recursos.
- Preferencia a la estructura térrea. Los limitados recursos asignados a la conservación de la red se han canalizado en el pasado fundamentalmente a la atención de la estructura térrea (terracerías y pavimentos), debido a que los materiales que la conforman son más vulnerables que los predominantes en los puentes, lo que motiva daños más extensos y más frecuentes. Los materiales de los puentes son ciertamente más durables, pero no son eternos y su falta de conservación puede destruirlos, ocasionando pérdidas económicas más cuantiosas o interrupciones más prolongadas del tránsito.
- Impopularidad de la conservación. El crecimiento demográfico, el acceso de grupos cada vez mayores a mejores niveles de vida y la urbanización creciente general una gran demanda de diversas obras nuevas de infraestructura, ante las cuales la conservación de las obras existentes resulta una tarea poco atractiva para la sociedad y sus dirigentes y queda, por lo tanto, en desventaja en la competencia por la asignación de recursos.
- Carencia de cultura de conservación. En una sociedad subdesarrollada existe poca conciencia sobre la necesidad de conservar las obras, tanto públicas como privadas. Puede decirse que un índice del desarrollo de una nación podría obtenerse en función de la proporción de recursos asignados a la conservación respecto al gasto total en construcción.



Aún cuando por su longitud, los puentes representan una porción pequeña de la red, constituyen eslabones vitales que garantizan la continuidad del funcionamiento de toda la red. Su colapso ocasiona, frecuentemente, pérdidas de vidas y cuantiosas pérdidas económicas, tanto por la obra destruida como por la interrupción o demora de la operación. Su reconstrucción plantea, a menudo, complejos problemas de ingeniería. Constituyen, además obras que cautivan la atención del público, por lo que su falla

ocasiona la pérdida de credibilidad o de prestigio de las entidades a cargo de ellos. Por estas razones, conservarlos es una necesidad esencial.

Debemos dar mantenimiento a nuestros puentes, lo cual se logrará con oportunas inspecciones que nos permita prever:

- * Deterioros difíciles o costosos de reparar
- * Posibles colapsos
- * Pérdidas de vida
- * Cuantiosos daños económicos



SITUACIÓN DE LA CONSERVACIÓN DE PUENTES EN MÉXICO

En los 48,362 km de la red federal de carreteras (año 2006), existen aproximadamente, 7,000 puentes con una longitud del orden de 300 km, que presentan una inversión superior a los 12 billones de pesos. De acuerdo con los resultados de 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. Lo que conduce a definir un presupuesto anual de 240 mil millones de pesos como el mínimo necesario para la conservación de esas obras. Desafortunadamente, por muchos años, por las razones apuntadas, los presupuestos asignados fueron nulos o mucho menos a la cifra señalada, lo que ha propiciado una grave acumulación del deterioro. En una evaluación reciente de los puentes de la red federal, se estimó que, aproximadamente en 4,200 de ellos, el 60% del total, se requerían acciones importantes de rehabilitación. Obviamente, los presupuestos anuales que para estas acciones se requieren, al incluir tareas de reparación y reforzamiento, son mucho mayores que la cifra arriba señalada que se refiere únicamente a acciones preventivas y no correctivas.

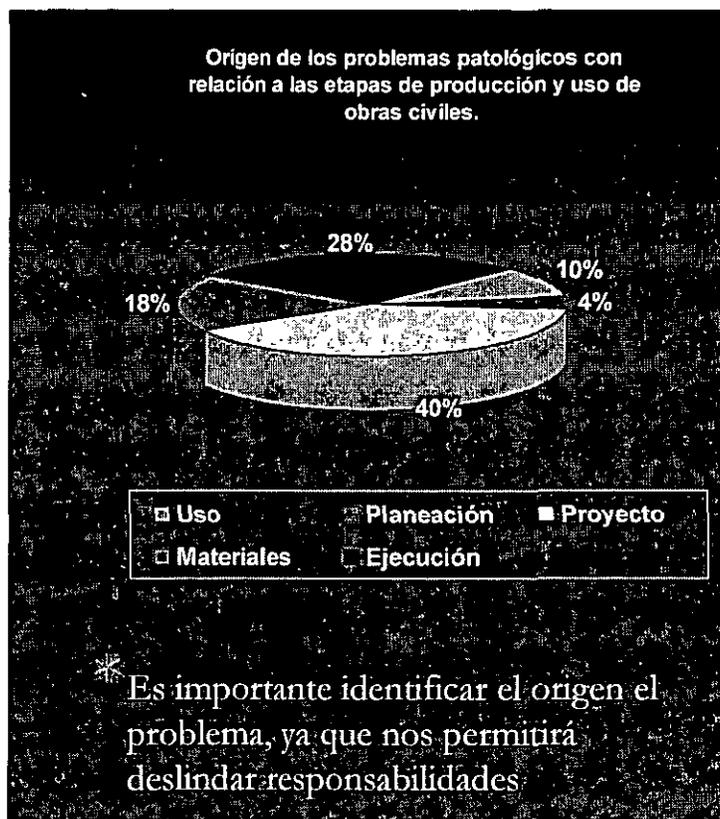
Es oportuno mencionar que el problema planteado no es exclusivo de México, sino que exista en numerosos países y con mayor agudeza en los países más desarrollados que tienen infraestructuras viales más extensas y más antigua. En los Estados Unidos, por ejemplo, existen en la red federal de carreteras 574,000 puentes, de los cuales 200,000 deben reemplazarse o reforzarse por obsolescencia funcional o por insuficiencia estructural, a un costo de 50,000 millones de dólares US, que se invertirán en un lapso de 20 años.

Adicionalmente, en Francia, los 6,700 puentes de la red principal de carreteras requieren una inversión anual de 40 millones de dólares US durante 20 años: De esta inversión, un

tercio se destinará a acciones preventivas de mantenimiento y dos tercios a la rehabilitación o reemplazo del 25% de esas obras.

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, es sólo hasta 1982 cuando se inician 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 mayor parte se aplicaban a la reconstrucción de 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 levanta 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 Obra Pública por el control de las estructuras viales a su cargo. Posteriormente, se establecen Residencias de Conservación de Puentes en la mayor parte de los estados y se llevan a cabo numerosas obras de reparación y modernización de puentes, con inversiones crecientes a precios reales año con año. Similares esfuerzos han sido realizados en la última década por el organismo Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos, por el Departamento del Distrito Federal y por la empresa de 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 debidos, tanto a sobrecargas excesivas como a mal estado físico de las obras.

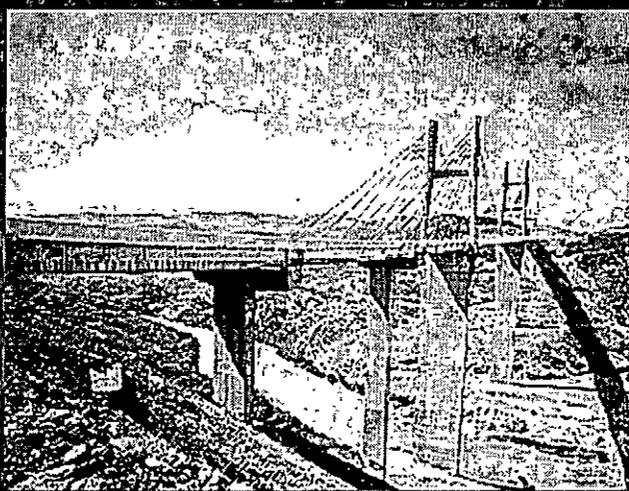


Por lo expuesto, resulta evidente que la conservación de los puentes presenta ahora un avance considerable respecto a la situación que se tenía hace quince años. Sin embargo, para consolidar los esfuerzos realizados y orientar adecuadamente las tareas futuras, se

estima conveniente que cada una de estas dependencias implante y mejore 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, porque las entidades que los administran, quizás fundamentalmente por la carencia de recursos, no han realizado todavía acciones sustantivas para su conservación y rehabilitación. 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. 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 añaden una condición original defectuosa por haber sido diseñados y construidos con graves carencias de tecnología.

■ Vida útil.- Es el período en que la estructura conserva los requisitos del proyecto sobre seguridad, funcionalidad y estética, sin costos inesperados de mantenimiento y su deterioro no alcance un cierto valor límite, que puede ser diferente para cada elemento estructural.



187

Para todas estas obras, es urgente implantar programas de conservación similares a los emprendidos por las entidades mayores mencionadas arriba 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 Gobierno del Estado, para que éste proporcione el necesario apoyo técnico y económico.

PATOLOGÍA.

Es la parte de la ingeniería que estudia los síntomas, los mecanismos, las causas y los orígenes de los defectos de las obras civiles, o sea es el estudio de las partes que componen el diagnóstico del problema.

CAUSAS Y DIAGNOSTICOS

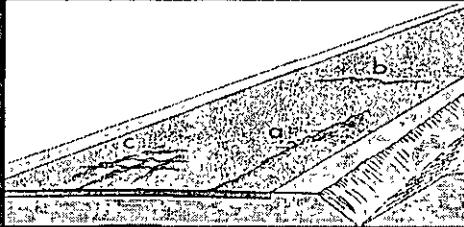
- Para poner remedio al defecto de un puente se debe asignar una causa. Sólo puede resolverse el problema con éxito si se conoce la causa.
- Un buen diagnóstico será aquel que tome en cuenta las consecuencias del problema.
- Las consideraciones se dividen en dos tipos.
 - 1.- Las que afectan las condiciones de seguridad de la estructura (asociadas al estado límite último)
 - 2.- Las denominadas condiciones de servicio y funcionamiento de la estructura (asociadas a los estados límites de utilización)

Ante manifestaciones patológicas se observa en general una actitud inconsecuente, que conduce en unos casos a simples reparaciones superficiales, y en otros a demoliciones y refuerzos injustificados. Ninguno de los dos extremos es recomendable, principalmente con la existencia hoy en día de conocimiento tecnológico y gran cantidad de técnicas y productos desarrollados específicamente para solucionar problemas patológicos.

PROCEDIMIENTOS Y REPORTES DE INSPECCION

Accesos

- Las condiciones del pavimento en los accesos deberán verificarse en cuanto a irregularidades y rugosidades.



Grietas

Debido a material de baja calidad,
espesor insuficiente, pavimento
envejecido

196

PROCEDIMIENTOS Y REPORTES DE INSPECCION

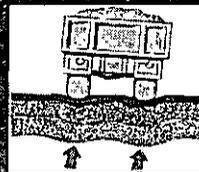
Rodera y Depresiones

Causas principales.-

- Cimentación o resistencia del pavimento insuficiente, para el tráfico que circula.
- Estabilidad inadecuada de los materiales bituminosos

Solución:

- Relleno de la rodera
- Restauración local del pavimento



197

Degradación del borde del pavimento.

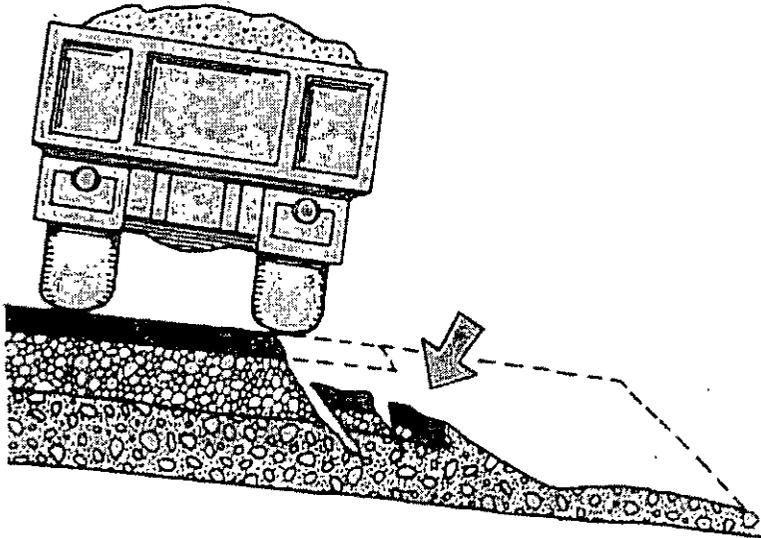
Causas Principales:

Desgaste

Acción del agua

Compactación insuficiente

Calzada estrecha



Solución:

Restauración local de la estructura del pavimento.

Baches

Causas principales:

- Baja calidad de materiales
- Infiltración de agua
- Disgregación del material bajo la acción del tráfico
- Estado siguiente al desarrollo de grietas

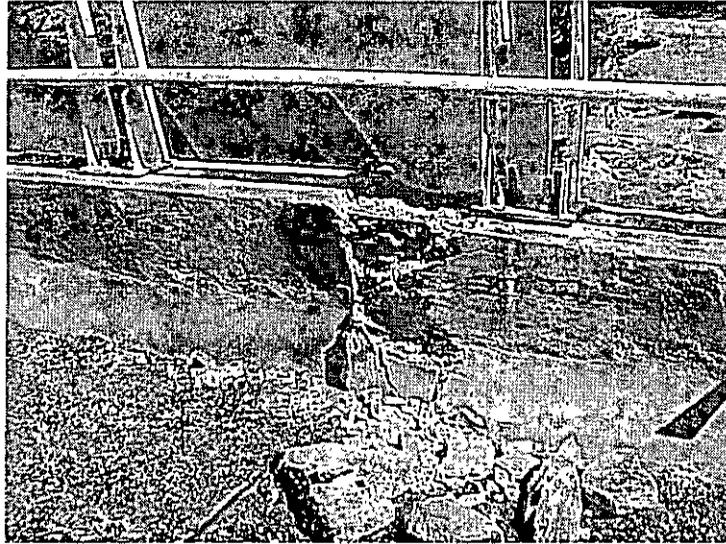


Solución:

Restauración local de la estructura del pavimento.



Es importante conocer las condiciones de acotamientos, pendientes, drenaje y barreras de acceso



Deberá verificarse la capacidad hidráulica bajo la estructura considerando la cantidad de material de acarreo en época de avenidas.



- Para que una alcantarilla o puente funcione correctamente es necesario que tenga libre toda su sección hueca en toda la longitud.
- Así como las zonas de las bocas de entrada y de salida



AREAS OBTURADAS EN ALCANTARILLAS

DIFERENTES TIPOS DE DAÑOS TÍPICOS QUE SE PRESENTAN Y SUS CAUSAS



DAÑOS RELACIONADOS CON EL TERRENO

- ACCION SISMICA

- **DESLIZAMIENTO DEL TERRENO**
- **HUNDIMIENTOS**

DAÑOS RELACIONADOS CON EL AGUA

- **EROSION POR AVENIDAS**
- **IMPACTOS POR MAREAS**

DAÑOS POR CARGAS EXTERNAS

- **IMPACTO DE TRANSPORTES MARITIMOS**
- **VIENTO**
- **IMPACTO VEHICULAR**
- **TEMPERATURA**
- **TALUDES**
- **HIELO**

DETERIOROS POR EL MEDIO AMBIENTE

- **SUBESTRUCTURAS DE CONCRETO**
- **CORROSIÓN EN EL ACERO**
- **ATAQUE A LA MADERA**
- **DEGRADACIÓN DE CANTERA**

REHABILITACIÓN DE PUENTES

Antes de pensar en una reparación es **muy importante conocer el ó los orígenes de los problemas**, analizarlos, conocer los márgenes de incertidumbre; entonces se podrá proponer un proyecto adecuado.

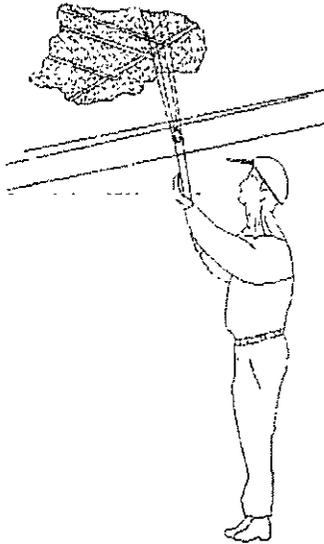
No es lo mismo una fisura que se haya generado por retracción durante el fraguado, por falta de acero superficial, por una junta de colado inadecuado, que por falta de capacidad a flexión, a cortante o a torsión; para cada caso la solución será diferente. Esta es una razón por la cuál estimamos que es importante hacer reparaciones en base a proyectos específicos para cada obra.

Técnicas que se emplean en reparación.

Explicaremos brevemente las características, de las principales técnicas que se emplean:

A) Concreto Lanzado

Consiste en la colocación de una capa adicional de concreto, con el fin de alojar y/o proteger un refuerzo adicional o para aumentar un recubrimiento escaso o en mal estado.



Se emplean por ejemplo, para agregar un refuerzo por la parte inferior de una losa de puente.

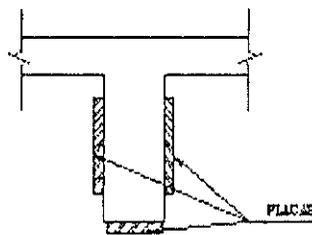
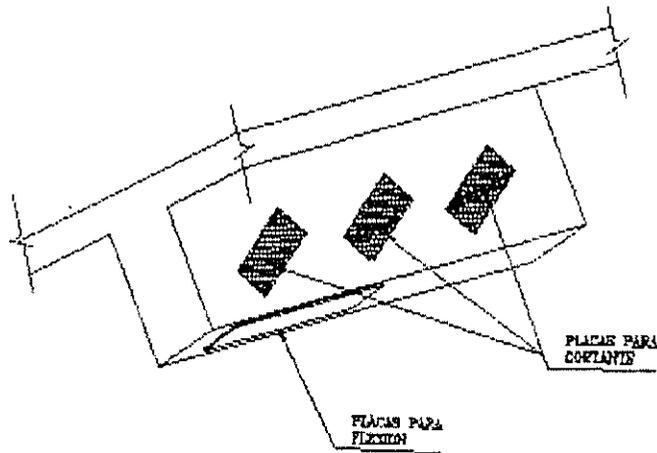
También se emplean para proteger una estructura, por ejemplo cuando se detecta que el recubrimiento del refuerzo fue escaso, o quedó poroso.

El problema que tiene éste sistema es que aumenta el peso y hay que revisar todos los elementos estructurales por éste incremento.

B) Placa de Acero pegadas:

Consiste en el pegado de placas de acero a estructuras de concreto, reforzando localmente las partes que así lo requieren.

Se han desarrollado métodos de cálculo y técnicas para su colocación en obra, éste sistema puede ser interesante cuando la superficie a adherir no es muy grande.



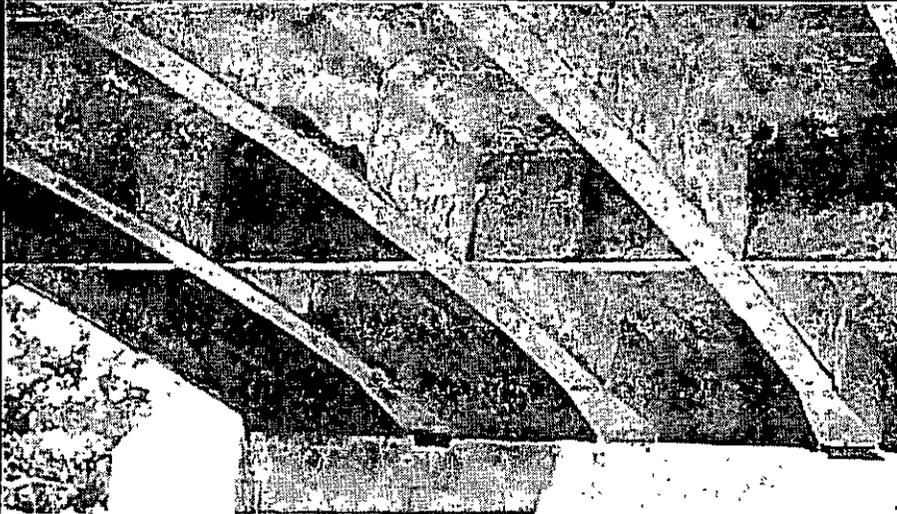
En general hay que destacar que:

- a) El acero que se agrega es en forma de placas y es de grado estructural, por lo que su capacidad es limitada.
- b) Como pegamento se emplea resina epóxica, el manejo de ésta es delicado, además se requiere que el espesor del pegamento sea uniforme.

Para esto último es necesario por un lado, seleccionar la placa o cepillarla y por otro lado, al pegarla se necesita manejar ciertos soportes, o bastidores para darle una presión uniforme, con el fin de lograr un espesor constante.

- c) El sistema está limitado a la capacidad que tiene el pegamento a transmitir fuerza entre el concreto y la placa, o a la resistencia del concreto, por lo que esto moviliza la capacidad que tiene el mencionado concreto para transmitir fuerza de cizallamiento; algunas veces el concreto es deficiente y su resistencia es un valor reducido.

Adherencia de placas



C) Telas de Fibras de Carbono: TFC

Es un tejido en una o dos direcciones, de trama abierta, de hilos hechos por monofilamentos de fibras de carbón: Este procedimiento ya ha sido desarrollado en Japón y patentado bajo el nombre Torayca, se ha comercializado en Europa y Estados Unidos desde hace 2 años, actualmente esta disponible en México.

El principio técnico para la reparación con éste conceptualmente es el mismo que con las placas de acero pegadas, la única diferencia es que en éste caso el material es una armadura de Fibras de Carbono.

Las características de este material es:

- Densidad igual a la $\frac{1}{4}$ parte del acero (más liviano)
- Gran resistencia y alto módulo de elasticidad en tracción (nueve veces y parecida al acero respectivamente).
- Gran resistencia a la fatiga y a la deformación.
- Resistencia al desgaste y a las vibraciones.
- Estabilidad dimensional, térmica y corrosión nula.
- Buena conductividad térmica y eléctrica.

Se fabrican en telas de 7.5, 15, 20 y 30 cm. De ancho y en bobinas de 50 mts. de longitud.

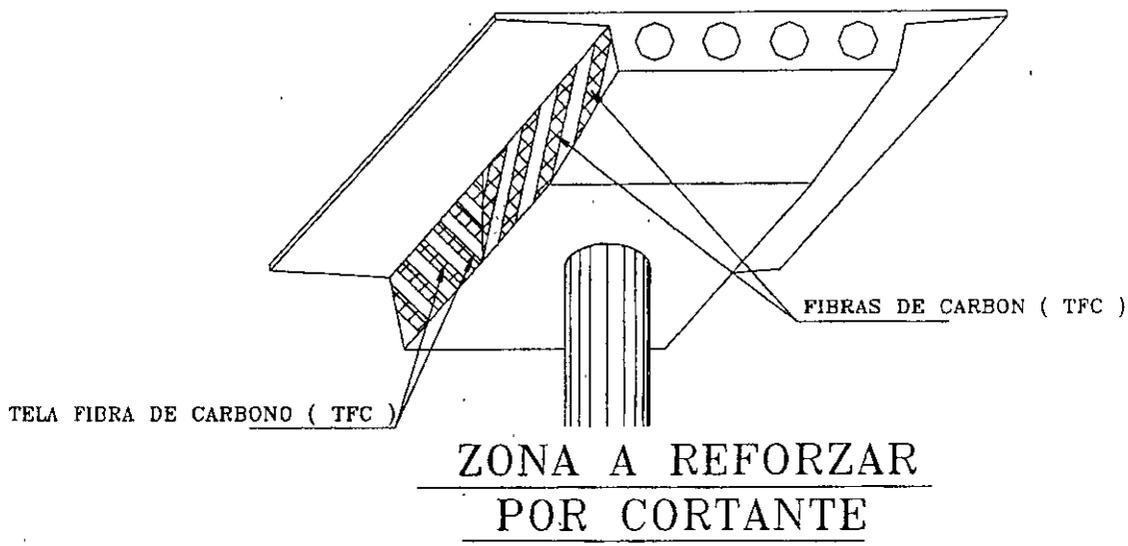
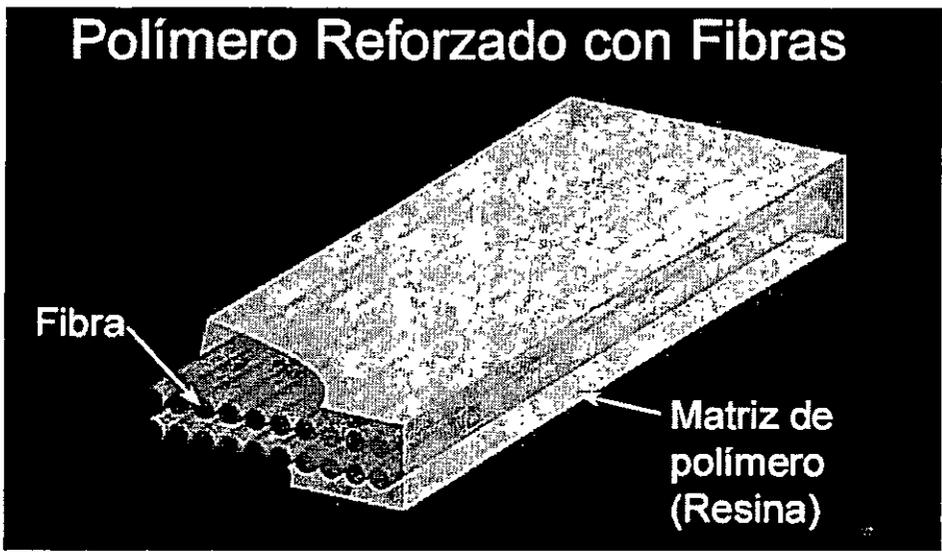
Se pega con resina epóxica, previa preparación de la superficie. Encima de ella se coloca en capa de resina para saturar el tejido y se termina con una capa de acabado.

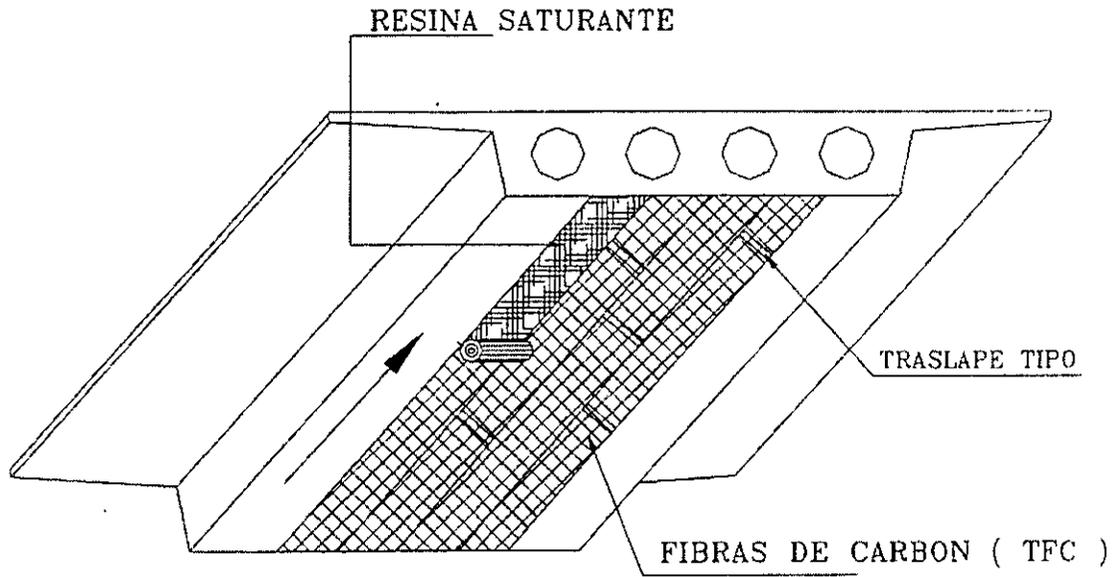
Por ser una tela, ésta se acomoda a las vibraciones de las superficies y también da vuelta en las diferentes aristas de los elementos a aplicar.

Las telas con dos direcciones tienen una orientación, el 70% de las fibras están dispuestas en el sentido longitudinal y 30% de las fibras están dispuestas en el sentido transversal, por lo que orientación debe ser estudiada y definida desde el proyecto.

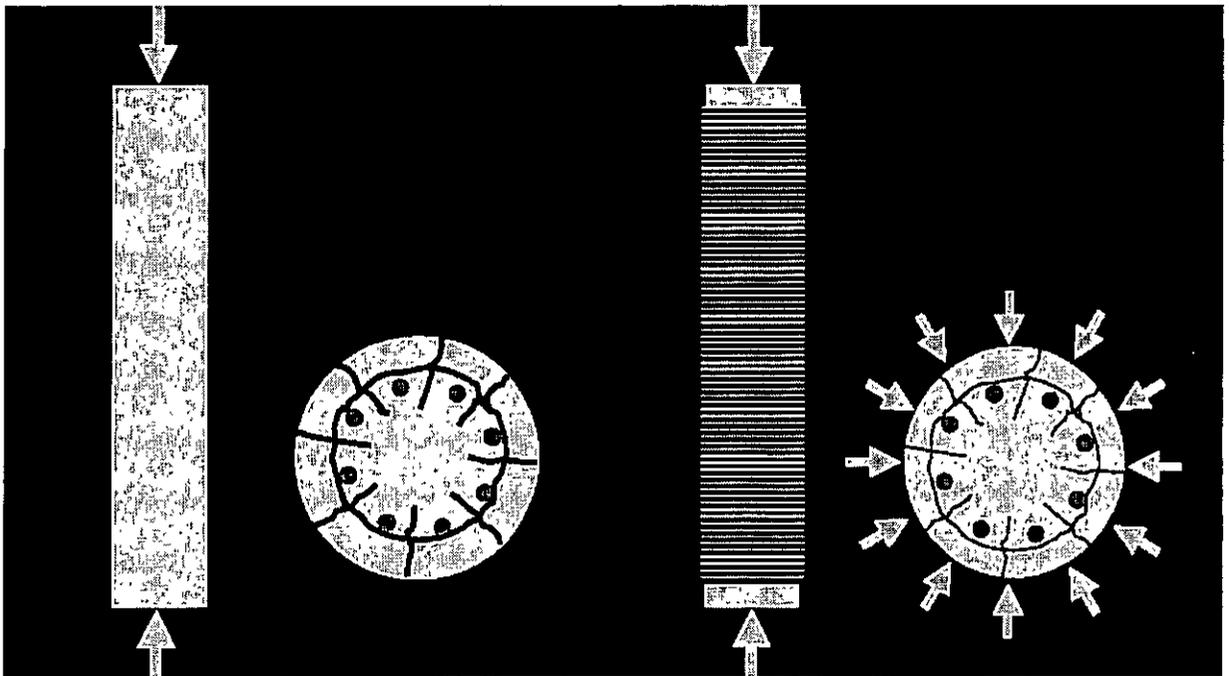
En caso de necesidad, en una sección se pueden superponer varias capas de TFC.

Este material puede tener un gran futuro en el terreno de las reparaciones, ya que le lleva gran ventaja al acero, por lo menos en cuanto a su capacidad y no presentar los problemas de corrosión y mantenimiento; en donde lo supera ampliamente es en cuanto a la facilidad de la colocación por el poco peso y por el fácil acomodo a las superficies.





ZONA A REFORZAR
POR FLEXION



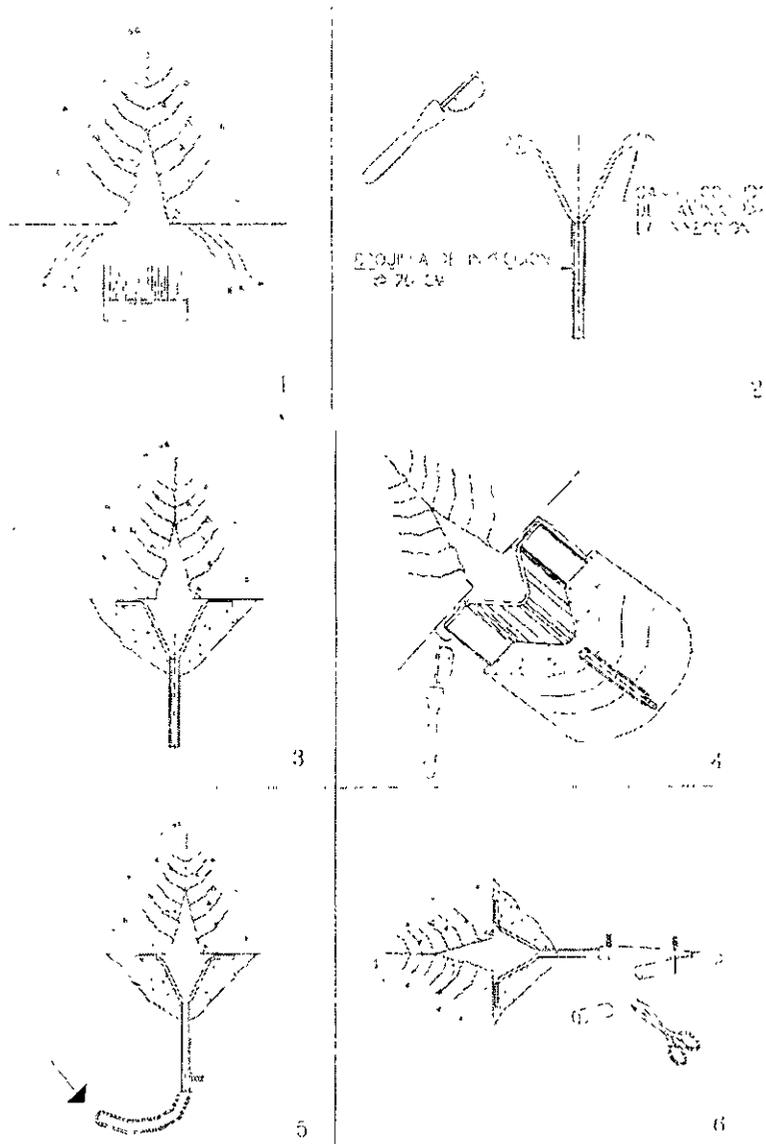
REFORZAMIENTO CON FIBRAS EN COLUMNAS

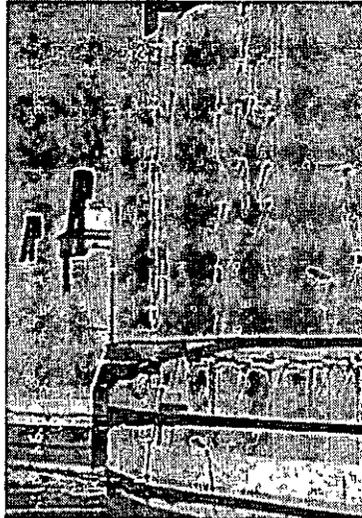
D) Inyección de fisuras con resinas epóxicas:

La finalidad de éste sistema es rellenar una fisura con resina, sin embargo, si subsisten las acciones que dieron origen a las fisuras, éstas se volverán a producir ahí mismo o a un lado. Por lo que aparte de inyectar una fisura, se debe resolver el problema de escasa resistencia con refuerzo o presfuerzo adicional.

Las fisuras se pueden inyectar cuando son mayores a 0.2 ó 0.3 mm., por debajo de ésta cantidad lo que se hace es pintar la superficie con una pintura epóxica, con un cierto grado de elasticidad, para que no penetre la humedad.

Las fisuras a inyectar se tapan previamente con un sello exterior, dejando un canal de inyección, el cuál tiene una o viarias boquillas por las que se introduce la resina. De acuerdo al espesor de las grietas se debe especificar la fluidez de la resina.





INYECCIÓN DE GRIETAS EN TANQUES DE CONCRETO

E) Preesfuerzo exterior

Consiste en la adición de cables exteriores que proporcionan una fuerza que se opone a las cargas exteriores.

En general, suelen haber los siguientes tipos de cables.

- Cables longitudinales, de nervaduras
- Cables transversales de diafragmas
- Cables verticales como estribos adicionales
- Barras para reforzamiento local, como es el caso de ménsulas

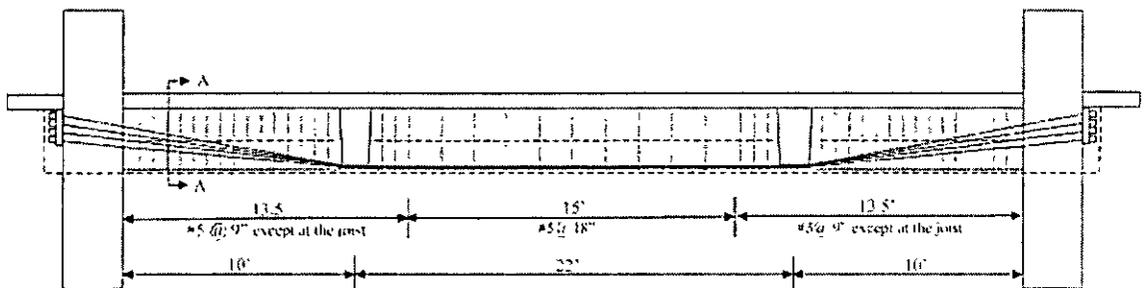
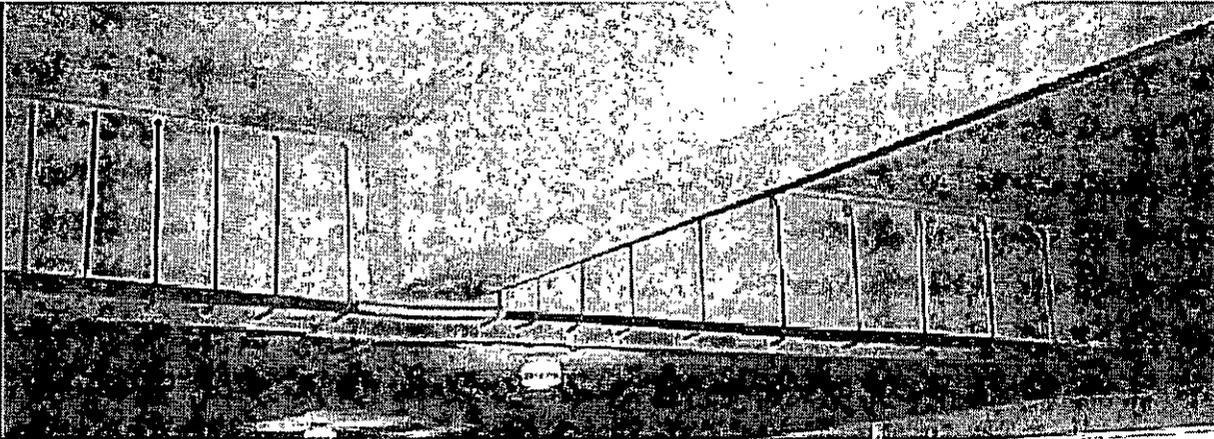
Para transmitir éste presfuerzo a las estructuras, se manejan bloques donde se alojan los anclajes y otros bloques desviadores en donde se hacen los cambios de dirección. Estos se fijan a las nervaduras perforándolas y pasando barras de preesfuerzo.

Como ejemplo podemos ver:



El método de reparación con preesfuerzo exterior, tiene una gran ventaja en que prácticamente no se agregan pesos adicionales significativos y por lo tanto, no es

necesario reforzar ni la subestructura, ni aumentar las cimentaciones, solo que tengan algún otro problema y por otro lado, es el único sistema "activo", frente a las cargas, de reparación.



PREESFUERZO LONGITUDINAL

Refuerzo con preesfuerzo exterior

Determinación del preesfuerzo necesario

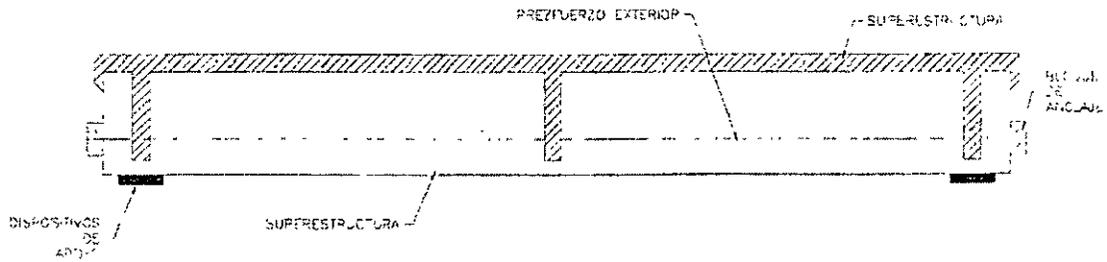
Una de las primera hipótesis es suponer que la estructura es autoportable es decir el refuerzo existente es capaz por lo menos de soportar la carga muerta, entonces el preesfuerzo tomará únicamente los efectos debidos a la carga viva. Solo en casos excepcionales donde los daños del puente indiquen que se requiere refuerzo para tomar los efectos de la carga muerta, entonces será necesario considerar efectos de cara viva y carga muerta.

Trayectoria de los cables

Hay dos posibilidades para el trazo de los cables

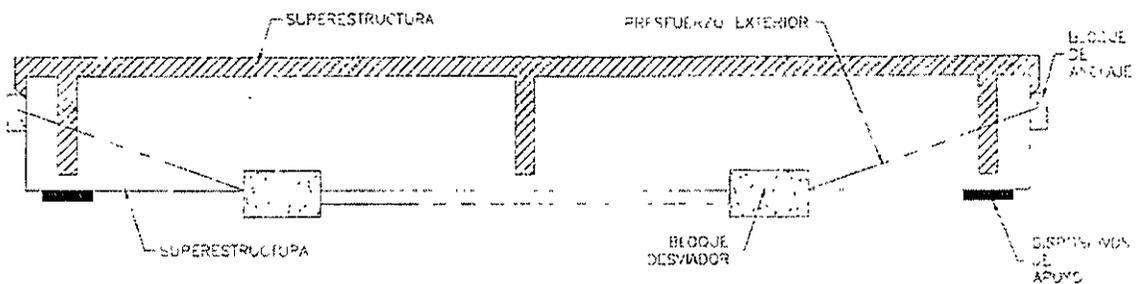
Trazo recto

Un trazo de cable rectilíneo, que ofrece ventajas de simplicidad y no introduce perdidas por curvatura pero su eficiencia es baja, sobre todo en taberos de peralte constante, incluso en puentes continuos donde cualquier variación del trazo es prácticamente anulado por los momentos hiperestáticos del preesfuerzo.



Trazo poligonal

El rendimiento es mayor y además se aprovecha la componente vertical en la zona donde el cable se inclina como refuerzo por cortante. El inconveniente es que se pierde parte de la fuerza por el rozamiento en los desviadores, aunque esta pérdida es muy pequeña.



En general no hay regla para elegir entre una u otra solución, se debe tratar específicamente cada caso.

Instalación del preesfuerzo adicional

Una vez definidos el valor y el trazo del preesfuerzo, el problema se reduce a como instalarlo, teniendo en cuenta que la obra no fue concebida para admitir cables adicionales.

Anclaje

El problema más difícil es el anclaje de los cables

Una primera opción es construir en los extremos del tablero diafragmas de gran peralte apoyados sobre las vigas existentes y destinados a recibir los anclajes de los cables, así se logra repartir el esfuerzo adicional en la estructura, pero la realización de los trabajos exige interrumpir la circulación, lo que puede constituir una molestia poco tolerable.

La segunda opción es colocar un bloque de anclaje intermedio lo suficientemente rígido para alojar a los anclajes.

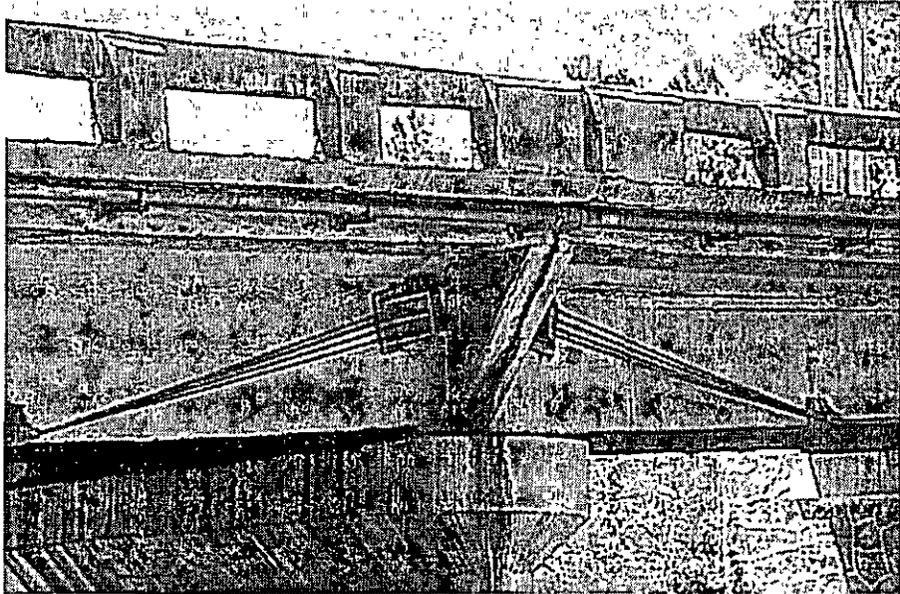
El bloque se fija a la estructura mediante preesfuerzo transversal con una fuerza de sujeción que depende del plano de fricción entre el bloque y la estructura. El caso más común en estructuras de concreto es tener una relación entre la fuerza de anclaje y la fuerza longitudinal de 2 o más.

Cuando se adopta esta solución no es raro tener elementos muy cortos (del orden de un metro) por lo que la fuerza de sujeción del bloque puede disminuir hasta el 100% si no se toman ciertas precauciones, por lo que es aconsejable utilizar barras de preesfuerzo con rosca fina. En ocasiones se tendrá que tensar dos o tres veces las barras para obtener la fuerza deseada.

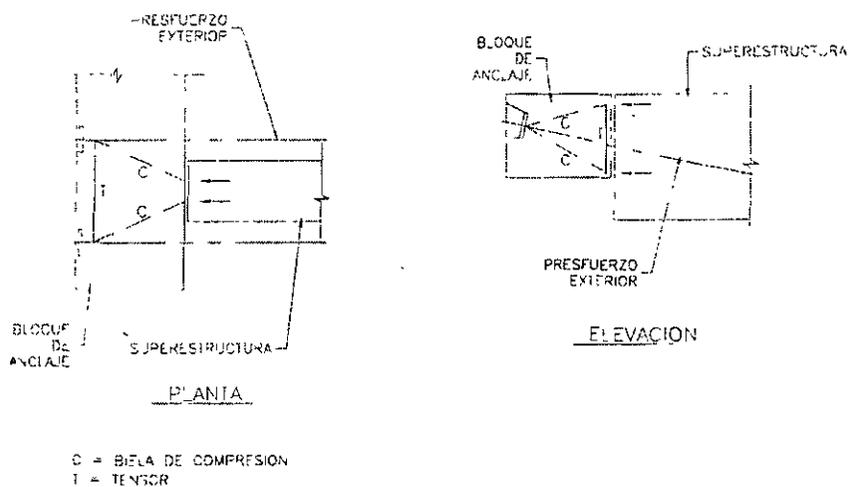
Cuando solo se coloca bloque de anclaje de un solo lado los efectos locales inducidos son importantes y deberán ser revisados, en especial la flexión local.

Una tercera opción es colocar los bloques de anclaje sobre los diafragmas existentes, para lo cuál será necesario hacer los orificios para dar paso a los cables y verificar que el diafragma tenga la suficiente capacidad y que la unión con el tablero sea buena, de no ser así, puede recurrirse al refuerzo mediante preesfuerzo transversal.

Para el cálculo de los bloques de anclaje se debe considerar que es una pieza sometida a fuerzas concentradas y que la resistencia de materiales no es aplicable, una forma de revisar el bloque es hacer un modelo de elementos finitos o bien utilizar el método de las puntas y los tensores.



ANCLAJES EN EXTREMOS DE LOS CLAROS DEL PUENTE



Por otra parte, hay que revisar el aplastamiento, bajo las cargas concentradas, efectos de estallamiento y verificar que se cumplan con los requisitos mínimos de refuerzo que especifican los reglamentos.

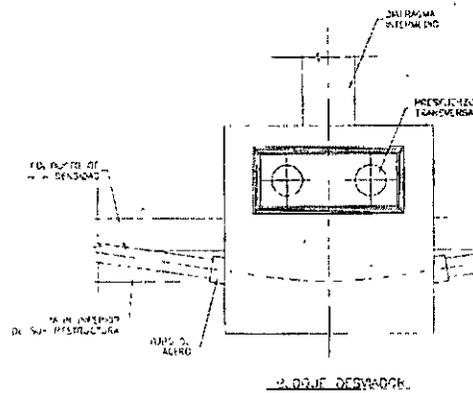
Desviadores

En los desviadores, las fuerzas son mucho menores que en los bloques de anclaje y por tanto las dificultades técnicas también lo son:

Un detalle importante consiste en colocar un tubo metálico rígido con la curvatura deseada que permita el paso del cable y su canalización a través del desviador, asegurando el correcto reparto de presiones de contacto.

Para los desviadores se tienen generalmente dos opciones; la primera, colocar el bloque de concepto que contenga el tubo metálico, sujeto a la estructura mediante presfuerzo transversal.

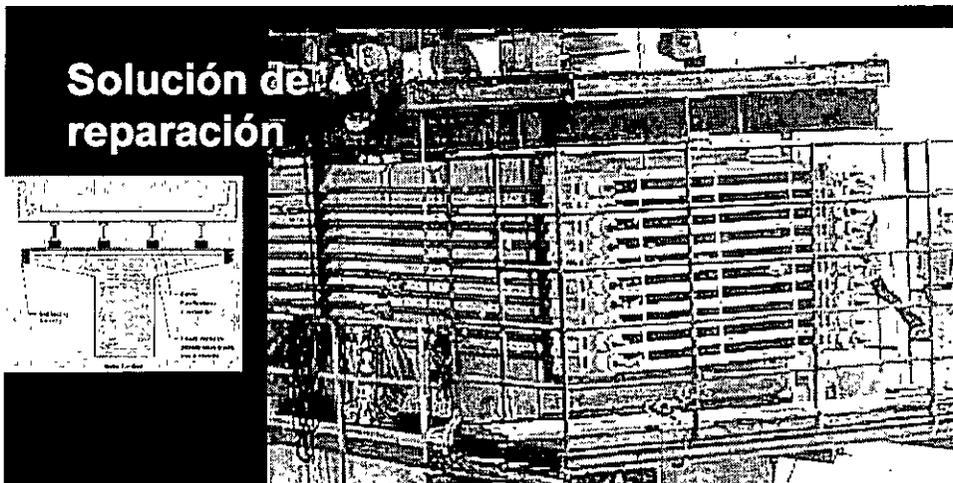
La segunda opción es colocar los desviadores en los diafragmas existentes, esta solución es más sencilla sin embargo obliga a que el trazo del cable sea tal que los desvíos se realicen en los diafragmas existentes.



Finalmente, es conveniente mencionar que debido a que los cables son exteriores, es necesario protegerlos para lo cual se utilizan las siguientes soluciones.

- 1) Cables galvanizados desnudos
- 2) Cables en vainas de PHD e inyectadas
- 3) Monotoron engrasado y protegido con vaina de PHD.

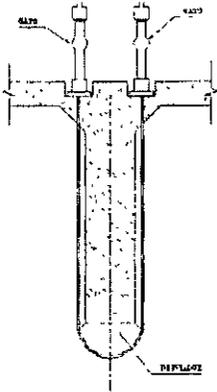
Esta última opción es bastante interesante, ya que da la posibilidad de tensar los torones uno a uno con un gato ligero, las pequeñas pérdidas por fricción son otra ventaja de este sistema.



Presfuerzo Vertical

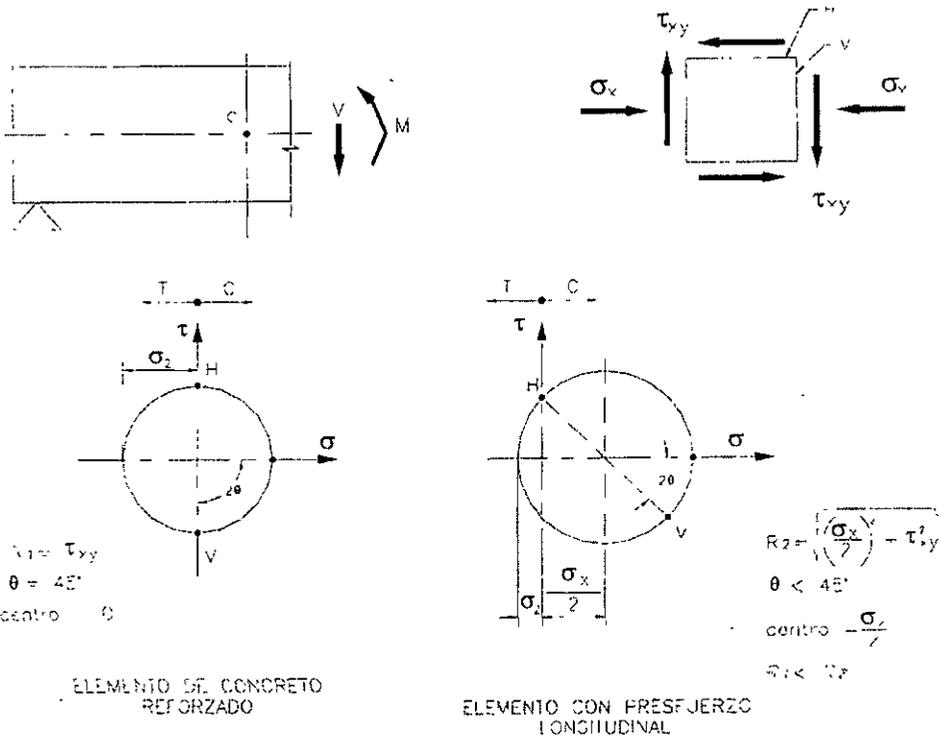
Hasta el momento, hemos tratado solamente el problema de diferencias en el esfuerzo longitudinal, por flexión, sin embargo en muchas ocasiones una diferencia en flexión viene acompañada por una de cortante.

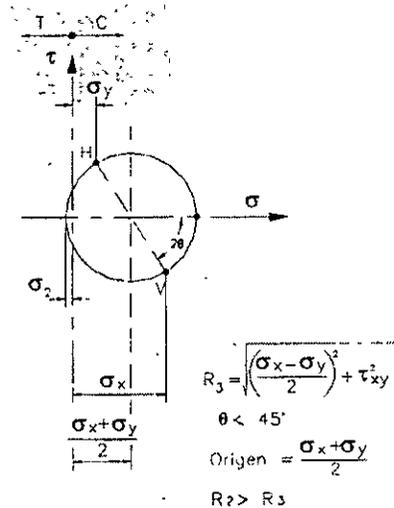
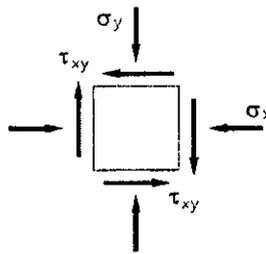
Una solución para cubrir deficiencias por cortante es tener el trazo del cable longitudinal con cambios de dirección y aprovechar la componente vertical del preesfuerzo como refuerzo por cortante, sin embargo este componente no siempre es suficiente para tomar los efectos de cortante, la solución a esto es colocar refuerzo vertical mediante torones.



Una manera sencilla y clara de observar los beneficios del preesfuerzo en las estructuras de concreto, es mediante el círculo de Morh.

La acción del preesfuerzo longitudinal desplaza el círculo de Morh existente en concreto reforzado (círculo de cortante cuyo centro se localiza en el origen para una sección localizada en el centro de gravedad) hacia la zona de esfuerzos en compresión, lo cual disminuye el esfuerzo principal de tensión y además el ángulo de agrietamiento disminuye, lo cual permite reducir la cantidad de acero vertical por unidad de longitud.





ELEMENTO CON PREESFUERZO
VERTICAL Y LONGITUDINAL

Con la acción del preesfuerzo vertical, en el círculo de Mohr se reduce el radio y por lo tanto, el esfuerzo principal de tensión disminuye.

Dimensionamiento

En la determinación del preesfuerzo vertical es común utilizar el criterio de restringir el esfuerzo principal de tensión a un valor menor de la capacidad en tensión del concreto, por otra parte es recomendable comprimir uniformemente el alma de la trabe.

Aspectos tecnológicos

- a) El desviador del estribo vertical debe respetar los radios mínimos ($R_{min} > 20\phi$) del cable utilizado, el cuál es generalmente un torón de 0.5" o 0.6"
- b) Para la protección del cable se suele usar un ducto de polietileno de alta densidad (PHD) e inyectar con lechada de cemento después de tensado.
- c) Tensado, como el cable es muy corto es necesario:
 - Tensar simultáneamente por ambos extremos
 - Emplear un anclaje especial con recuperación de la entrada de cuña
- d) Caja de anclaje

Es necesario realizar una caja en la losa superior para que el anclaje no sea colocado sobre la losa, lo cuál debilita la sección ante los efectos de penetración y aplastamiento.

Puentes de concreto presforzado.

En este tipo de puentes el problema se complica, debido principalmente a que la estructura está sometida a esfuerzos adicionales generados por preesfuerzo existente.

Si el problema a resolver es el incremento de la capacidad de carga, la solución se limitará a evaluar la cantidad de preesfuerzo adicional requerida y definir el trazo del cable. Sin embargo, si se requiere restituir o sustituir cables que han sido afectados por corrosión es necesario hacer las siguientes consideraciones:

Primero, tener en cuenta que la corrosión en el acero de preesfuerzo es sumamente grave, ya que, como es sabido la corrosión bajo tensión es un fenómeno que produce su rotura sin previo aviso, poniendo en peligro la estabilidad del puente.

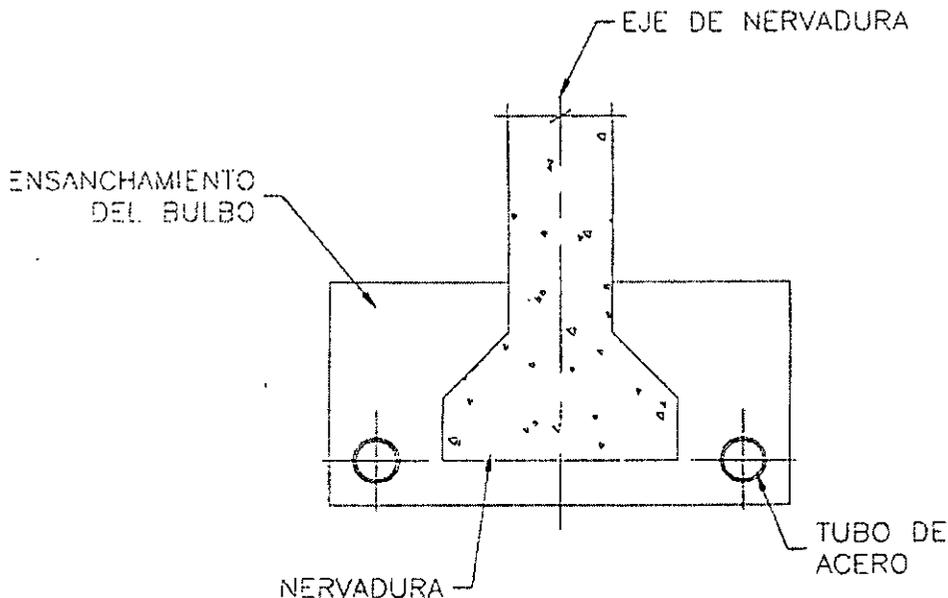
Y en segundo lugar, la incertidumbre que se tiene en el grado de corrosión y por tanto en la pérdida de preesfuerzo ya que aun cuando exista rotura de acero, la pérdida del preesfuerzo se limita a unos cuantos metros debido al efecto de la adherencia.

El colocar preesfuerzo adicional sin tomar ninguna precaución, sería nocivo para la estructura, debido principalmente a los elevados esfuerzos de compresión en el patín inferior que podrían causar aplastamientos.

Una solución sencilla, sería aumentar la sección del patín inferior de la viga, de tal forma que la nueva sección pueda resistir con confiabilidad la compresión causada por los cables adicionales.- El aumento del patín inferior se ha logrado con gran éxito mediante el método de concreto lanzado por vía seca, ya que la vía húmeda proporciona un concreto de menor calidad (menor resistencia, menor adherencia al soporte y mayor retracción).

El procedimiento de reparación, consta de dos etapas principales; el aumento del patín con concreto lanzado y la instalación del preesfuerzo exterior.- Para que el concreto lanzado tenga una mejor adherencia, las vigas deberán ser limpiadas por medio de un chorro de arena y sus grietas deben ser selladas con lechada de cemento, el refuerzo del concreto lanzado se fijará a las traveses mediante anclajes superficiales.

Siempre que sea posible y especialmente cuando no sea un inconveniente, se suspenderá el tráfico y se cargará el puente de manera tal de que el esfuerzo normal en la fibra inferior de las vigas sea cercano a cero.-Esta precaución hará más homogénea la repartición de esfuerzos después de la reparación.



Revisión de las secciones

Las diferentes secciones se deben revisar con la acción del preesfuerzo exterior en cortante y en flexión para que este resista la diferencia de carga que excede a la capacidad de la trabe.

Los pasos a seguir son:

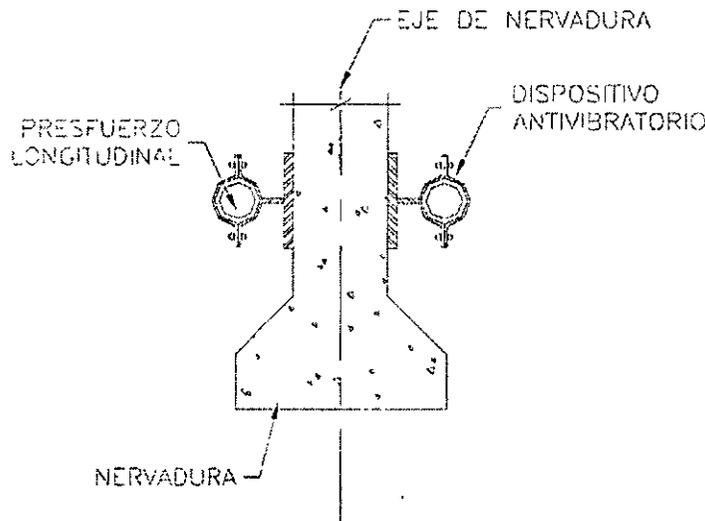
- 1) Cálculo de la capacidad de la trabe con el refuerzo existente

- 2) Cálculo de las solicitaciones, según las cargas muertas y vivas a considerar
- 3) La diferencia entre la sollicitación y la capacidad se debe tomar con el preesfuerzo exterior, verificando las secciones de acuerdo a la teoría elástica de esfuerzos, aunque para secciones de concreto reforzado lo mejor es revisar la sección a estados últimos.

Al revisar las traveses por factores de carga, no se debe perder la vista de que se trata de un elemento con preesfuerzo exterior y que por lo tanto la sobretensión en los cables de preesfuerzo solo se puede dar entre desviadores.*

Dispositivos antivibratorios

En el caso de cables exteriores existe el riesgo de que los cables entren en resonancia bajo el efecto de las vibraciones del tablero inducidas por la circulación (se tienen experiencias de rotura de torones debido a las vibraciones de los cables con una amplitud de centímetros) por lo tanto, se hace necesario aumentar la frecuencia propia de los cables reduciendo su longitud libre, a falta de cálculos más precisos, es recomendable no tener longitudes no soportadas mayores a 20



TÉCNICAS QUE SE EMPLEAN EN REPARACIÓN

CUADRO COMPARATIVO

SISTEMA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	MANTENIMIENTO	CAMPO DE APLICACIÓN
Concreto Lanzado	Protege adecuadamente	<ul style="list-style-type: none"> • aumen ta el peso de la estructura, hay que hacer una revisión integral. • En zona urbana, hay que proteger • pro teger abajo de los caídos • Es un sistema de refuerzo pasivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisió n periódica que no haya desprendimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Para falla o falta de recubrimiento • Aumenta r refuerzo en lecho inferior
Placas pegadas	Para estructura metálica ideal	<ul style="list-style-type: none"> • Para concreto hay que limpiar la superficie, rectificar las placas, usar bastidores al pegar para crear un espesor uniforme. • Vibraci ón de estructuras. • La calidad de la placa es acero estructural • Es un sistema de refuerzo pasivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Pequ eño mantenimiento. Hay que revisar la protección de las placas y que no haya desprendimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Pequ eñas reparaciones • Habit aci ón y oficinas

Tela de fibras de carbono	Fácil de instalar Poca preparación de las superficies No se intemperiza, Se aprovecha la orientación de las fibras para diferentes casos	• Sistema de refuerzo pasivo	• Revisión periódica	• Todo tipo de reparación
---------------------------	---	------------------------------	----------------------	---------------------------



TÉCNICAS QUE SE EMPLEAN EN REPARACIÓN

CUADRO COMPARATIVO

SISTEMA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	MANTENIMIENTO	CAMPO DE APLICACIÓN
Inyección de fisuras con resinas epóxicas	<ul style="list-style-type: none"> • Restablece la continuidad en la masa estructural, volviendo a tener un funcionamiento de acuerdo a la resistencia de materiales • Evita la entrada de humedad y evita problemas de corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> • Para casos de deficiencia estructural, requiere del empleo de un sistema adicional de reforzamiento para resolver el problema • Es un sistema de refuerzo pasivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión periódica 	<ul style="list-style-type: none"> • Para fisuración por retracción de fraguado • Para fisuración por falta de capacidad, se debe complementar la reparación.
Presfuerzo exterior	<ul style="list-style-type: none"> • Se pueden hacer cambios al funcionamiento estructural • Se pueden resolver los diferentes tipos de problema de falta de capacidad. • Se puede medir las fuerzas que se introducen. • El equipo de instalación es liviano. • Es un sistema de refuerzo activo 	<ul style="list-style-type: none"> • Hay que perforar la estructura a reparar • Afecta la estética de la obra, de interés en zona urbana 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión periódica. • Es fácil ya que su instalación es externa y se puede monitorear 	<ul style="list-style-type: none"> • Todo tipo de reparaciones. • Puede tomar la carga viva y parte de la carga muerta

INSPECCIÓN DE PUENTES

Antecedentes

Comúnmente se piensa que los puentes pueden durar eternamente con poco o ningún mantenimiento. Se sustenta esta idea en el hecho de que persistan puentes romanos de más de dos mil años de antigüedad; pero se olvida que sólo perdura una pequeña

fracción del total de esos puentes, ya que la mayoría han desaparecido, principalmente por efecto de la socavación. Se olvida también que los puentes romanos eran bóvedas formadas por dovelas de piedra unidas a compresión sin mortero entre sus juntas, por lo que sus materiales constitutivos por ser naturales sufrían efectos mínimos de deterioro ambiental, hasta los tiempos modernos en los que la contaminación de la atmósfera por los desechos industriales está produciendo la degradación de los puentes que subsisten.

Con el advenimiento de la revolución industrial surge el acero, material formado por hierro con una pequeña adición de carbono, que por sus características de resistencia y ductilidad permitió el desarrollo de la locomotora de vapor, del ferrocarril y de los grandes puentes requeridos por el nuevo medio de transporte. Posteriormente, surge el concreto reforzado en el que se combinan ventajosamente el concreto y el acero para dar lugar a un nuevo tipo de construcción.

El acero y el concreto son materiales artificiales que quedan sujetos desde su origen a un proceso degradante por el cual la naturaleza trata de revertir el procedimiento de su elaboración para transformarlos nuevamente en los componentes naturales utilizados para su formación. El acero, por efecto de la oxidación, se transforma en óxido de hierro que es un compuesto más estable.

El concreto, piedra artificial formada por agregados pétreos unidos con cemento y agua, por efecto de los cambios de temperatura, de la acción química de los agentes agresivos del entorno, de la erosión y de otros mecanismos, se agrieta, se desconcha y tiende en el largo plazo a convertirse otra vez en arena, grava y cemento separados.

El deterioro de las estructuras puede presentarse de una manera paulatina, según los mecanismos que se han mencionado anteriormente, pero también puede ocurrir de manera súbita por acciones eventuales como la socavación, el viento y el sismo.

Lo descrito hasta ahora es aplicable a todas las obras de ingeniería civil, pero los puentes se caracterizan además porque en ellos las cargas de servicio tienen un efecto más importante que en otros tipos de construcciones.

El transporte es uno de los factores más importantes de desarrollo de las naciones por lo que la dinámica del crecimiento económico motiva continuamente la aparición de vehículos cada vez más pesados, más veloces y más numerosos.

La larga duración de los puentes romanos se explica también porque desde la domesticación del caballo hasta la aparición de los primeros ferrocarriles a principios del siglo XIX, transcurrieron muchos siglos en los que el cambio en los medios de transporte fue mínimo y por lo tanto afectó muy poco a las obras de infraestructura.

En cambio, los puentes modernos se ven sujetos a daños crecientes por el incremento en peso y en frecuencia de las cargas rodantes. Por ejemplo, en México, una gran parte de los puentes de la red carretera fueron diseñados para camiones con un peso total aproximado de 15 toneladas, en tanto que actualmente los pesos máximos autorizados tienen un límite legal del orden de 75 toneladas. Esto explica la aparición de daños estructurales por el aumento de sollicitaciones mecánicas al aumentar la magnitud de las cargas rodantes; pero además esos daños se agravan por efecto de la fatiga estructural inducida por el aumento de la frecuencia de paso de las cargas pesadas. La fatiga estructural, se recuerda, es la disminución de la resistencia última de un elemento sujeto a cargas cíclicas; a mayor número de ciclos de carga generalmente es mayor la reducción. Los daños por este efecto se pueden comprender si se toma en cuenta que en los últimos 25 años en México el número de habitantes se ha duplicado, la longitud de la red carretera se ha cuadruplicado y el número de vehículos se ha multiplicado por 6. Pero los

vehículos tienen ahora mucho mayor movilidad, por lo que en algunos tramos los volúmenes de tránsito diario han aumentado hasta en diez veces.

Como las acciones agresivas de los agentes ambientales son inevitables y la demanda del transporte también lo es, se concluye que para mantener los niveles adecuados de servicio de las estructuras viales es indispensable que las Entidades responsables de su administración incluyan a la conservación de puentes como una parte obligada de su quehacer.

El problema de la conservación de los puentes se enmarca dentro de un problema más amplio que es el de la conservación de la infraestructura en general, el cual constituye uno de los retos más importantes que debe afrontar actualmente la ingeniería civil en todo el mundo.

Al término de la segunda guerra mundial, la necesidad de transformar la economía de guerra en una economía de paz en las naciones beligerantes, llevó a un auge en la construcción de todo tipo de infraestructuras.

Ese auge se extiende con altibajos hasta la crisis del petróleo de 1973, a partir del cual se abaten las tasas de crecimiento. En los 25 años transcurridos desde entonces ha ocurrido un envejecimiento de la infraestructura y actualmente existe la urgente necesidad de rehabilitar las obras para restituir las pérdidas de capacidad producidas por su deterioro y para adecuarlas a las nuevas circunstancias.

Por esta razón en la ingeniería civil se observa en las últimas décadas un cambio en la orientación de las investigaciones que la sustentan. Esta ingeniería surgió conjuntamente con la revolución industrial. En sus orígenes, cuando se construyeron los primeros grandes puentes modernos, la preocupación principal se orientaba hacia problemas de comportamiento estructural y resistencia. Aún cuando subsisten muchos problemas en este campo que deben seguirse investigando, la necesidad de canalizar cuantiosas inversiones para la rehabilitación de estructuras ha hecho que actualmente cobre cada vez mayor importancia en Ingeniería Civil el estudio de problemas de durabilidad de materiales de construcción y de estructuras.

SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE LA CONSERVACIÓN

La conservación de los puentes de una red es una tarea compleja por la magnitud de las inversiones que deben administrarse y por los innumerables problemas técnicos que involucra. Para cada puente se deben tomar decisiones sobre el tratamiento que conviene dar para la rehabilitación con base en el tipo y gravedad de los daños, la importancia de la estructura, las técnicas accesibles de rehabilitación, la vida esperada de la estructura y los recursos disponibles.

Por las razones apuntadas para la atención eficiente de los puentes de una red vial se requiere de la implantación de un sistema de administración. En una publicación del Banco Mundial destinada a servir como guía para el desarrollo e implantación de un sistema de administración de la conservación de puentes, se define a éste como "un conjunto de elementos administrativos y organizacionales, normas y procedimientos comunes implantados por una institución para planear, ejecutar y supervisar todas las actividades de atención a los puentes desde el momento en que se ponen en servicio".

Los objetivos generales de ese sistema son los siguientes:

- Garantizar la seguridad de los usuarios
- Proteger la inversión patrimonial
- Presupuestar los recursos necesarios para la atención de las obras

- Garantizar la continuidad y la calidad del servicio
- Optimizar la aplicación de los recursos disponibles

El sistema consta de las siguientes fases:

- Elaboración de un inventario
- Realización de inspecciones y auscultación
- Evaluación de la extensión, naturaleza y gravedad de los daños
- Análisis de prioridades de atención
- Definición de acciones por ejecutar
- Elaboración de proyectos de rehabilitación
- Ejecución de proyectos
- Retroalimentación del comportamiento observado

El proceso anterior puede resumirse en tres etapas:

- Inspección
- Evaluación
- Rehabilitación

Al implantarse el sistema es necesario que la administración identifique las obras que están a su cargo para lo cual se necesita levantar un **inventario**. Para ello se utiliza para cada puente una ficha técnica en la que se recogen los datos generales más importantes que lo caracterizan. El objeto del inventario es facilitar la adopción de decisiones de carácter básico y no el de aportar datos para detallar acciones constructivas. En consecuencia los datos que comúnmente se captan son:

- Nombre
- Ubicación
- Dimensiones:
 - Longitud total
 - Longitud de cada claro
 - Altura sobre el terreno
 - Ancho
 - Ancho de accesos
- Tipo de.
 - Superestructura
 - Subestructura
 - Cimentación
 - Diapositivos de apoyo
 - Elementos secundarios
- Fecha aproximada de construcción

- Institución que construyó la obra

En lo que se refiere a las inspecciones, generalmente se recomienda que se realicen en tres niveles, con una auscultación de complejidad creciente.

La inspección **preliminar** estará a cargo del personal técnico no necesariamente especializado en puentes pero sí adiestrado para la identificación y evaluación somera de los daños. Se recomienda que esta inspección sea únicamente visual y que se realice una vez al año, de preferencia al término de la temporada de lluvias. Al término de esta inspección se realizará una evaluación general de la obra. En virtud de la escasez de la información se recomienda una escala sencilla que clasifique las obras en tres grupos.:

- A) Puentes que requieren atención inmediata por la gravedad de los daños que presentan.
- B) Puentes que requieren atención a mediano plazo (del orden de 1 a 2 años) porque presentan daños que sin ser todavía críticos. De no atenderse pueden agravarse llevando al puente a la condición A.
- C) Puentes que sólo requieren tareas de mantenimiento rutinario por presentar únicamente daños o anomalías menores.

Como resultado de las inspecciones preliminares se tendrá una selección de estructuras en condiciones críticas; pero como este trabajo ha sido ejecutado por técnicos no especializados generalmente se requerirá una segunda inspección para ratificar o rectificar la calificación preliminar. A estas inspecciones de segundo nivel se les denomina **principales** y se recomienda que se ejecuten anualmente poco antes de la elaboración de los programas operativos anuales. La inspección principal la realizará personal especializado en puentes que contará con equipo que le permita el acceso a todas las partes de interés y con equipo que le permita medir algunas respuestas del puente, por ejemplo aparatos de topografía para la medida de flechas bajo la acción de cargas rodantes

El objetivo central de la inspección principal será ratificar la inclusión de una obra en el programa de actividades teniendo como base una estimación cuantitativa del estado de la estructura.

Se denomina **inspección especial** a la que se realiza con el objeto de recabar datos para elaborar un proyecto ejecutivo de rehabilitación. En esta inspección se incluyen entre otras tareas el levantamiento geométrico de la estructura, la identificación de la ubicación, naturaleza y extensión de los daños, la realización de pruebas que permitan definir el origen y el mecanismo de propagación de los daños. Para estas tareas de evaluación, se han desarrollado técnicas y múltiples equipos que aprovechan los avances de la tecnología.

Dada la complejidad de estas auscultaciones y el alto grado de responsabilidad profesional que implican, las inspecciones especiales deben ser realizadas por personal altamente especializado, adiestrado en el manejo e interpretación de equipos específicos de prospección. Las inspecciones especiales se realizarán cuando se haya decidido actuar sobre una obra, como un requisito previo a la ejecución del proyecto de rehabilitación y generalmente sólo cuando se trate de obras especiales o de casos dudosos sobre la gravedad de sus daños.

Los resultados de las inspecciones se integran en un banco de datos en el que existe para cada puente un expediente que contiene todos los datos técnicos de interés tales como:

- Estudios previos (topográficos, hidráulicos, geotécnicos, de tránsito, etc.)
- Memorias de cálculo y planos estructurales
- Datos de construcción (contratos, bitácora de obra, modificaciones al proyecto, control de calidad, etc.)
- Reportes de accidentes
- Informes de inspección
- Reportes de reparaciones

Con esta información se puede proceder a una **evaluación detallada** del puente que considere los aspectos de seguridad estructural y de adecuación funcional. En el primero se busca determinar la capacidad remanente de carga de la estructura y definir el margen de seguridad entre las resistencias de los elementos y las acciones aplicadas. La evaluación funcional comprende la determinación de la capacidad hidráulica y de la capacidad vial, comparando las que proporciona el puente con las demandas respectivas. Existen guías que permiten determinar, las capacidades de carga y funcionales para los casos más comunes en los puentes, en las que se incluyen criterios para subsanar la falta o la imprecisión de algunos datos.

La evaluación conduce a una **calificación del puente**. Se han desarrollado diferentes escalas de puntuación para los diferentes sistemas de administración de la conservación de puentes existentes. Algunos de ellos son muy complejos e incluyen el manejo de un gran número de datos para cada estructura; datos que no siempre es posible determinar con precisión, por lo que parece ser preferible utilizar escalas más sencillas en que la puntuación se determina mediante la suma ponderada de la calificación de unos cuantos aspectos fundamentales para la seguridad de los puentes.

Finalmente el proceso de evaluación culmina en la estimación de la vida remanente del puente, en función de su capacidad actual y de la evolución prevista de las demandas. Esta estimación generalmente es controvertible porque requiere el manejo de factores que los proyectistas de puentes no pueden fijar con precisión; sin embargo, numerosos sistemas de administración recomiendan realizarla como un dato necesario para la priorización de las acciones y la evaluación económica de alternativas de proyecto.

Con los resultados de la evaluación global y de la aplicación de criterios de priorización y de análisis económico, se procede a definir el **tipo de acción** que debe tomarse en cada caso específico. Se consideran cuatro tipos de acción:

Acción O.- No hacer nada puede resultar la opción más conveniente en algunas circunstancias.

Acciones Normativas.- Se refieren a imponer limitaciones para el uso del puente (limitación de la carga máxima, reducción de velocidad, restricción a un solo carril, etc.)

Acciones Preventivas.- Monitoreo del comportamiento de la obra o colocación de apuntalamientos y otras medidas de seguridad.

Acciones Ejecutivas.- Son obras que se realizan en el puente, para las cuales se establecen cinco **niveles de atención**:

1. Mantenimiento.- Aún cuando las palabras "mantenimiento" y "conservación" comúnmente se utilizan como sinónimos, en la guía mencionada del Banco Mundial se recomienda aplicar el término de "mantenimiento" a la realización de acciones que

corrigen anomalías que aún no han causado daños pero que si persisten pueden llegar a causarlos (por ejemplo el deshierbe y la limpieza).

2. **Conservación.**- Se aplica este término a acciones que corrigen daños que todavía no tienen carácter estructural pero que si no se atienden pueden evolucionar hasta reducir la capacidad de carga de la estructura (por ejemplo la pintura de estructuras metálicas aplicadas cuando todavía no se afecta al metal base).
3. **Reparación.**- Acciones que corrigen daños estructurales y que se limitan a recuperar la capacidad original de proyecto (por ejemplo la inyección de resinas epóxicas en grietas de estructuras de concreto).
4. **Modernización.**- Son acciones con las que se incrementa la capacidad original del puente mediante obras. Estas acciones pueden realizarse sobre una estructura con o sin daño. Como ejemplos pueden señalarse el reforzamiento de estructuras de concreto mediante la aplicación de presfuerzo externo, el ensanchamiento de la calzada de puentes antiguos, y el alargamiento o el izamiento de un puente para aumentar su capacidad hidráulica.
5. **Sustitución.**- Cuando la estructura se encuentra en un estado avanzado de deterioro y resulta poco factible repararla o modernizarla, se procede a sustituirla. La sustitución puede ser parcial o total. En el primer caso se retira la superestructura existente obsoleta y se sustituye por una nueva apoyada en la subestructura antigua que se encuentra en buen estado.

Cuando se procede a la sustitución total debe definirse qué tratamiento se da a la estructura desechada. Existen tres alternativas: abandono, demolición (cuando representa un peligro o interfiere con la estructura nueva) y cambio de uso (de vehicular a peatonal). Esta última opción suele tomarse cuando la estructura reemplazada tiene un valor histórico o patrimonial.

La definición del tipo de acción y nivel de atención que debe darse en cada caso específico se apoya en la aplicación de criterios de priorización y en la realización de análisis económicos.

Los **criterios de priorización** se establecen en función de las políticas de conservación de toda la red. En general los puentes se supeditan a la política aplicada al tramo de la red en que se ubican. Sólo en casos muy particulares, de obras de grandes dimensiones o de características especiales, el puente requiere de un criterio especial.

En términos generales puede decirse que en carreteras troncales con altos volúmenes de tránsito se favorecerá un nivel de atención más elevado, tendiente a la sustitución como la solución óptima por su seguridad y certidumbre; en cambio en caminos de menor importancia se pueden adaptar niveles de atención que impliquen la admisión de riesgos mayores por su incertidumbre.

Los **análisis económicos** se harán determinando por cada alternativa de tratamiento lo siguiente:

- Extensión de la vida del puente que se logra con las acciones propuestas.
- Costos y beneficios totales de la alternativa (en los costos se incluyen los de construcción, conservación y operación y en los beneficios los inmediatos y futuros en función de la evolución prevista del tránsito y el valor de rescate de la estructura al término de la vida económica).

- Obtención de los valores presentes netos aplicando la tasa de descuento usual para proyectos públicos. El valor presente neto es la diferencia de los beneficios totales menos los costos totales, ambos a valor presente.

Si la diferencia es positiva, la acción propuesta es aceptable.

Si se analizan varias alternativas, la más conveniente será la que arroje el valor presente neto más alto.

La aplicación de este tipo de análisis tropieza con la dificultad de que no se cuenta con datos precisos sobre los costos de las diferentes posibilidades de atención y de que es controvertible la extensión de la vida útil que se logra con cada posibilidad, sobre todo si se toma en cuenta que algunas tecnologías de rehabilitación son de desarrollo reciente y no han soportado la prueba del tiempo.

Actualmente existen muchos sistemas de administración de puentes que se han desarrollado en numerosos países del mundo y para la atención de diferentes tipos de redes (nacionales, regionales, municipales, urbanas, etc.)

Es evidente que los sistemas deben adecuarse al tamaño del conjunto de puentes por administrar, así como a las condiciones particulares de cada conjunto y a los recursos materiales, económicos y humanos disponibles.

Todos los sistemas existentes siguen en términos generales la metodología que se ha descrito, con criterios muy similares, pues todos han sido elaborados por ingenieros de puentes. Las diferencias estriban fundamentalmente en las herramientas de cómputo que difieren de un sistema a otro por los criterios divergentes de los ingenieros de informática.

Es importante recalcar que un sistema de administración de puentes no es un sistema de cómputo. Es una organización orientada a mantener en buen estado de funcionamiento los puentes que administra y a aplicar de manera óptima los recursos disponibles para el beneficio de los usuarios. El sistema de cómputo es un componente del sistema de administración que permite el manejo ágil y eficiente de la información.

En México se han desarrollado dos sistemas de administración de puentes. El primero denominado "SIPUMEX" fue establecido por la Dirección General de Conservación de Carreteras (hoy Dirección General de Carretera) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para la administración de los puentes de la red federal a su cargo. Para el desarrollo de ese sistema la Institución mencionada recurrió a servicios de asesoría de la Dirección General de Carreteras de Dinamarca.

Posteriormente, el Instituto Mexicano del Transporte desarrolló un sistema nacional denominado "SIAP" (Sistema de Administración de Puentes) que se ha aplicado en algunas autopistas concesionadas de cuota y que empieza aplicarse en la red a cargo del Organismo descentralizado Caminos y Puentes Federales de Ingresos (CAPUFE).

SITUACIÓN ACTUAL.-

A continuación se describen en forma resumida las actividades que se han desarrollado en las diferentes redes viales de México en relación con la conservación de puentes:

Red Federal Libre.-

Como ya se indicó la red federal de carreteras troncales exentas de cuota tiene una longitud aproximada de 48,362 km (datos del 2006) y en ella existen alrededor de 7,230 puentes, definidos como aquellas estructuras que tienen un claro superior a 6 m. Esta red está a cargo de la Dirección General de Conservación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Esta Dirección General actúa como Dependencia

normativa y coordinadora de las acciones de conservación que son ejecutadas por los Centros SCT en cada Estado a través de las Residencias Generales de Conservación.

A pesar de que esta red federal empezó a formarse y consolidarse en 1925, al crearse la Dirección Nacional de Caminos, es importante destacar que no se instauró un sistema para la conservación de puentes sino hasta años muy recientes. En un principio los esfuerzos de conservación iban enfocados casi exclusivamente a las estructuras férreas y los pavimentos. Generalmente en los puentes únicamente se realizaban acciones de emergencia para reparar o sustituir estructuras dañadas por socavación.

A partir de 1982, con la autorización de cargas rodantes de gran peso en el Reglamento de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación, empezaron a registrarse daños crecientes en los pavimentos y los puentes. Pocos años después la ocurrencia de algunas fallas importantes por efecto de la carga viva, puso de relieve la necesidad de afrontar el problema de una manera sistemática. El primer inventario de los puentes de la red federal de carreteras se levantó con un enfoque sistémico en 1983 y pocos años después se implantó el Sistema SIPUMEX, para la atención de los puentes de la red. Fue necesario crear una Residencia de Puentes en cada Estado y llevar a cabo acciones de capacitación para que el personal de esas Residencias pudiera realizar las acciones previstas por SIPUMEX. Generalmente las inspecciones preliminares y principales han sido realizadas por personal de la Secretaría, en tanto que las inspecciones especiales y los proyectos de rehabilitación están a cargo de empresas de consultoría contratadas para el efecto. Las acciones ejecutoras son realizadas también por empresas constructoras contratadas.

SIPUMEX califica a los puentes de 6 categorías, desde 0 hasta 5, correspondiendo la calificación 0 a estructuras en perfecto estado que no requieren atención alguna y la calificación 5 a estructuras en estado crítico que requieren atención inmediata.

En 1996 los puentes revisados por SIPUMEX se clasificaron como sigue:

<u>Calificación</u>	<u>Número</u>
0	58
1	3,059
2	1,976
3	906
4	301
5	24

Las acciones se han orientado a dar prioridad a los puentes en situación crítica atendiendo en primer término a los que se encuentran en calificación 5 y posteriormente los de 4. Las inversiones en pesos corrientes, en los últimos años, han sido las siguientes:

1994	64.6 millones de pesos
1995	64.2 millones de pesos
1996	117.4 millones de pesos
1997	147.1 millones de pesos

El Banco Mundial recomienda que las inversiones anuales para la conservación de puentes de una red se ubiquen en el rango de 2 al 7% del valor patrimonial. Teniendo en

cuenta que la longitud total de los puentes de la red federal es de orden de 310 km y considerando un valor unitario promedio de 10 millones de dólares por km, se obtiene un valor patrimonial para el conjunto de puentes de aproximadamente 3,100 millones de dólares; por lo que la inversión mínima recomendada para su conservación debería ser de 62 millones de dólares (682 millones de pesos), aproximadamente el doble de lo que se está invirtiendo actualmente.

Sin embargo, con los escasos recursos disponibles se ha podido avanzar en forma importante en la evaluación y rehabilitación de estructuras, sobre todo en lo que se refiere a reforzamiento de superestructuras para considerar los efectos de las nuevas cargas rodantes, así como rehabilitación de estructuras dañadas por corrosión del acero, ya sea estructural o de refuerzo en el seno del concreto.

Para la evaluación de estructuras se han aplicado técnicas de vanguardia, tanto por parte del personal de la Secretaría como de algunas empresas de consultoría; entre esas técnicas destaca la medición de la resistencia del concreto por procedimientos no destructivos, la determinación del contenido de cloruros y del nivel de carbonatación del concreto por medio de reactivos químicos; la cuantificación del avance de la corrosión por la medición de potenciales con una semipila galvánica y la auscultación de fallas por la técnica del impacto-eco y por la aplicación de impulsos ultrasónicos.

Entre los trabajos técnicos de rehabilitación realizados cabe mencionar los siguientes:

- Resanes de estructuras de concreto deterioradas
- Inyección de estructuras de concreto agrietadas
- Sustitución de dispositivos de apoyo y juntas de dilatación
- Reforzamiento de estructuras metálicas con adición de nuevos elementos soldados
- Reforzamiento de estructuras de concreto con presfuerzo externo
- Ensanchamiento de puentes con calzada angosta
- Izamiento de superestructuras con espacio libre vertical insuficiente
- Recimentación de estructuras en peligro de falla por socavación o hundidas por capacidad de carga insuficiente
- Protección de subestructuras contra la erosión y la corrosión

En un plazo de dos años la Dirección General de Conservación tiene programado terminar de atender los puentes con calificación 4 y los de calificación de 5 ya han sido atendidos, para proceder a implantar un programa de acciones preventivas, propiamente de conservación.

Red de Autopistas Concesionadas.-

De 1990 a 1994 México llevó a cabo un extenso programa de construcción de autopistas bajo el régimen de concesión. Actualmente (datos del 2006) existen 7,409 Km de estas carreteras en las que se tienen 4,615 estructuras de claro superior a 6 m. Con el objeto de verificar que los concesionarios cumplan con el compromiso adquirido en el título de concesión relativo a mantener los niveles de calidad de servicio que esperan los usuarios y con el propósito de dar seguimiento a otros aspectos de Programa Nacional de Autopistas, en 1994 se creó un Grupo de Seguimiento de Autopistas de Cuota que posteriormente dio lugar en 1996 a la creación de la Unidad de Autopistas de Cuota (Hoy Dirección General de Desarrollo Carretero).

Estas entidades han sido responsables de vigilar que los concesionarios implanten en la red a su cargo, un sistema de administración de la conservación, el cual incluye un sistema de puentes. No se ha exigido a los concesionarios que implanten un sistema en particular sino que desarrollen sus propios sistemas cumpliendo con los propósitos generales ya descritos en este trabajo. Algunos concesionarios han implantado el sistema SIAP desarrollado por el Instituto Mexicano del Transporte y otros han hecho adaptaciones propias de acuerdo con las características de los puentes que administran.

En virtud de que esta red es relativamente nueva, las actividades que hasta ahora se han realizado han consistido principalmente en el levantamiento del inventario y en la recopilación de información para integrar el banco de datos. Desde el punto de vista ejecutivo predominantemente se han realizado "acciones de pos-construcción", es decir acciones correctivas de problemas que quedaron pendientes al término de la construcción de las obras, como consecuencia de un programa de obras demasiado ajustado. Asimismo, se han hecho evaluaciones del comportamiento de estructuras especiales entre las que destacan puentes de estructura metálica espacial y puentes atirantados. En los primeros se han realizado pruebas dinámicas de carga, y en los segundos pruebas para medir la tensión actuante en los tirantes.

Es importante señalar que los puentes de la red de autopistas de cuota por su modernidad son generalmente de mayores dimensiones y de estructuras más complejas que los correspondientes de la red libre; por lo que es de esperarse que en el futuro planteen problemas más graves; de ahí la importancia de implantar desde ahora un adecuado sistema de seguimiento.

Red de Caminos y Puentes Federales de Ingresos (CAPUFE)

El Organismo Caminos y Puentes Federales de Ingresos tiene a su cargo a traves de la red Farac un total de 3900 puentes y de la red propia 29 puentes especiales con cuota y los restantes puentes o pasos a desnivel ubicados en las carreteras operadas por dicho organismo.

Desde 1989 el Organismo actualizó el inventario de las estructuras a su cargo y mediante inspecciones y evaluaciones realizadas por las delegaciones de CAPUFE en el interior del país, determinó acciones de reparación y reforzamiento, con una metodología propia que sigue pasos similares a los descritos anteriormente en este trabajo. De los 29 puentes especiales de cuota, han recibido acciones de reparación o reforzamiento 21 (70%).

Actualmente el Organismo está programando la consolidación de sus acciones de conservación mediante la implantación de un sistema de información digital para autopistas y puentes (SIDIAP) que se basa en una "mapoteca" digital de CAPUFE mediante la cual con apoyo en un sistema de información geográfica (SIG) se obtiene una visualización de tramos de carretera con algunos de sus atributos: topografía, cortes, terraplenes, taludes, alcantarillas, puentes, señales, etc. y al cual pueden incorporarse diferentes bases de datos como accidentes, volúmenes de tránsito, información económica, etc. El Sistema de Administración de Puentes puede desarrollarse en forma compatible con la "mapoteca". CAPUFE implantará el Sistema SIAP desarrollado por el IMT, únicamente procurando actualizar la herramienta computacional. Para operación del sistema se contempla el siguiente esquema anual de trabajo:

- De enero a marzo los superintendentes de puentes realizan las inspecciones preliminares
- De marzo a junio mediante empresas especializadas se efectúan las inspecciones principales y especiales

- De julio a septiembre se llevan a cabo los proyectos de rehabilitación
- De octubre a diciembre se realizan los concursos de obra, para iniciar en enero los trabajos de rehabilitación

Ferrocarriles Nacionales de México.-

La Empresa Ferrocarriles Nacionales de México durante muchos años actualizó continuamente el inventario de los puentes y otras obras de la red ferroviaria. En 1996 contaba con 10,812 puentes, 231 túneles (falsos y reales) y 25,120 alcantarillas. Los superintendentes de vía y estructuras estaban a cargo de la actualización permanente del inventario, de las inspecciones y evaluaciones de tal manera que la Empresa tenía un conocimiento preciso del estado de sus bienes patrimoniales y de las necesidades para su rehabilitación. Desafortunadamente, por la escasez de recursos no fue posible en los últimos años realizar acciones de reparación y reforzamiento, salvo en algunos casos puntuales de atención de emergencias.

Se espera que con el programa de concesionamiento de la red ferroviaria, las empresas concesionarios implanten en breve un programa de rehabilitación y modernización de la infraestructura, incluyendo a los puentes y alcantarillas.

Otras Redes.-

Se estima que en la red alimentadora de carreteras estatales pavimentadas existen aproximadamente 7,000 puentes y que en la red de caminos rurales (actualmente a cargo de la Federación) existen del orden de 5,000 puentes. En estas redes no se cuenta con ningún sistema de conservación de las estructuras, no se tiene ni siquiera un inventario, por lo que se desconoce el número de puentes, la ubicación, las características y el estado de cada uno de ellos. Esta situación es preocupante porque recientemente han ocurrido colapsos de puentes rurales bajo la acción de camiones de peso moderado. Además, dentro de estas redes se ubican puentes construidos por los municipios o por particulares, con poca o ninguna ingeniería y que por lo tanto adolecen de graves deficiencias.

Corresponde a las autoridades federales tomar la iniciativa para promover la corrección de esta situación, sobre todo tomando en cuenta que en breve la red de caminos rurales será transferida a los Gobiernos Estatales y que existe el propósito de transferir también aproximadamente el 50% de la red federal a dichos Gobiernos, con lo que se corre el riesgo de que estructuras actualmente bien atendidas entren en un proceso de degradación por la suspensión de su conservación.

Finalmente, cabe mencionar que en el Distrito Federal existe un número significativo de estructuras viales, la mayor parte de reciente construcción y muchas de ellas de gran importancia por sus dimensiones y características especiales de su estructuración. La administración de este patrimonio es responsabilidad directa de las Autoridades de la Ciudad de México. Aunque se han realizado reparaciones en algunos puentes para corregir problemas de construcción, por ejemplo realineamientos de la rasante, inyección de grietas producidas por un curado inadecuado del concreto, rigidización de estructuras demasiado flexibles, etc.; se desconoce si el Gobierno del Distrito Federal cuenta con un sistema para la conservación de los puentes a su cargo.

PERSPECTIVAS.-

Se describen en seguida, con base en los antecedentes y revisión de la situación actual arriba planteados, algunos de los problemas que se vislumbran en el futuro inmediato proponiendo acciones para atenderlos:

Consolidación de los Sistemas Implantados.-

Como queda de manifiesto en lo expuesto anteriormente, los puentes de la red federal, tanto la libre como la concesionada y la administrada por CAPUFE, han sido objeto en los últimos años de una atención creciente para subsanar el rezago que había sobre su conservación. Se han logrado avances importantes y únicamente se requiere consolidar los sistemas implantados, siendo urgente la necesidad de extender los sistemas de conservación de puentes a las redes estatal, rural, ferroviaria y urbana.

En relación con Inspecciones.-

Para mejorar las inspecciones detalladas que actualmente se realizan en los puentes se estima urgente la adquisición por parte de cada una de las instituciones encargadas de la red federal, de por lo menos una plataforma móvil que permita el acceso a todos los puntos de interés, especialmente en puentes de gran altura. Actualmente solo existe una de alcance limitado, que es propiedad de una empresa privada.

Educación.-

Dada la importancia creciente de temas de durabilidad tanto de los materiales como de las estructuras, se hace necesario complementar los planes de estudios de las carreras de ingeniería civil para dar mayor énfasis a materias básicas como física y química, así como para abordar temas sobre durabilidad de materiales y estructuras.

Capacitación.-

Se han realizado recientemente varios cursos de capacitación sobre la temática de inspección, evaluación y mantenimiento de puentes. Es necesario que dichos cursos se amplíen para cubrir nuevas técnicas y para capacitar a un mayor número de ingenieros, incluyendo los de las empresas privadas.

Es importante que estos cursos continúen, que se logre la participación de especialistas de países desarrollados y que esos cursos se complementen con prácticas de campo.

Aun cuando los sistemas disponibles para la administración de la conservación de puentes, son teóricamente muy complejos, no debe perderse de vista que la confiabilidad de sus resultados depende exclusivamente de la preparación de los ingenieros que lo manejan y suministran los datos básicos. No habrá norma ni metodología que sustituya al ingeniero, por lo que la importancia de la capacitación es indiscutible.

Sistema de Aseguramiento de la Calidad.-

Muchos de los daños que presentan los puentes se originan en defectos de construcción. Por lo tanto la mejor medida preventiva es asegurar la buena calidad de las obras. Por ejemplo, pueden mencionarse que el concreto de buena calidad es compacto, homogéneo, resistente y durable, proporciona un ambiente altamente alcalino que protege al acero de refuerzo y previene su corrosión, asegurando una larga duración de la estructura. Un concreto con estas características sólo puede lograrse si se cuenta con un sistema de aseguramiento total de la calidad.

En las obras a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, aun cuando ese sistema está previsto en las normas y en las obligaciones contractuales, es necesario reforzarlo, ya que se está viviendo en los últimos años una situación de transición en la que se pretende disminuir la participación de la institución, enfatizando la responsabilidad del constructor en el control de calidad y propiciando la mayor intervención de los laboratorios privados para la supervisión y verificación de la calidad, correspondiendo a los laboratorios de la Secretaría únicamente tareas de carácter normativo y coordinador.

Esta situación plantea la necesidad de contar con un Manual de Calidad en el que se puntualicen las responsabilidades e interacciones entre los participantes en el proceso constructivo. El Manual constituirá una medida fundamental para prevenir problemas de conservación.

Normas -

La experiencia en el desarrollo de proyectos de rehabilitación de puentes indica que a menudo surgen discrepancias de criterio entre ingenieros, tanto de la administración como de las empresas, sobre las metodologías de evaluación y de cálculo del reforzamiento o rehabilitación de las estructuras. Debe recordarse que esta situación no es exclusiva de los problemas de conservación sino que ha surgido casi en todos los problemas prácticos de la ingeniería civil y que uno de los propósitos de las normas es precisamente el de zanjar esas diferencias de opinión, estableciendo criterios comunes para la determinación de las acciones.

En México tradicionalmente se han aplicado para el proyecto de puentes las normas de AASTHO, con algunas excepciones especialmente en lo concerniente a las cargas vivas y al análisis sísmico.

Es importante generar normas nacionales para proyectos de puentes. Los análisis que ha realizado el Instituto Mexicano del Transporte sobre las características de los vehículos que transitan por la red permitirán definir en un plazo breve las cargas de diseño para los puentes carreteros de México.

Sobre diseño sísmico existe ya una normativa en el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad editado en 1993. Se requieren, sin embargo, investigaciones adicionales para precisar la aplicación de esa normativa al diseño sísmico de puentes, especialmente en lo que se refiere a la definición cuantitativa de los factores de comportamiento sísmico de diferentes tipos de elementos estructurales comunes en los puentes. Se estima necesario también el desarrollo de dispositivos de amortiguamiento y disipación de energía sísmica.

La elaboración de normas para proyectos de rehabilitación de puentes será de mayor dificultad que la de normas de diseño de puentes nuevos, ya que existe escasa información en la literatura técnica mundial. Es importante destacar que todo proyecto de rehabilitación de estructuras suele ser el resultado de un compromiso entre lo deseable y lo posible, de acuerdo con las limitaciones técnicas y presupuestales, por lo que se estima conveniente que se elaboren guías para la detección y evaluación de daños así como para la estimación de la capacidad de carga de estructuras existentes, que complementen a normas de conservación en las que se definan sólo los criterios básicos.

Programas Especiales.-

Como se ha explicado, actualmente todos los puentes de las redes federales son objeto de inspecciones y evaluaciones sistemáticas. Sin embargo, se considera necesario desarrollar programas especiales de inspección y evaluación en relación con dos de los fenómenos más dañinos en los puentes: la socavación y el sismo.

Análisis de la Vulnerabilidad a la Socavación.-

Como quedó de relieve en los daños causados por ciclones a la red carretera nacional en 1997, la socavación sigue siendo la causa principal del colapso de los puentes en México, al igual que en todos los demás países. Es conveniente llevar a cabo un programa para identificar y revisar los puentes susceptibles de colapsarse por socavación. Para ello se identificarían los tramos de la red susceptibles de recibir los efectos de ciclones y se revisarían tanto físicamente como documentalmente las estructuras de esos tramos. La

revisión incluiría la verificación de la capacidad hidráulica del puente, el conocimiento del comportamiento de la corriente y la definición de los niveles de socavación y de profundidad de desplante de la cimentación. Para estos últimos se requiere implementar técnicas indirectas de prospección.

De este análisis surgiría la necesidad de recimentar algunas estructuras o de realizar obras complementarias como reencauzamientos o puentes auxiliares. Como todos estos trabajos son muy costosos, se daría prioridad para su realización en aquellos puentes de ubicación estratégica en los que no fuera factible construir con rapidez una desviación provisional inmediatamente después de su eventual colapso.

Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica.-

En algunos países altamente sísmicos como Japón, Nueva Zelanda y Estados Unidos, las administraciones de carreteras están llevando a cabo revisiones de la vulnerabilidad sísmica de los puentes, para proceder a la adecuación de las estructuras deficientes.

Estos programas han sido motivados por daños que las estructuras viales han sufrido en sismos recientes. Al respecto, destacan los sismos de Kobe, en Japón y los de Loma Prieta y Northridge en California, durante los cuales numerosos viaductos y puentes se colapsaron produciendo grandes pérdidas de vidas y bienes, así como dificultades para la atención de las demás emergencias sísmicas al mismo tiempo que cuantiosas pérdidas económicas por la suspensión de la operación del transporte.

Como consecuencia de estos programas, muchos puentes, especialmente los construidos antes de 1970, han sido objeto de modificaciones importantes. En muchos casos se han reforzado las columnas de los caballetes de las superestructuras, adicionándoles camisas de acero; también se han cambiado los dispositivos de apoyo, se han colocado topes y tirantes de restricción sísmica y se han añadido dispositivos de amortiguamiento y disipación.

En México, los sismos de 1985 y 1995 han causado daños menores a los puentes de las zonas cercanas a los epicentros. En general las reparaciones postsísmicas han consistido en el realineamiento de tramos de superestructura, en la sustitución de dispositivos de apoyo, en el resane de elementos golpeados y en la introducción de topes sísmicos. Sólo en casos aislados ha sido necesario recimentar zapatas piloteadas hundidas durante el terremoto y reforzar columnas que desarrollaron articulaciones plásticas en sus conexiones a los cabezales de las pilas.

Sin embargo, el hecho de que el comportamiento de los puentes en esos sismos haya sido relativamente satisfactorio, no nos exime de la responsabilidad de revisar por lo menos los puentes importantes alojados en las zonas de mayor sismicidad del país. Es importante recordar que las características dinámicas de la estructura aunadas a las de la excitación sísmica son las que definen el nivel de los daños, por lo que una estructura que resulta ileso en un sismo dado, puede tener daños en un sismo de características diferentes. Los sismos mexicanos de la costa del pacífico se han caracterizado por sus periodos predominantes relativamente largos; la mayoría de las estructuras viales existentes en esa costa son rígidas y de periodo corto, por lo que no han resultado dañadas, pero esa no es la situación de algunos puentes de construcción reciente, de gran flexibilidad, que pueden ser vulnerables, por lo que valdría la pena revisarlas e instrumentarlas para que los registros de sismos menores proporcionen una orientación sobre el comportamiento esperado ante grandes terremotos.

Nuevas Tecnologías.-

Como el problema de la durabilidad de los materiales de construcción y de las estructuras es de alcance mundial, en numerosos países se ha impulsado el desarrollo y la implantación de nuevas tecnologías para la inspección, la evaluación y la rehabilitación de puentes. Por ejemplo el Programa Estratégico para la investigación de Carreteras de los Estados Unidos (SHRP), comprende un capítulo completo para investigaciones sobre concreto y estructuras que abarca entre otros, los siguientes temas:

- Evaluación de las condiciones físicas de puentes de concreto.
 - * Desarrollo de equipos para pruebas no destructivas
- Protección y rehabilitación de puentes de concreto
 - * Técnicas electroquímicas
 - * Técnicas no electroquímicas
- Investigaciones especiales sobre concreto
 - * Concreto de alto comportamiento
 - * Reactividad Alkali-Silice
 - * Control de calidad con pruebas no destructivas
 - * Microestructura del concreto

Ante la imposibilidad de detallar los estudios mencionados arriba y otros que se realizan en otras instituciones de investigación, se procederá sólo a describir algunos desarrollos tecnológicos que se estiman de interés inmediato para los puentes de México.

En relación con los procedimientos de inspección, conviene implementar la utilización de los **sistemas de información geográfica**, para disponer de atlas georeferenciados de carreteras. La información captada en el campo se trasmite por medio de una red telemétrica directamente al banco de datos en una oficina central. De esta manera se eliminan errores y demoras y puede tenerse un conocimiento instantáneo del estado de los puentes.

Para el monitoreo del comportamiento de las estructuras, se están implantando en otros países **sensores automáticos** que envían al banco de datos información sobre las condiciones internas de comportamiento estructural y pueden dar señales de alarma ante un colapso inminente.

Como la corrosión es uno de los problemas más graves para la durabilidad de las estructuras, se están desarrollando productos que sellan el concreto, pero que le permiten airearse, cerrando así el paso a los cloruros y a otros agentes que propician el desarrollo del proceso corrosivo.

Para el tratamiento de estructuras ya afectadas por la corrosión del acero de refuerzo, existen técnicas que permiten la **extracción de los iones de cloro** y la realcalinización de la masa de concreto, como un paso previo a la colocación de una cubierta protectora.

Todavía está pendiente que la tecnología mundial resuelva el problema de evaluar el estado del acero de refuerzo en cables postensados adheridos al concreto. Han ocurrido algunas fallas de estas estructuras por corrosión catódica al fragilizarse el acero de refuerzo por la introducción de iones de hidrógeno. Estas fallas son súbitas y no pueden preverse porque aún no se han desarrollado pruebas confiables no destructivas que permitan evaluar el grado de **corrosión del acero de refuerzo** y prevenir los

colapsos. Por esta razón en algunos países (por ejemplo Francia) se están sustituyendo sistemáticamente todas las superestructuras presforzadas de la primera generación, construidas antes de que se tuviera conciencia de este problema y en otros países (por ejemplo Inglaterra) ha estado prohibido durante varios años el uso del presfuerzo adherido para nuevos puentes. Parece ser que la mejor medida preventiva de que se dispone ahora es tomar medidas de precaución muy estrictas durante la construcción para el manejo y colocación de los cables, la inyección de los ductos, la colocación y sellado de los anclajes y el vertido del concreto. Para todas estas etapas se han desarrollado numerosos productos comerciales de prevención anticorrosiva, cuyo uso en México es todavía limitado.

Numerosos proyectos de rehabilitación implican la necesidad de demoler parcialmente la estructura por atender. En algunos casos estas demoliciones se han hecho con equipos inapropiados, de tipo neumático, que causan daños a la estructura remanente y no pueden limitarse a demoler justamente lo necesario. Se han desarrollado equipos eléctricos de alta precisión para el corte y demolición y para el caso de demoliciones masivas esta disponible comercialmente la técnica de **hidrodemolición** que retira el concreto mediante la aplicación de chorros de agua a presión.

Las mayores expectativas para el logro de estructuras más durables están en el desarrollo y aplicación de **nuevos materiales**. Para el refuerzo de estructuras de concreto deterioradas se dispone ya de láminas de plástico reforzadas con fibras de carbón que permiten encapsular la estructura incrementando su capacidad de carga y su resistencia al intemperismo. En lo que se refiere al concreto se están utilizando cada vez más los **concretos de alto comportamiento** que aparte de tener mayor resistencia poseen una mayor compacidad, impermeabilidad y resistencia a los agentes agresivos. Asimismo, se están utilizando concretos modificados a los que se les agregan fibras. Existen diferentes tipos de fibras, ya sea de acero, vidrio, polipropileno o de carbón y de diferentes formas, que se agregan a la revoltura para prevenir el agrietamiento por cambios de temperatura o por fraguado y para aumentar la resistencia a la abrasión y a la corrosión.

En vista de los problemas de corrosión del acero de refuerzo y de presfuerzo, se está desarrollando la sustitución de ellos por cables de plástico reforzados con fibras de carbón. Existen ya puentes en Canadá construidos con fines experimentales siguiendo esta nueva técnica; asimismo, se han construido ya en Europa puentes peatonales con este nuevo material, en los que se omite el uso del concreto y acero tradicionales.

Es indudable que en México como en otros países, habrán de introducirse en el futuro las nuevas tecnologías de inspección, evaluación y rehabilitación de puentes. Sin embargo, es necesario que la adopción de ellas se base en estudios cuidadosos que evalúen su factibilidad y las adapten a las condiciones nacionales. También es deseable que se fomente el desarrollo de nuevas técnicas y nuevos materiales en las instituciones mexicanas de investigación.